

programa de
textos didáticos
universidade
federal da
bahia 1971

jean boyer
departamento I
instituto de geociências

PROPRIEDADES DOS SOLOS E FERTILIDADE

PROPRIEDADES DOS SOLOS E FERTILIDADE

JEAN BOYER

prof. de pedologia (diretor de pesquisas da ORSTOM - convênio ORSTOM/UFB^a)
departamento I (instituto de geociências) 5

tradução de Célia Peixoto Motti e Pascal Motti

PROGRAMA DE TEXTOS DIDÁTICOS XL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Salvador Bahia 1971

FICHA CATALOGRÁFICA

Boyer, Jean,

Propriedades dos solos e fertilidade;
tradução de Célia Peixoto Motti e Pascal
Motti. Salvador, Universidade Federal da
Bahia, 1971.

196 p. illus. (Programa de textos didá-
ticos, 40).

1. Química dos solos. 2. Física dos solos.
3. Solos - fertilidade. I. Motti, Célia Pei-
xoto, - , trad. II. Motti, Pascal,
- , trad. III. Bahia, Universidade
Federal. IV. t. V. s.

CDU - 631.41:631.43:631.452

(Preparada por Raquel del
Carmen Hermida Hermida)

1. OS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SOLO	5
1.1. Os elementos grosseiros	5
1.2. Os elementos finos	7
1.3. Os elementos orgânicos	10
2. OS COLÓIDES DO SOLO E SUAS PROPRIEDADES	13
2.1. Definição dos colóides	13
2.2. Dispersão e floculação dos colóides eletronegativos	16
2.3. Colóides complexos	20
2.4. Capacidade de troca de bases	21
2.5. Reação do solo: pH do solo e acidez de troca	30
2.6. Potencial de óxido-redução ou potencial RED- OX , rH_2 ou Eh	35
3. O pH DO SOLO E OS RENDIMENTOS DAS CULTURAS	37
3.1. Influência do pH sobre os rendimentos das culturas	37
3.2. Causas da ação do pH sobre os rendimentos das culturas	40
3.3. Baixa do pH sob a influência das culturas	42
3.4. Correção do pH dos solos pelos corretores	42
4. O NITROGÊNIO NOS SOLOS TROPICAIS	43
4.1. Origem do nitrogênio do solo	44
4.2. Evolução do nitrogênio da matéria orgânica do solo	47
4.3. Nitrogênio do solo, pH e fertilidade	49
4.4. O problema dos fertilizantes nitrogenados nos solos tropicais	50
4.5. A lixiviação do nitrogênio no solo	57
5. O POTÁSSIO NOS SOLOS TROPICAIS	59
5.1. Origem do potássio dos solos	59
5.2. Formas do potássio nos solos	60
5.3. O potássio e a nutrição potássica das plantas	62
5.4. Insuficiência da noção de potássio trocável e os trabalhos da escola inglesa	67
5.5. A dinâmica do potássio nos solos tropicais	70
5.6. O potássio nos principais tipos de solos tropicais	74

5.7. Os fertilizantes potássicos utilizados nos solos tropicais	77
6. O FÓSFORO NOS SOLOS TROPICAIS	80
6.1. Origem do fósforo dos solos	80
6.2. Formas do fósforo nos solos	81
6.3. Os teores de fósforo nos solos tropicais e as plantas cultivadas	84
6.4. Interação do fósforo com outros elementos minerais além do nitrogênio, na alimentação mineral das plantas	90
6.5. A dinâmica do fósforo nos solos tropicais	92
6.6. Os fertilizantes fosfatados	93
7. O ENXÔFRE NOS SOLOS TROPICAIS	97
7.1. O enxôfre e as carências de enxôfre	97
7.2. Necessidades de enxôfre das plantas cultivadas ..	99
7.3. A dinâmica do enxôfre nos solos tropicais	100
8. O CÁLCIO, O MAGNÉSIO E A SOMA DAS BASES TROCÁVEIS NOS SOLOS TROPICAIS. A CORREÇÃO DO pH E OS ADUBOS CALCO-MAGNESIANOS	102
8.1. Origem do cálcio e do magnésio dos solos	102
8.2. Formas do cálcio e do magnésio nos solos	104
8.3. Os teores de cálcio e magnésio trocáveis favoráveis às culturas. Importância da soma das bases trocáveis e da saturação do complexo sortivo ...	106
8.4. A dinâmica do cálcio e do magnésio nos solos tropicais	111
8.5. O problema dos corretores calco-magnesianos	119
9. O SÓDIO E O PROBLEMA DOS SOLOS E DAS ÁGUAS CARREGADAS DE SÓDIO	127
9.1. Origem do sódio dos solos	127
9.2. A dinâmica do sódio nos solos tropicais	129
9.3. Principais tipos de solos salgados	131
9.4. O sódio nos solos e as plantas cultivadas	133
10. OS OLIGO-ELEMENTOS DO SOLO E AS CARÊNCIAS DE OLIGO-ELEMENTOS NAS PLANTAS	142
10.1. Boro	142
10.2. Molibdênio	144
10.3. Cobre e zinco	145
10.4. Manganês	147
11. O ALUMÍNIO, O FERRO E O SILÍCIO DOS SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM AS PLANTAS CULTIVADAS	152
11.1. Alumínio	152
11.2. Ferro	155
11.3. O silício nos solos tropicais	157
BIBLIOGRAFIA	159

1. OS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SOLO

Um solo contém, geralmente, os seguintes elementos:

- a) elementos grosseiros;
- b) elementos minerais finos;
- c) elementos orgânicos;
- d) corpos químicos, tais como Ca, K, N, P, etc., geralmente ligados aos elementos minerais finos e aos elementos orgânicos.

Na realidade, é possível encontrar, nos solos, todos os corpos simples da classificação de Mandeleief, embora muitos apenas em forma de traços (B, Zn, Cu, etc.).

Evidentemente, algumas categorias destes elementos podem faltar: assim, os solos chamados *siltosos* contêm muito poucos elementos grosseiros, ou mesmo nenhum; os solos *de turfa* são quase exclusivamente formados de elementos orgânicos; os solos *minerais brutos*, ao contrário, contêm muito poucos elementos orgânicos.

Mas, em regra geral, estas quatro categorias de elementos se encontram nos solos, embora em proporção variável de um solo para outro.

1.1. Os elementos grosseiros

Os elementos grosseiros têm tamanho superior a 2 mm.

1.1.1. Classificação usual

Distinguem-se, tradicionalmente, em pedologia:

- a) os cascalhos — diâmetro médio incluído entre 2 e 5 cm;
- b) os seixos — diâmetro médio incluído entre 5 e 20 cm;
- c) os matacões — diâmetro médio superior a 20 cm.

Observação: Podem-se encontrar outras classificações: cascalhos — 2 mm a 2 cm; seixos — 2 a 20 cm.

Os cascalhos, seixos e matacões estão soltos e móveis no solo, uns em relação aos outros, mesmo quando se encontram em grande quantidade. Podem mudar de lugar, ou de posição, sob a influência de agentes externos (chuvas, movimentos do solo, homem, etc.). As rochas, ao contrário, estão profundamente enraizadas no solo.

1.1.2. Natureza dos elementos grosseiros

A natureza destes elementos depende da rocha-mãe, ou dos acréscimos externos ocasionais (seixos e cascalhos abandonados pelas águas depois de uma enchente, por exemplo, ou ainda vestígios de uma couraça ferruginosa). O quartzo é o mais comum, mas podem, também, ser encontrados fragmentos de granitos ou de outras rochas: xistos, gabros, diorito, calcários, dolomitas, óxidos concrecionados (óxido de ferro, principalmente), etc.

Nas regiões tropicais úmidas, onde os fenômenos de alteração e de dissolução são intensos e rápidos, praticamente não se encontram elementos grosseiros formados por calcários ou por rochas básicas (basalto, gabro, anfibolita). Em alguns solos jovens e pouco profundos, subsistem, às vezes, elementos grosseiros originários de rochas ácidas (granito, grano-diorita, etc.), mas eles desaparecem, à medida que o solo envelhece e se torna mais espesso: a partir deste momento, subsistem apenas o quartzo e os óxidos de ferro.

Nas regiões temperadas e mediterrâneas, os solos são, freqüentemente, muito ricos em elementos grosseiros,

provenientes da rocha-mãe, incluindo-se elementos calcários (Ca CO_3).

1.1.3. Influência dos elementos grosseiros sobre a fertilidade dos solos

Esta influência é muito variável.

Uma grande quantidade de seixos e pedras impede a lavoura: em primeiro lugar, porque a terra fina é pouco abundante e, em segundo lugar, porque a utilização de máquinas (arado) se torna difícil.

Uma grande quantidade de cascalhos é desfavorável às culturas, mas uma pequena quantidade de cascalhos, em solos bem compostos de argilas e de limos, pode, às vezes, tornar a terra menos pesada.

*Mas, se os fragmentos grosseiros são formados de detritos de uma rocha facilmente alterável, rica em Ca, Mg, P e K, podem fornecer às plantas estes elementos; isto é sobretudo válido para os climas quentes e úmidos, onde a alteração é rápida (solos sobre *Lappilis* vulcânicos do sul do Camarão, alguns solos cacauzeiros de Itabuna, etc.).*

Em regra geral, pode-se dizer que os elementos grosseiros do solo têm um papel nulo ou negativo na fertilidade, exceto em alguns casos particulares.

1.2. Os elementos finos

Costumam-se agrupar os elementos finos do solo em várias frações, expressas em microns (um micron é igual a um milésimo de milímetro: $1 \text{ mm} = 1\,000 \mu$).

1.2.1. Sistemas de classificação

1.2.1.1. Sistema de Atterberg (sistema internacional)

Argila < 2 microns.....	=	< 0,002	mm
Limo (silte) 2-20 microns.....	=	0,002 - 0,02	mm
Areia fina 20-200 microns.....	=	0,02 - 0,2	mm
Areia grossa 200-2 000 microns	=	0,2 - 2	mm

Este sistema de fracionamento, seguindo uma escala logarítmica, é comumente utilizado pelos pedólogos do mundo inteiro.

1.2.1.2. Sistema USDA (United States Department of Agriculture)

Argila.....	<	2 mícrons
Limo (silte).....	2 -	50 mícrons
Areia muito fina.....	50 -	100 mícrons
Areia fina.....	100 -	250 mícrons
Areia média.....	250 -	500 mícrons
Areia grossa.....	500 -	1 000 mícrons
Areia muito grossa.....	1 000 -	2 000 mícrons

1.2.1.3. Sistema para solos tropicais

Argila.....	<	2 mícrons
Limo fino (silte fino)....	2 -	20 mícrons
Limo grosso (silte grosso)	20 -	50 mícrons
Areia fina.....	50 -	200 mícrons
Areia grossa.....	200 -	2 000 mícrons

Este sistema tem a vantagem de separar a fração de 20 até 50 mícrons, a qual possui propriedades bastante diferentes das propriedades das areias; em particular, certa capacidade de troca.

Por outro lado, agrupando-se as frações *silte grosso* e *areia fina*, reencontra-se, exatamente, a classificação do sistema de Atterberg.

1.2.2. Características da fração argilosa

A palavra *argila* é geralmente utilizada, em pedologia, para designar tudo o que, no solo, tem um tamanho incluído entre 0 e 2 mícrons.

Esta fração *argila* compreende:

- a) argilas cristalizadas (as verdadeiras *argilas* dos mineralogistas);
- b) detritos de quartzo, de micas, de feldspatos e de minerais diversos (o pó dos geólogos);
- c) óxidos e hidróxidos de ferro, de alumínio, de manganês, etc.

Os cristais de certas argilas cristalizadas podem ter tamanho superior a 2 mícrons (algumas ilitas e algu

mas argilas fibrosas, sobretudo) e se encontram na fração *silte*; assim, oxisols (solos ferralíticos) de Trindade contêm quantidade relativamente importante de vermiculita na fração *silte* (2 - 20 microns).

Geralmente, na maioria dos solos tropicais, a proporção de argila cristalizada, nos siltes, é muito pequena.

A *argila cristalizada* é formada de folhetos superpostos:

Tipo de argila	Espessura do folheto
Caolinita	7 Angström (7Å)
Ilita	10Å
Montmorilonita	10 até 16Å
Clorita e vermiculita	14Å

A *caolinita* é o principal constituinte argiloso da maioria dos solos tropicais das regiões úmidas; representa a quase totalidade da argila cristalizada dos solos ferralíticos.

A *ilita* é abundante nos solos temperados, onde se encontra misturada com a caolinita e a montmorilonita.

A *ilita* existe somente, em quantidade muito pequena, nos solos das regiões tropicais úmidas (solos ferralíticos), mas seus teores crescem, à medida que o clima se torna mais seco (zona tropical semi-árida).

Os folhetos da *ilita* são suficientemente afastados (0,5 - 0,7Å), para que penetrem, entre eles, certos cátions como o K^+ . Esta propriedade é muito importante, porque possibilita o armazenamento do K dos fertilizantes entre os folhetos de *ilitas*; em seguida, este K é devolvido, progressivamente, às plantas.

Quando não existe (ou existe muito pouca) *ilita*, como, por exemplo, nos solos ferralíticos, o K dos fertilizantes, quando não utilizado imediatamente pelas culturas, é levado em profundidade pelas chuvas.

A *montmorilonita* possui a propriedade de inchar em estado úmido: uma película de água penetra entre os folhetos e afasta-os, até que atinjam uma espessura de $16\text{\AA}$; a *montmorilonita* volta à sua espessura de $10\text{\AA}$, quando seca.

As variações de espessura devidas à umidade provocam, no solo: fendas de retração, em estado seco; pequenas moitadas de compressão, em estado úmido (relêvo *Gilgai*); movimentos de mistura, dentro do solo.

A maior abertura dos espaços entre os folhetos favorece a entrada dos íons minerais, assim como de finas partículas de matéria orgânica; daí a cor escura da parte superior dos solos ricos em montmorilonita.

A montmorilonita se encontra, sobretudo, nos solos das regiões relativamente secas (zona temperada quente e zona tropical semi-árida), quando estes solos são formados a partir de rochas ricas em Ca e Mg (calcários dolomíticos, dolomia, basaltos, diorita, gabros, certos granitos alcalinos, etc.).

Desde que a pluviosidade ultrapasse 1 500 mm anuais, os solos com montmorilonita são raros; entretanto, existem exceções, tais como os solos *massapê* no Recôncavo da Bahia.

1.3. Os elementos orgânicos

1.3.1. Os elementos orgânicos vivos

São, em primeiro lugar, as bactérias e os diversos animais do solo (vermes, artrópodes, etc.). O seu papel no solo é tão importante, que constitui o objeto de duas disciplinas especiais da pedologia: a *microbiologia dos solos* e a *faunística dos solos*.

Além destes, encontram-se, nos solos, as raízes vivas das plantas: ervas ou árvores. Ao contrário do que se poderia pensar, as raízes das ervas, que crescem e morrem cada ano, têm muito mais importância em pedologia que as raízes das árvores, que permanecem praticamente imóveis durante

todo o período de vida das plantas.

1.3.2. Os elementos orgânicos mortos

São as folhas, os galhos e as hastes, que caem na superfície do solo, assim como as raízes, depois da morte da planta (sobretudo as raízes das gramíneas).

Estes elementos orgânicos são decompostos pelas bactérias e pelos cogumelos dos solos, e dão nascimento à *matéria orgânica*, que é, assim, constituída pela transformação dos detritos vegetais mortos, aos quais se *misturam* os corpos das bactérias mortas.

1.3.3. A matéria orgânica do solo

Ela será estudada, em detalhe, num outro capítulo. Somente as características essenciais serão dadas aqui.

Na matéria orgânica do solo, distinguem-se uma fração mal decomposta e uma fração bem decomposta.

1.3.3.1. Constituintes da fração mal decomposta

A matéria orgânica mal decomposta (*litière*, em francês; *litter*, em inglês) é formada pelos detritos vegetais frescos, na superfície do solo.

Ela não existe nos solos cultivados; sua espessura é reduzida ou nula nos climas quentes e secos, mas pode atingir vários milímetros, às vezes alguns centímetros, na zona tropical úmida.

Ao contrário, na zona temperada fria, a *litière* pode ter uma espessura de alguns centímetros, ou até algumas dezenas de centímetros.

1.3.3.2. Constituintes da fração bem decomposta

A matéria orgânica bem decomposta, chamada *húmus*, é incorporada ao solo. Apesar de o húmus desempenhar um papel muito importante nos solos, a sua composição ainda é mal conhecida. Os métodos de fracionamento químico permitem distinguir os seguintes corpos:

a) os ácidos crênicos ou compostos hidrossolúveis: são solúveis na água e migram facilmente no perfil; dão nascimento aos ácidos fúlvicos;

b) os ácidos fúlvicos: têm fórmulas químicas muito semelhantes às dos ácidos crênicos, com íons de Fe e de Al^{+++} a mais; são pouco solúveis na água, por causa da presença de Fe e Al; são encontrados, em grande quantidade, nos solos ácidos;

c) os ácidos húmicos brunos: têm uma cor clara em solução, mas formam faixas avermelhadas no papel de eletroforese; floculam lentamente com o íon Ca^{++} ; são pouco polimerizados; isto quer dizer que sua fórmula química não é muito complicada;

d) os ácidos húmicos cinza: têm uma cor escura em solução, mas aparecem em cinza no papel de eletroforese, daí seu nome; são nitidamente mais polimerizados que os ácidos húmicos brunos, quer dizer, têm fórmulas químicas maiores e mais complicadas; floculam fácil e rapidamente com o íon Ca^{++} ; encontram-se, sobretudo, nos solos neutros ou pouco alcalinos, ricos em Ca e Mg;

e) a humina: chama-se *humina* o conjunto de compostos húmicos que resistem às reações químicas que permitiram separar e identificar os corpos precedentes; é, de certa maneira, o resíduo da extração, depois de se terem isolado os ácidos crênicos, fúlvicos e húmicos, brunos e cinza.

Alguns autores consideram a humina como um produto mais evoluído, mais velho, portanto, que os ácidos fúlvicos e húmicos; outros, como um produto mais novo.

Na prática, não se consegue separar a humina das matérias orgânicas frescas em início de decomposição, o que pode explicar estas interpretações divergentes.

De qualquer maneira, a humina constitui, freqüentemente, 40 a 60% da matéria orgânica evoluída dos solos. Este percentual é considerável. Não se conhecem, mesmo aproximadamente, as fórmulas químicas dos compostos que constituem a humina. Assim, quase a metade do húmus é completamente desconhecida.

2. OS COLÓIDES DO SOLO E SUAS PROPRIEDADES

2.1. Definição dos co- lóides

Os colóides são partículas de pequeno tamanho, sempre inferior a 5 microns, incluídas, na sua maioria, entre 0 e 2 microns.

Pertencem a três grandes grupos:

2.1.1. Os óxidos e hidróxidos metálicos

São colóides eletropositivos, assim chamados porque são carregados positivamente. Eles são representados envolvidos por uma nuvem de elétrons positivos. Segundo a teoria da dupla carga de Gouy, os colóides são envolvidos por elétrons negativos situados muito perto da superfície, que geram uma segunda coroa de elétrons positivos, responsáveis pelas propriedades eletropositivas destes colóides.

Eles atuam como bases fracas e são, assim, capazes de fixar ânions (OH^- , PO_4^{---} , SO_4^{--} , etc.). Dispersam-se em meio ácido e flocculam em meio alcalino.

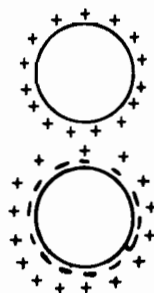


Fig. 1

No caso dos solos tropicais ricos em hidróxi-
dos metálicos, esta propriedade é importante para a retenção
do P dos fertilizantes.

É provável (porém, sem que se tenha certeza disto) que o PO_4^{---} , após a sua fixação sobre o colóide positivo, fique com algumas cargas livres.

Estas cargas negativas podem ser neutralizadas pelos cátions, em particular K^+ .

Por esta razão, a lixiviação do K dos fertilizantes é muito menor com fosfato de potássio do que com cloreto de potássio.

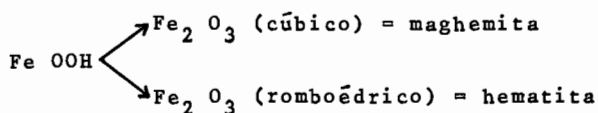
O anion SO_4^{--} tem o mesmo papel, porém mais fraco; além disso, a fixação do K intervém de maneira sensível somente com pH igual ou inferior a 5, segundo trabalhos feitos na Malásia.

A capacidade de fixação dos hidróxidos é, segundo Blanchet, de 23 a 25 g de P por 1 000 g de óxidos, utilizando-se uma solução com 1 mg de P por litro.

Os mais importantes dos colóides eletropositivos são os hidratos de ferro e de alumínio, sobretudo:

Goethita	α Fe OOH
Lepidocrocita	γ Fe OOH
Diaspório	α Al OOH
Bohemita	γ Al OOH

Quando o solo se resseca muito durante um longo período (vários meses), estes hidróxidos se transformam em óxidos, cujas propriedades coloidais são nulas ou muito fracas. Assim:



Somente a maghemita conserva, ainda, a propriedade de fixar anions, em pequena quantidade.

A transformação dos hidróxidos em óxidos provoca, também, a insolubilização do PO_4 fixado antes. O P ligado ao Fe se torna completamente inassimilável pelas plantas, mas o P ligado ao Al permanece assimilável.

2.1.2. As argilas ou colóides hidrófobos

São assim chamados, por serem envolvidos por uma camada de água muito fina. São eletronegativos, porque possuem uma coroa de elétrons negativos.

Segundo a teoria da dupla camada de Gouy, uma primeira camada de elétrons positivos é seguida de uma camada mais larga de elétrons negativos, que dá aos colóides suas propriedades eletronegativas.

Como, na realidade, as argilas são constituídas de folhetos superpostos, estas cargas negativas envolvem empilhamentos de folhetos. A segunda representação, sob o aspecto de folhetos, é mais próxima da realidade que a primeira.

Os colóides eletronegativos *agem como ácidos fracos, fixando cátions*; possuem, também, uma pequena capacidade de troca para os cátions (0,14 de P para 1 000 g na caolinita; 4 para 1 000 g na montmorilonita) K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Ba^{++} , Mg^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , etc., que neutralizam as cargas negativas da argila.

Os colóides floculam em meio ácido e se dispersam em meio básico.

2.1.3. Os colóides húmicos ou suspensóides ou hidrófilos

São assim chamados, porque aparecem como suspensos no meio de uma espessa camada de água.

Na maioria, os colóides húmicos são eletronegativos, como as argilas; isto quer dizer que eles *fixam cátions* (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc.).

Mas certos colóides húmicos *fixam, também, anions*, tais como PO_4^{---} , SO_4^{--} ; são, portanto, eletropositivos, pelo menos parcialmente.

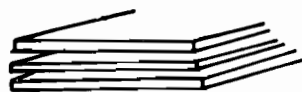
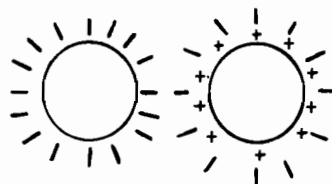


Fig. 2

Para alguns autores, a fixação do PO_4^{---} não seria devida às cargas coloidais, mas à formação de um corpo químico complexo: um humo-fosfato. Em todo caso, esta propriedade que tem o húmus de fixar P e S é muito importante para o abastecimento das plantas com estes dois elementos.

2.1.4. Os colóides anfóteros

Alguns colóides são *anfóteros*, isto é, mudam o sinal, quando muda o pH do meio exterior. As argilas podem ser anfóteras em certas condições: assim, a caolinita se torna eletropositiva, quando o pH da solução que a envolve é inferior a 4. Para certos autores, tratar-se-ia de um início de destruição da rede argilosa, o que muda o sinal elétrico da argila.

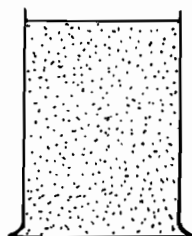
Trata-se, aí, sobretudo, de experiências de laboratório. Na realidade, *as argilas são sempre eletronegativas nas condições normais do solo.*

2.2. Dispersão e floculação dos colóides eletronegativos

As propriedades das argilas foram mais estudadas e são melhor conhecidas do que as dos colóides húmicos. Ainda que estes últimos sejam geralmente eletronegativos e tenham, como as argilas, a propriedade de flocular e de se dispersar, tratar-se-á, neste parágrafo, sobretudo das argilas.

2.2.1. Dispersão e floculação pelos íons OH^- e H^+

Em meio *alcalino* (pH superior a 7), onde os íons OH^- dominam (trata-se, portanto, de um meio carregado negativamente), *as argilas têm tendência a se dispersar*, quer dizer, a formar uma suspensão estável de elementos inferiores ou iguais a 2 microns.



Elas precisam de um tempo considerável, para se depositar no fundo da

Fig. 3

proveta: 6 a 10 horas para 10 cm de caída, segundo a lei de Stokes.

Com efeito, em *meio alcalino* (carregado negativamente por íons OH^{--}), tem-se a reação:



Os elementos argilosos, chamados, também, *micelas*, são carregados negativamente e se repelem uns aos outros.

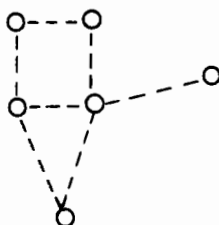


Fig. 4

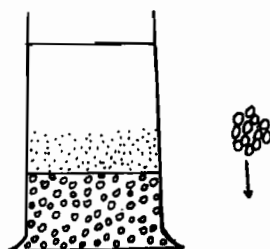
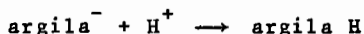


Fig. 5

Em *meio ácido*, com pH inferior a 7, rico em íons H^+ (o meio é carregado positivamente), tem-se:



As cargas positivas do íon H^+ anulam as cargas negativas da argila; as micelas de argila se aglomeram em agregados volumosos (lei de Van der Waals), que caem rapidamente no fundo da proveta.

2.2.2. Ação flocculadora dos cátions

Todos os cátions, inclusive H^+ , possuem a propriedade de anular as cargas negativas da argila, porque são carregados positivamente. Assim, todos eles podem provocar a floculação das argilas.

Na realidade, *os cátions bivalentes possuem uma ação flocculadora muito mais forte que os cátions monovalentes*: as argilas associadas a cátions bivalentes (argila Ca, argila Mg, argila Ba) serão muito mais energicamente floculadas do que as argilas potássicas, sódicas ou amoniacais (argila K, argila Na, argila NH_4) e apresentarão, nos solos, uma

estrutura muito estável.

Na natureza, dois cátions intervêm, sobretudo: Ca^{++} e Na^+ .

Em presença de Ca CO_3 , o pH é fracamente alcalino (entre 7 e 8): deveria haver, portanto, uma tendência à dispersão. Porém, a ação floculadora do íon Ca^{++} é tão forte, que os solos calcários têm argilas sempre muito bem floculadas, formando estruturas muito estáveis (estruturas agregadas).

Mesmo quando o solo não é calcário, a ação floculadora do íon Ca^{++} se produz ainda, quando o Ca satura as argilas na proporção de 40 a 80%. A estrutura do solo é estável, porém um pouco menos fina que no caso precedente (estrutura poliédrica).

Em presença de Na, se a quantidade de Na existente no solo é suficientemente fraca para que o pH permaneça entre 7 e 8, a ação floculadora do Na^+ é maior do que a ação dispersante do íon OH^- (pH fracamente alcalino). Portanto, não há floculação.

Se a quantidade de Na aumenta em presença de muita água, o pH aumenta muito, até 9 e 10; neste caso, a ação do pH alcalino será dominante e provocará a dispersão da argila. Se o solo seca, tem-se uma forte concentração de Na, e a ação floculadora do cátion Na é a maior: a argila flocula fortemente, o solo é bem estruturado, muitas vezes duro como concreto; em superfície, a argila forma, freqüentemente, pequenos agregados muito finos e sedosos ao tato, como veludo. É o que acontece nos solos fortemente salgados: são duros e resistentes quando secos, e se transformam em pasta escorregadia com as primeiras chuvas.

Sobre o húmus, o Na tem sempre um poder dispersivo, qualquer que seja a concentração em Na; isto é unicamente devido ao pH das soluções sódicas, e não à ação do cátion Na, que parece não desempenhar papel floculador sobre o húmus.

2.2.3. Insuficiências da teoria da floculação e da dispersão

A teoria descrita parece clara, coerente e fácil de entender.

Na realidade, ela é *simples demais* para dar conta da grande complexidade dos fenômenos naturais.

Por exemplo, se se acrescenta a uma argila grande quantidade de cal, e não de calcário (Ca CO_3), como no caso anterior, o pH aumenta até mais de 8; mas nunca se consegue obter a dispersão prevista com os pH superiores a 8: a argila permanece floculada.

Da mesma maneira, o papel do anion PO_4^{---} é mal conhecido: como todos os anions, deveria ter uma ação dispersiva em todos os casos; com efeito, esta ação é muito forte, quando se utiliza hexametáfosfato de sódio ou pirofosfato de sódio, mas parece nula ou fraca quando o PO_4^{---} está ligado ao K, ao NH_4 e, sobretudo, ao Ca.

Com os colóides húmicos, o Na tem uma ação dispersante em pH alcalinos. Por outro lado, o Ca e o Mg fazem sempre flocular o húmus, mesmo quando o pH é vizinho de 8 ou superior a 8.

O Fe exerce uma ação floculadora sobre a argila; porém, a floculação parece devida menos às propriedades catiônicas do Fe, que são fracas, do que ao fato de o Fe servir de ligação entre os colóides argilosos e húmicos, favorecendo a formação de colóides complexos argilo-húmicos muito estáveis. Na estrutura dos solos tropicais ácidos, o Fe tem um papel mais importante que o Ca.

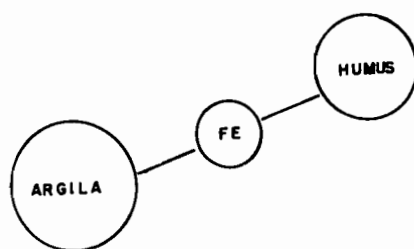


Fig. 6

2.3. Colóides complexos

Os colóides orgânicos formam, no solo, com a argila, o Fe e o Al, colóides complexos.

2.3.1. O complexo argilo-húmico

As moléculas do húmus, muito menores que as das argilas, tendem a formar uma coroa em torno dos cristais de argila.

Entretanto, os colóides húmicos são envolvidos

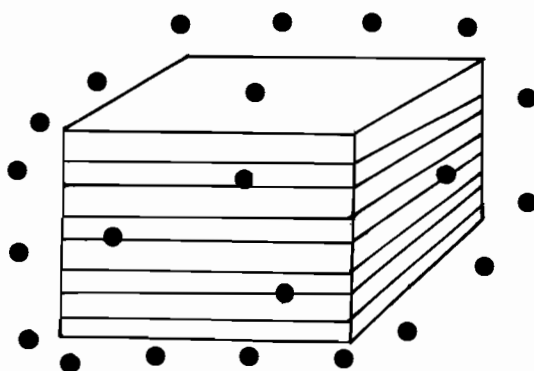


Fig. 7

por uma espessa camada de água, que forma um *envelope protetor* e que torna mais difíceis e mais lentas as trocas com o exterior; em particular, a chegada dos cátions, que poderiam fazer flocular a argila (e o húmus), é dificultada e atrasada.

Um complexo argilo-húmico dispersado flocula muito devagar e dificilmente, mesmo se o meio exterior é repleto de íons Ca^{++} .

Ao inverso, se o complexo argilo-húmico já é bem floculado, esta camada de água que o envolve tende a guardar prisioneiros os cátions, opondo-se, portanto, à dispersão.

O complexo argilo-húmico é, pois, mais difícil de dispersar, uma vez feita a floculação, que a argila sozinha; é por isso que o húmus constitui um cimento excelente pa

ra a formação dos agregados estáveis do solo.

2.3.2. Os complexos pseudo-solúveis organominerais

Formas de húmus solúvel, ácidos fúlvicos sobretudo, mas também ácidos húmicos brunos, constituem complexos com o Fe e o Al.

Estes complexos, sendo solúveis, migram facilmente dentro do solo; parece que se tem, aí, uma das formas essenciais do transporte do Fe dentro do perfil.

2.3.3. Os complexos pseudo-solúveis à base de silício

O Si existe em grande quantidade nos solos, sob a forma de quartzo, assim como de silicatos (as argilas são silicatos).

O Si é solúvel nas soluções do solo com muito fraca concentração (7 a 14 ppm). Pode, então, combinar-se com óxidos de ferro, formando complexos silício-ferro eletronegativos, dispersados e solúveis em meio alcalino, floculados em meio ácido, ou com o íon Ca^{++} .

Complexos silício-alumina, os alofânios, se formam em grande abundância, em certos solos, sobre cinzas vulcânicas (andosols); são géis muito menos solúveis do que os complexos silício-ferro, que acabam evoluindo para uma argila simples.

2.4. Capacidade de troca de bases

A capacidade de troca é a propriedade que tem o solo, e, mais especialmente, os colóides, de trocar os cátions de uma maneira reversível.

Existem, naturalmente, uma capacidade de troca particular da argila e uma outra particular do húmus. Praticamente, mede-se a capacidade de troca sobre o solo inteiro, peneirado a 2 mm; portanto, ao mesmo tempo sobre a argila e o húmus, quando este existe.

2.4.1. Definições

2.4.1.1. Capacidade de troca de bases ou de cátions: CTB ou CTC (em francês, *capacité d'échange de bases* ou *de cations*, CEB ou CEC; em inglês, *base exchange capacity* ou *cations exchange capacity*, BEC ou CEC)

Corresponde à quantidade máxima de cátions que o solo é capaz de fixar.

É internacionalmente designada pela letra T.

É expressa em m.e. para 100 g de terra fina, peneirada a 2 mm.

Deve-se lembrar que o equivalente-grama corresponde ao peso do átomo-grama, dividido pela valência. Por exemplo:

$$\begin{aligned} 1 \text{ equivalente-g} &= 1\,000 \text{ m.e.} = 39/1 \text{ g de K} \\ 1 \text{ equivalente-g} &= 1\,000 \text{ m.e.} = 40/2 = 20 \text{ g de Ca} \end{aligned}$$

2.4.1.2. Soma das bases trocáveis ou S ou SBT

É a soma dos cátions, além de H^+ e Al^{+++} , efetivamente fixados sobre o solo num momento dado. É expressa em m.e. para 100 g de terra fina, peneirada a 2 mm.

2.4.1.3. Grau de saturação em bases ou V

É a relação: $V = S/T \times 100$

É medido em percentual de S em relação a T.

2.4.1.4. Acidez de troca

É o teor em íons H^+ .

Acidez de troca: $T-S = H$

É expressa em m.e. para 100 g de terra fina.

2.4.2. Origens

A capacidade de troca é devida:

- a) às cargas eletronegativas das argilas;
- b) aos agrupamentos ácidos $COOH^-$ dos fenóis

dos húmus (esta capacidade de troca é extremamente importante; mais importante, com teores iguais, que a das argilas);

c) às cargas de superfície, provenientes da ruptura dos cristais, que possuem, então, cargas negativas livres. Isto acontece não só no caso das argilas (as mais finas têm as maiores capacidades de troca), mas também no caso de todos os cristais, inclusive o quartzo.

Na realidade, esta capacidade de troca só é apreciável quando se trata de elementos inferiores a 50 microns: depende, essencialmente, da superfície específica destes elementos. Assim, ela é sobretudo importante para tamanhos inferiores a 2 microns, e muito fraca entre 20 e 50 microns, se bem que ainda medível.

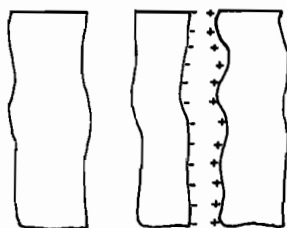


Fig. 8

2.4.3. Influência do pH sobre a capacidade de troca

A capacidade de troca varia com o pH.

Para pH inferiores a 6, a capacidade de troca é, geralmente, fixa: é a carga permanente.

Quando o pH é superior a 6, a capacidade de troca aumenta, e a diferença é chamada de *carga variável*: esta diferença é provocada sobretudo pelo húmus (em razão da dissolução dos íons hidróxidos H-OH), mas também pelos efeitos de margem.

É, portanto, impossível comparar os valores de capacidade de troca feitos a pH diferentes: assim, a medida da capacidade de troca terá, forçosamente, um caráter convencional.

Uma convenção faz com que a capacidade de troca seja medida a pH 7 (quando não é o caso, o experimentador deve indicá-lo claramente).

2.4.4. Influência do catión sobre a capacidade de troca

A capacidade de troca varia com a natureza do catión.

Um catión monovalente (K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H^+) neutraliza uma carga negativa do complexo sortivo, mas a experiência prova que um catión bivalente (Ca^{++} , Mg^{++} , Ba^{++} , etc.) não neutraliza completamente duas cargas negativas.

Utilizando-se o íon Ca^{++} para medir a capacidade de troca, os valores encontrados serão um pouco superiores aos que teriam sido obtidos com o íon NH_4^+ , por exemplo.

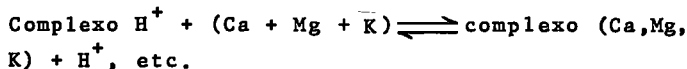
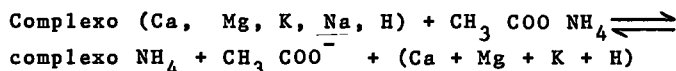
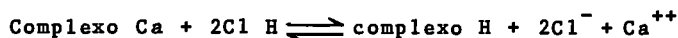
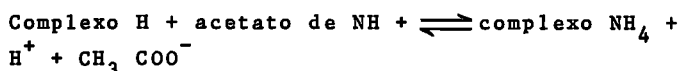
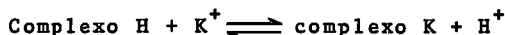
A diferença é medível e suficientemente fraca para ser negligenciável na prática usual.

Mas, utilizando-se o K num solo contendo illita, este K penetra entre os folhetos de illita e provoca seu fechamento, bloqueando a capacidade de troca desta argila.

Nos solos ricos em hidróxidos (solos tropicais), os hidratos de ferro e de alumina podem, também, bloquear uma parte da capacidade de troca do complexo sortivo e diminuir a capacidade de troca do solo, formando géis que fecham os sítios de troca.

2.4.5. Mecanismo de capacidade de troca

A capacidade de troca obedece, grosso modo, à lei de ação de massa, com os seguintes equilíbrios, segundo os casos:



Várias fórmulas, tôdas mais ou menos empíricas, foram propostas para exprimir, de maneira numérica, a capacidade de troca dos catíons. A mais satisfatória parece ser a de Freundlich:

$$Y = K X 1/P$$

onde: Y é a concentração de cátion sobre o complexo sortivo
 X é a concentração de cátion na solução
 K é uma constante de equilíbrio
 P é uma constante

Para exprimir os equilíbrios catiônicos entre solução e solo, os autores anglo-saxônicos utilizam, freqüentemente, a fórmula de Gapon: para 2 íons em presença, h sendo uma constante, tem-se:

$$\frac{K \text{ sol.}}{Ca \text{ sol.}} = h \frac{K^+}{\sqrt{2} Ca^{++}} ; \quad \frac{K \text{ solo}}{Al \text{ solo}} = h \frac{K^+}{\sqrt{3} Al^{+++}}$$

que parece derivar das leis do equilíbrio de Donnan:

$$\frac{(K^+)i}{(K^+)e} = \frac{\sqrt{2} (Ca^{++})i}{\sqrt{2} (Ca^{++})e}$$

i = solução interna (solo)

e = solução externa (solução)

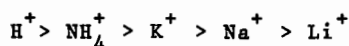
Muitas outras fórmulas foram propostas para dar conta da troca dos cátions no solo, entretanto, nenhuma é completamente satisfatória.

2.4.6. Capacidade de troca dos cátions

A possibilidade de substituir um cátion por um outro no solo foi constatada há muito tempo: as primeiras experiências datam de 1849, com o íon NH_4^+ (purificação de um *purin* — dejetos de porcos — por passagem através do solo).

Muitos trabalhos foram feitos sobre este assunto, com resultados às vezes contraditórios. Praticamente, constata-se que os *íons bivalentes são mais ativos* para deslocar os outros cátions do que os íons monovalentes.

Para cada categoria, a eficacidade do íon varia da maneira seguinte:



Isto quer dizer que o íon H^+ desloca mais facilmente NH_4^+ do que é deslocado por este.

Esta ordem de eficacidae do cat  n em rela  o ao complexo sortivo pode ter uma certa importância prática: assim, se se junta a um solo um fertilizante potássico e um fertilizante amoniacado, o NH_4 se fixa melhor que o K sôbre o complexo sortivo, e uma parte do K    perdida, levada em profundidade pela   gua.

Os cat  ns pesados, como Cu^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , se fixam sôbre o complexo sortivo do solo com grande fôrça e são difícilmente deslocados pelos outros cat  ns. Entretanto, nos solos muito ácidos ($\text{pH} < 4,5$ a 5), o íon Al^{+++} se desloca f  cilmente.

O inverso acontece com o Al:   le    muito mal fixado nos solos neutros ou pouco ácidos, mas tende a substituir todos os outros cat  ns nos solos muito   cidos.

A natureza da argila também influi: a illita fixa, de preferência, o K; a montmorilonita fixa, de preferência, o Ca.

A concentra  o da soluço interv  m, também, na fixa  o dos cat  ns: com solu  es diluídas, o Ca    o mais en  rgicamente fixado, no caso de uma mistura de íons; com solu  es concentradas, o Na    preferencialmente fixado em rela  o aos outros cat  ns.

   por isso que, no laboratório, quando se quer medir trocas de íons, utilizam-se s  mente solu  es normais (concentra  o fixa de 1 molécula-grama por litro):    uma convenço, mas universalmente admitida.

Esta influência da concentra  o das solu  es sôbre a capacidade de troca dos cat  ns tem conseqüências importantes nas regiões tropicais:

Na zona equatorial, onde chove muito, as solu  es do solo são muito diluídas, e o Ca se fixará preferencialmente, em rela  o aos outros íons: com efeito, constata-se que, nestes solos, o Ca representa a maior parte dos cat  ns (60 a 80%).

Na zona sêca, as solu  es do solo são muito mais concentradas, sobretudo se o escoamento superficial    deficiente:    o Na que tem tendência a se fixar. Daí a frequ  n

cia, maior do que na zona úmida, dos solos salinos (solos alomórficos).

2.4.7. A capacidade de troca e os catiões trocáveis nos solos tropicais

As capacidades de troca das argilas puras são, em média:

Argilas	m.e./100 g
Caolinita	5 a 15
Ilita	30
Montmorilonita	80 a 130
Vermiculita	100 a 150

Nos *solos da zona equatorial úmida* (mais de 1 200 a 1 500 mm de chuva por ano), a argila é quase exclusivamente formada de caolinita; isto faz com que a capacidade de troca do solo seja fraca: 2 m.e. para 100 g num solo formado de 25 a 30% de argila granulométrica.

Felizmente, a presença de húmus no horizonte superior aumenta consideravelmente o valor de T, muitas vezes até 6 ou 7 m.e., às vezes até 12 ou 14 m.e. Os valôres superiores a estes últimos números são excepcionais.

Nos *solos da zona tropical semi-árida*, a caolinita se mistura, freqüentemente, com vermiculitas, ilitas e montmorilonitas. A capacidade de troca aumenta em função destas misturas: pode atingir 40 a 50 m.e. para 100 g nos solos onde a montmorilonita é a argila dominante.

Quanto às bases trocáveis, quando chove muito (zona úmida), a chuva tende a tirá-las do complexo sortivo (lixiviação das bases), e o valor de S será, freqüentemente, fraco (S = 1 m.e./100 g de solo), enquanto que o grau de saturação cai, às vezes, até 10% ou menos, nos solos mais dessaturados e mais ácidos.

Por outro lado, se as chuvas são fracas (zona semi-árida), as bases são dificilmente evacuadas para fora do perfil do solo e tendem a se concentrar no local: o grau de saturação em bases ultrapassa, freqüentemente, 70% e pode ten-

der a atingir 100%, sobretudo se a drenagem não é boa (evaporação no local).

Na realidade, nos solos tropicais, o íon Ca é, usualmente, o mais abundante, exceto no caso dos solos alo mórficos (solos salgados), onde o Na domina.

A lixiviação das bases em clima tropical úmido é acompanhada, evidentemente, da substituição dos *cations* por íons H^+ (acidificação do solo); quando a proporção dos íons H^+ se torna importante, *ions* Al^{+++} se fixam, também, *sobre o complexo de troca* (o Al provém da degradação das argilas neste meio quente e úmido); a mesma coisa acontece com o Mn^{++} , se as argilas são ricas em Mn .

Em certos casos, a medida global da soma das bases trocáveis inclui o Al trocável, que é inútil e, muitas vezes, nocivo às plantas.

É o que acontece quando se faz a extração das bases trocáveis com o ácido clorídrico diluído.

Ao contrário, quando se faz a extração das bases trocáveis com o acetato de amônio, reencontra-se muito pouco Al na solução, porque o Al não se troca bem com o NH_4 a pH 7.

Observa-se, pois, nas regiões tropicais úmidas, um arrastamento das bases, em profundidade, pelas águas que percolam através do solo: é o *fenômeno da lixiviação*; felizmente, as raízes das árvores procuram, em profundidade (até o horizonte C), as bases levadas pela água, e as folhas caídas restituem-nas ao solo superficial; por este motivo, o horizonte A é, freqüentemente, a parte do solo mais rica em bases trocáveis.

Sob floresta, um equilíbrio acaba por se instalar entre lixiviação e subida das bases pelas raízes.

Mas, se chove muito (2 000 a 4 000 mm de chuva por ano), sobre solos muito permeáveis (onde a água percola rápida e facilmente) e suficientemente espessos para que as raízes não alcancem o horizonte C, estas não podem mais se reabastecer de bases. A lixiviação é muito importante e é a-

companhada de pH da ordem de 3 a 4, com teores de saturação em bases (V) inferiores a 10%.

Por fim, um equilíbrio se instaura, mas com estes valores muito baixos (Gabão, Congo Brazavile, Amazônia).

Evidentemente, quando se faz o desmatamento e, em seguida, a cultura, o equilíbrio é rompido: o solo perde suas bases e se acidifica. Assim, solos arenosos do sul do Senegal (1 100 mm de chuva) sofreram a evolução seguinte, durante 15 anos de cultura permanente (amendoim, milho miúdo, a dubo verde):

Horizonte Ap 0-15 cm	Soma das bases trocáveis S	pH
Floresta	4 m.e./100 g	6,4
Solos cultivados durante 15 anos	2 m.e./100 g	4,6 a 5,1

Observa-se, pois, perda da metade das bases trocáveis e diminuição de quase duas unidades de pH.

2.4.8. Teores de bases trocáveis no horizonte B de alguns solos da África (segundo B. Dabin)

	S	Ca	Mg	K	Na
	m.e./100 g				
Solos ferralíticos:					
muito dessaturados	0,44	0,2	0,09	0,04	-
mêdiamente dessaturados	1,3	0,53	0,54	0,03	-
fracamente dessaturados	2,55	1,31	0,83	0,05	-
Solos ferruginosos:					
tropicais lixiviados	3,16	1,82	1,23	0,11	-
pouco ou não lixiviados	5	2,74	1,92	0,15	0,18
Solos vermelhos tropicais ricos em bases	16,7	13,6	7	0,07	0,05
Solos mediterrâneos	29,5	22	3,13	0,38	0,88
Vertisols	21,7	15,09	4,78	0,37	1,44
Solos alomórficos	13,3	3,19	4,31	0,21	5,55

Observação: O horizonte B foi escolhido, aqui, por ser menos sensível do que o horizonte A às variações de teores em bases, provocadas pela cultura.

2.5. Reação do solo: pH do solo e acidez de troca

A reação do solo é uma noção complexa; envolve, na realidade, dois fatores distintos:

- a) a acidez atual, medida pelo pH (íons H^+ livres);
- b) a acidez de troca, que pode ser definida por um número de pH, ou ser expressa em m.e. para 100 g de terra fina (trata-se, então, de uma quantidade de íons H^+).

2.5.1. O pH do solo

Por definição, o pH é o cologaritmo da concentração em íons H^+ presentes no solo.

Pode ser expresso pela fórmula seguinte:

$$pH = pK + \log. \frac{(S/T)}{(H/T)}$$

pK é constante da dissociação da argila.

Com efeito, além dos cátions Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , o solo possui íons H^+ ; alguns destes íons H^+ são livres, e se pode medir sua concentração: é o pH chamado *pH água destilada*, obtido medindo-se o pH de uma solução contendo duas partes de solo e cinco partes de água destilada.

A gama de pH vai de 0 até 14, sendo 7 a neutralidade (o número 7 foi escolhido em razão da taxa de dissociação da água quimicamente pura, que é de 10^{-7} de íons H^+ e 10^{-7} de íons OH^-), 0 a acidez completa, e 14 a basicidade absoluta. Não se deve esquecer que se trata de uma gama logarítmica de base 10: se, a pH 6, a concentração em íons H^+ é de X, ela será de 10 X a pH 5, de 100 X a pH 4, de 1 000 X a pH 3, de 10 000 X a pH 2.

Para os solos, utilizam-se as denominações seguintes, a depender do pH:

Solos	pH		
Muito ácidos	3	a	5
Ácidos	5	a	6
Fracamente ácidos	6	a	6,7
Neutros	6,7	a	7,3
Básicos ou alcalinos	7,3	a	8,5
Muito alcalinos	8,5	e	mais

2.5.2. Alguns pH de solos tropicais e mediterrâneos

Solos	pH
Ferralíticos	às vezes 3,5; em geral 4 a 6
Ferruginosos tropicais	5,5 a 6,5
Vermelhos tropicais	6,5 a 6,8
Vermelhos mediterrâneos	6,5 a 8,2
Sub-áridos	6,5 a 8
Vertisols	6,7 a 8,5
Alomórficos (salinos)	7 a 9,5

A medida do pH se faz, habitualmente, em suspensões solos/água destilada fervida (a água destilada é fervida durante meia hora, para eliminar o gás carbônico, que forma com a água um ácido fraco). As proporções são de duas partes de solo para cinco partes de água.

Utilizam-se duas técnicas para a medida:

A *colorimetria* — faz-se uma suspensão solo/água, à qual se acrescenta um corante, e compara-se a cor obtida com a de uma mistura-tampão de pH conhecido, contendo o mesmo corante.

É freqüentemente necessário fazer flocular a argila em suspensão com gelobarrina, para obter-se um líquido claro.

Os corantes geralmente utilizados são:

Corantes	pH de viragem
Vermelho de metila	5
Azul de bromotimol	7
Vermelho de cresol	8

A *potenciometria* (é o método mais usado) — utiliza-se um pH-metro contendo dois elétrodos: um de vidro e um de calomel.

As medidas são precisas; em princípio, é possível fazê-las no campo, mas, em geral, prefere-se efetuá-las no laboratório, por causa da fragilidade do aparelho.

A medida do pH dá uma *idéia precisa da acidez livre ou acidez atual do solo*.

2.5.3. A acidez de troca do solo

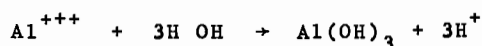
Além dos íons H^+ livres, existem, nos solos, íons H^+ que são fixados sobre o complexo sortivo (argila e húmus).

Para medir estes íons H^+ do complexo sortivo, precisa-se deslocá-los com um cátion; utiliza-se, habitualmente, o K (cloreto de potássio):



A acidez assim colocada em evidência é chamada *acidez de troca*, freqüentemente importante; em alguns solos (tropicais, em particular), ela pode baixar o pH de uma unidade em relação à medida efetuada com a água destilada.

Esta acidez de troca não é unicamente provocada pelos íons H^+ ; pode, também, ser proveniente de íons Al^{+++} , se estes estiverem presentes no solo (é o caso de muitos solos ferralíticos ácidos e muito ácidos):



Consegue-se separar a *acidez de troca* que é proveniente dos íons H^+ daquela que é devida aos íons Al^{+++} , fazendo-se uma segunda medida de pH sobre uma suspensão ferve

da, depois de ter sido acrescentada uma pitada de fluoreto de sódio. O fluoreto de sódio forma um complexo com o Al, que não intervém mais na reação, e a acidez medida é unicamente a dos íons H^+ . A diferença entre as duas medidas indica a parte do Al^{+++} .

No caso dos solos muito ricos em Fe, onde Fe^{+++} ocupa a maior parte dos sítios de troca (em lugar de H^+ e Al^{+++}), a acidez de troca medida com cloreto de potássio é fraca, pois o Fe^{+++} dificilmente se combina com a água e, desta forma, dá pouco H^+ , contrariamente ao que acontece com o Al^{+++} .

2.5.4. Relações entre a acidez do solo e a saturação em bases

Se bem que os íons H^+ livres na solução do solo sejam muito pouco numerosos em relação ao conjunto dos íons H^+ fixados sobre o complexo sortivo, existe, de fato, um equilíbrio entre os primeiros e os segundos:



Um solo muito dessaturado, possuindo, portanto, poucas bases e muito H^+ , terá um pH muito baixo (da ordem de pH 3 para um solo totalmente dessaturado).

Ao contrário, um solo completamente saturado de Ca tem um pH um pouco superior a 7.

Porém não se pode estabelecer uma correlação precisa entre o pH e a taxa de saturação em bases (V) para a maioria dos solos. É assim que solos com pH 7 podem ter V escalonada entre 60 e 80% (um solo neutro ainda contém, por conseguinte, H^+ trocáveis).

Em dois casos particulares apenas, pode-se estabelecer uma correspondência aproximativa:

Vertisols com argilas montmoriloníticas 2/1	
pH	V(%)
6,6	80
7	85 a 90

Solos ferralíticos com argila caolinítica 1/1	
pH	V(%)
3,7 a 4,5	5 a 10
4,5 a 5,5	10 a 30
5,5 a 6,5	30 a 50
7	60 a 80

Observação: O pH e o grau de saturação (V) têm grande importância na classificação francesa dos solos ferralíticos, pois são utilizados para definir as subclasses.

2.5.5. Variações anuais do pH

O pH varia, no decorrer do ano, num mesmo solo. O valor máximo desta variação é de duas unidades de pH (solos mediterrâneos arenosos). Em geral, nos solos tropicais, a variação é de meia a uma unidade de pH. O valor máximo do pH se situa no fim da estação seca, e o valor mínimo se situa no fim da estação chuvosa.

2.5.6. Poder-tampão do solo

O poder-tampão é a capacidade que tem o solo de resistir às bruscas variações do pH, introduzidas pelas soluções que o atravessam. É devido exclusivamente às propriedades do complexo sortivo (argila e húmus).

Um solo muito arenoso não tem, praticamente, nenhum poder-tampão, se a ausência da argila é acompanhada de teores muito baixos de matérias orgânicas.

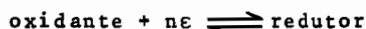
Na realidade, a argila pura tem um poder-tampão bastante fraco, pois troca, fácil e rapidamente, seus cátions com o meio exterior.

Ao contrário, se ela é misturada com o húmus (complexo argilo-húmico), opõe uma inércia considerável às trocas de cátions: seu poder-tampão é, então, importante.

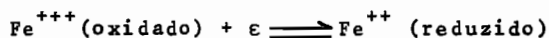
É ao poder-tampão que se devem as oscilações da agulha do pH-metro durante as medidas do pH. É preciso esperar alguns minutos, para que ele seja vencido.

2.6. Potencial de Óxido-redução ou potencial RED-OX, rH_2 ou Eh

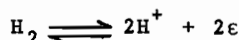
Quando um corpo oxida um outro corpo, éle próprio é reduzido e vice-versa. Estas transformações se fazem após uma transferência de elétrons:



Esta reação pode ser efetuada, quando um mesmo íon passa de uma valência a outra:



Ou ainda, quando o H molecular se transforma em H iônico (H nascente):



Por analogia com o pH, define-se o rH_2 como o *cologaritmo da pressão de H molecular*:

$$rH_2 = \log. \frac{1}{|H_2|} = \text{colog. } |H_2|$$

Os valores de rH_2 se situam entre 0 (a pressão de H molecular é igual a uma atmosfera), que corresponde à redução mais forte, e 40, onde a pressão de H é extremamente fraca.

O valor 27 corresponde ao equilíbrio entre redução e oxidação.

A medida do potencial RED-OX foi aplicada, essencialmente, ao estudo dos solos hidromórficos: o *gley* tem um rH_2 de 20, ou inferior a 20, e o *pseudo-gley*, um rH_2 de aproximadamente 25.

Há uma ligação nítida entre o rH_2 e o pH: com efeito, em meio ácido, a quantidade de elétrons necessários para efetuar as reduções é nitidamente mais fraca do que em meio neutro; assim, os solos de mangues, que são muito reduzidos (baixo rH_2), têm pH muito fracos, da ordem de 2 e 3.

A medida do rH_2 é feita por *colorimetria* (azul de metileno: viragem a $rH_2 = 14$; clorofenol-hidrofenol: viragem a $rH_2 = 20$), ou por *potenciometria*, com um potenciômetro que tem um dos elétrodos de platina; neste caso, mede-se um potencial

Eh, que se liga a rH_2 pela fórmula seguinte:

$$rH_2 = \frac{Eh}{29} + 2 pH$$

As medidas de rH_2 são operações delicadas. Devem ser feitas, obrigatoriamente, no campo, pois o O do ar perturba o rH_2 das amostras, e todo transporte um pouco longo torna as determinações posteriores perfeitamente ilusórias.

3. O pH DO SOLO E OS RENDIMENTOS DAS CULTURAS

As plantas cultivadas nas regiões tropicais são, na sua maioria, bastante tolerantes em relação ao pH do solo; pa-recem suportar, sem dificuldade, uma gama de pH indo de 4 até 7,5 (dendê, arroz, milho, amendoim, sorgo) e, às vezes, até 8 (cana-de-açúcar).

Entretanto, notou-se que os rendimentos variam bastante em relação ao pH do solo.

3.1. Influência do pH sobre os rendimentos das culturas

3.1.1. Solos ácidos

Algumas plantas preferem os solos ácidos. São, especialmente, a árvore do chá, a hévea (*Hevea brasiliensis*) e o dendê (*Elacis guineensis*).

O caso é particularmente evidente para a árvore do chá, que cresce bem e produz um chá de boa qualidade somente nos solos ácidos ($\text{pH} \leq 5,5$) do Extremo-Oriente, das Índias e da África Oriental. Se o pH atinge ou ultrapassa 6, a planta sofre e cresce mal.

Quanto à hévea e ao dendê, são simplesmente tolerantes aos pH baixos, mas ainda vivem bem quando o pH é 6 ou 6,5. Isto é válido sobretudo para o dendê, cujos rendi-

mentos são bons com pH 4 e até pH 6,5, na condição de ter, suficientemente, umidade, luz e elementos minerais à sua disposição.

Na realidade, estas duas plantas (hêvea e dendê) exigem condições de calor e de umidade tais (1 600 mm de chuva, no mínimo, para o dendê; 2 000 mm para a hêvea), que os solos são, na maioria das vezes, ácidos ou até muito ácidos nestas regiões. Por outro lado, são plantas pouco exigentes, do ponto de vista da nutrição mineral; estão, portanto, perfeitamente no seu lugar sobre os solos da zona tropical úmida, mesmo dessaturados e ácidos. A hêvea é ainda menos exigente do que o dendê.

3.1.2. Solos fracamente ácidos (pH vizinho de 6 ou pouco superior a 6)

Muitas plantas tropicais preferem os solos fracamente ácidos. Aparentemente, estas plantas não sofrem com o pH baixo e crescem, aí, normalmente; porém os rendimentos são mais fracos com pH ácido e aumentam muito quando o pH sobe.

A *bananeira* pode se acomodar com pH muito baixo (pH 4,5), mas foram constatadas, na Guiné, as seguintes diferenças de rendimentos:

pH do solo	Rendimentos em t/ha de bananas
4,5	16,9
6	30,7

O ótimo parece situado entre 6 e 7, se bem que, na prática, os plantadores de bananas aceitem uma gama de pH situados entre 5,5 e 6,5 (Costa do Marfim).

O *arroz* irrigado, no Mali (400 mm de chuva, logo, clima muito seco), apresenta seus melhores rendimentos com pH 6. Suporta, facilmente, pH do solo de 4 a 5, em detrimento, porém, do equilíbrio fisiológico (Mali, Senegal, Ceilão).

Um bom teor de matéria orgânica pode, até certo ponto, compensar a acidez do solo.

A *mandioca* dá um suplemento considerável de

rendimento, se o pH passa de 5 para 6.

No Togo, em Terras de Barre (solos ferralíticos fracamente dessaturados), foram observados os seguintes valores:

pH	t/ha de raízes
5,1	5
5,4	20
6	30

O *amendoim* prefere os pH vizinhos de 6, ou ligeiramente superiores a 6, dos solos arenosos do Senegal (solos ferruginosos tropicais e solos ferralíticos fracamente dessaturados); os rendimentos são ainda aceitáveis para pH 5 e, às vezes, 4,5 (sul do Senegal), se bem que eles diminuam quando o pH baixa. Entretanto, observou-se que a cultura do amendoim não era mais rentável com pH 4,4, nos solos ferralíticos dessaturados muito argilosos do Congo Brazavile (teor de argila de 60 a 70% em superfície).

O *algodoeiro* não pode suportar pH inferior a 5 ou 5,2: não apenas os rendimentos são mínimos, mas também, freqüentemente, a planta morre antes da colheita; isto foi observado sobre:

Os solos ferralíticos dessaturados da Costa do Marfim e do Congo Brazavile

Os vertisols e os solos vérticos do Chade

Os solos sobre basalto da Tanzânia

Os solos de aluvião de Madagáscar

No Mali, observaram-se grandes diferenças de rendimentos em cultura irrigada de algodoeiro em função do pH do solo, para uma taxa de N de 0,35 aproximadamente:

pH do solo	Rendimento de algodão em grão (kg/ha)
próximos de 7	2 000
6,5	1 500
6	1 000
5,5	500
5,3	300
5,1	100

A *cana-de-açúcar*, muito tolerante, pois suporta, sem grandes inconvenientes, pH que vão de 4 a 8,9, prefere, porém, solos relativamente neutros, com pH compreendidos entre 6 e 8; é nesta gama de pH que ela dá seus melhores rendimentos (Madagáscar).

O *cafeeiro* (aqui, *Coffea canephora* var. *Robusta*) e o *cacaueiro* dão seus melhores rendimentos com pH vizinhos de 6 ou ligeiramente superiores a 6.

3.2. Causas da ação do pH sobre os rendimentos das culturas

O pH é uma noção sintética que depende de numerosas propriedades do solo, em particular da saturação em bases e da taxa de matéria orgânica. Por outro lado, o pH influencia diretamente a vida microbiana do solo, logo, o fornecimento de N às plantas, assim como condiciona, em certa medida, a assimilabilidade dos elementos maiores e dos oligo-elementos.

Assim, a ação do pH sobre os rendimentos das culturas não é direta: ela se faz por intermédio de outros fatores.

3.2.1. Atividades das bactérias do ciclo de nitrogênio

A atividade das bactérias amonificadoras e nitrificadoras é ótima com pH vizinhos de 6 ou incluídos entre 6 e 7; é muito reduzida ou nula com pH 5 ou mais baixo.

Neste caso, as bactérias não podem fornecer à planta o N de que ela precisa, por isso, pode-se dizer que *a diminuição de rendimentos com pH ácidos é proveniente de um déficit na alimentação nitrogenada.*

Evidentemente, se o solo é muito rico em N (2,5% em alguns banais da Costa do Marfim), pode-se ter, aí, uma nutrição nitrogenada suficiente, por causa de um fenômeno de compensação entre reservas do solo em N, por um lado, e pH, por outro lado (ver capítulo sobre N).

3.2.2. Teores do solo em bases trocáveis

3.2.2.1. pH baixo demais

A um pH muito ácido correspondem, na maioria das vezes, teores em bases muito fracos.

Na Costa do Marfim e na Nigéria, o dendê sofre uma grave carência de K, com pH vizinho a 4,5 ou 4.

No sul do Senegal, quando o pH cai de 6 para 5 ou menos, os rendimentos em amendoim baixam fortemente, porque a taxa de Ca trocável é, então, inferior a 1 m.e.

3.2.2.2. pH elevado demais

Nos solos tropicais, pH superiores a 7,5 correspondem a quantidades importantes de Na sobre o complexo sortivo. A estrutura se torna desfavorável às culturas (em particular, quando $\text{Na/Ca} < 0,03$).

3.2.3. Toxicidade do manganês e do alumínio

Quando o pH baixa em torno de 5, o Mn dos solos (mas nem todos os solos contêm fortes quantidades de Mn) passa do estado tetravalente, normalmente insolúvel, ao estado bivalente, nitidamente mais solúvel e tóxico, sendo a toxicidade maior ou menor para as diferentes plantas, por teores de 30 a 140 ppm no solo.

O algodoeiro sofre da toxicidade do Mn com pH inferiores a 5 ou 5,2, e o amendoim, com pH inferiores a 4,5 (Congo Brazavile, Chade, Costa do Marfim).

Como já foi visto, os colóides do solo se carregam de íons Al^{+++} com pH baixos; ora, estes íons Al^{+++} podem se tornar tóxicos para as plantas com pH incluídos entre 4 e 5, em particular para o arroz (Indochina, Serra Leoa, Congo Brazavile).

3.2.4. Blocagem do fósforo sob forma pouco assimilável

No caso dos solos ácidos ($\text{pH} < 5,5$), ricos em Fe (goethita), o P se encontra sobretudo sob o aspecto de fosfato de ferro, praticamente inassimilável pelas plantas.

Resulta disto um déficit de P na alimenta-

ção destas plantas.

Ao contrário, nos solos pobres em Fe livre, o P se combina com o Al; estes fosfatos de alumínio são utilizáveis pelas plantas, mesmo com pH ácidos (4,5 a 5): solos ferruginosos tropicais, solos ferralíticos lixiviados.

3.2.5. Inassimilabilidade dos oligo-elementos

O Mo necessário ao rizóbio das leguminosas é tanto mais assimilável quanto mais o pH for vizinho de 7. Sua assimilabilidade diminui, se o pH baixa. Daí a morte dos rizóbios com pH abaixo de 5 nos solos arenosos (2 a 3% de argila) do centro do Senegal e o enfraquecimento das culturas de amendoim por falta de N.

Para os outros oligo-elementos (Cu, B, Zn), são sobretudo as brutais elevações do pH, por acréscimo dos corretores calcários ou dolomíticos, que provocam as deficiências.

3.3. Baixa do pH sob a influência das culturas

3.4. Correção do pH dos solos pelos corretores

Observação: Os importantes problemas *baixa do pH sob a influência das culturas e correção do pH dos solos* serão tratados no capítulo sobre o Ca e o Mg nos solos.

4. O NITROGÊNIO NOS SOLOS TROPICAIS

O N é uma das bases da alimentação das plantas, junto com o P, o K, o Ca e o Mg. Tradicionalmente, as adubações com fertilizantes minerais trazem N, P e K, pelo menos quando os agricultores utilizam adubos.

Por outro lado, pode-se dizer que todos os solos tropicais, sem exceção, não têm N suficiente para assegurar os rendimentos máximos das plantas: assim, o *Coffea arabica*, crescendo em solos excepcionalmente ricos da República do Camarão (1 a 6,8% de N total), tem seus rendimentos multiplicados por 2,8, com o fornecimento de 500 kg/ha de sulfato de amoníaco (103 kg/ha de N).

Entretanto, o N do ar é inassimilável pelas plantas, que se alimentam somente a partir do N do solo. Este N é incluído no húmus, sob formas orgânicas (ácidos aminados principalmente) também inassimiláveis.

Para que o N do húmus seja assimilável, é necessário que as bactérias do solo o façam passar pelas transformações seguintes:

Amonificação — passagem do N orgânico a N amoniacal: NH_3
Nitrificação — passagem do N amoniacal a N nitrado: NO_2^-
Nitratação — passagem do N nitrado a N nítrico: NO_3^-

As plantas cultivadas se alimentam, de preferência, de nitratos (forma nítrica do N); única exceção: o arroz dos arrozais inundados absorve o N amoniacal e praticamente nenhum N nítrico.

4.1. Origem do nitrogênio do solo

4.1.1. Nitrogênio trazido pelas chuvas

As descargas elétricas das trovoadas sintetizam amoníaco nas altas camadas da atmosfera, a partir do N do ar; este amoníaco é, em seguida, trazido ao solo pelas chuvas.

Em zona úmida e semi-úmida (Indochina, Malásia, Ceilão, Etiópia Central, Congo Kinshasa), as quantidades variam de 9,44 kg/ha/ano de N a 14 kg/ha/ano de N, segundo os anos e os autores.

Em zona semi-árida (Nigéria do Norte, Gâmbia), os ingleses mediram quantidades muito maiores: aproximadamente 50 kg/ha/ano de N, segundo Thornton e Jones, o que parece elevado.

Este N das chuvas está, principalmente, sob forma amoniacal; recolhe-se mais da metade durante as escasas chuvas da estação seca e as do início da estação chuvosa.

4.1.2. Fixação aeróbia do nitrogênio pelas bactérias do solo

Um certo número de bactérias do solo tem a propriedade de se alimentar de N a partir do N da atmosfera, mas unicamente em presença de O. É a fixação aeróbia. Nos solos tropicais (sobretudo na África de língua francesa), foi reconhecida a presença das seguintes bactérias aeróbias (o que não quer dizer que não existam outras):

Azotobacter chroococcum

Beijerinckia indica

Azotobacter beijerinckii

Bacillus circulans

Alguns germes *oligonitrófilos*

Somente *Azotobacter chroococcum* e *Beijerinckia indica* foram bem estudadas, embora os conhecimentos permaneçam fragmentários.

Azotobacter chroococcum vive com pH entre 6 e 8, com ótimo a pH 7, não se encontrando mais a pH abaixo de 6.

Beijerinakia indica seria um pouco mais tolerante em relação à acidez do solo. Apesar de opiniões contraditórias, parece, sem que isto seja uma certeza, que *Beijerinakia* pode viver com pH entre 4,4 e 7, mas seu ótimo de atividade se encontra com pH entre 5,6 e 6,2.

Não se conhecem as quantidades de N fixadas pelas bactérias aeróbias nos solos tropicais. Mas se pensa, no Senegal e no Mali, que elas são muito mais fracas que nos solos temperados, em particular porque as bactérias sofreriam carência de P.

4.1.3. Fixação anaeróbia do nitrogênio atmosférico pelos rizóbios das leguminosas

Certas bactérias anaeróbias (isto é, que vivem sem o O do ar), os *rizóbios*, têm a propriedade de penetrar nas raízes das leguminosas (amendoim, soja, feijão, etc.), formando asperezas chamadas *nodosidades*. A planta e a bactéria vivem em simbiose: a leguminosa fornece ao rizóbio hidratos de carbono (açúcar, amido), e, em troca, o rizóbio dá à planta o N que ele fixou a partir do ar.

Nos países tropicais, foi estudado sobretudo o rizóbio do amendoim.

Este rizóbio é muito abundante nos solos com pH situado entre 5,5 e 6,5. Morre nos solos muito arenosos (somente 2 a 3% de argila) do centro do Senegal, quando o pH cai para 5 ou menos. Isto não é válido para os solos mais argilosos, porque foi observado que ele vivia, sem dificuldades, com pH 4,5, em solos com 13% de argila, do sul deste país.

Trata-se, aqui, apenas da sobrevivência dos rizóbios entre duas safras de amendoim, porque, logo depois de entrarem nas raízes, estas bactérias são insensíveis às variações do pH.

A atividade dos rizóbios dentro das *nodosidades* é condicionada pelos teores do solo em P, assim como pelo Mo contido no solo: sem Mo, o rizóbio constitui as *nodosida-*

des normais, mas não fixa o N.

Segundo Dommergues, os rizóbios das leguminosas poderiam fixar, em média, N suficiente para corresponder a uma adubação nitrogenada de 100 kg/ha (ou seja, quase 500 kg de sulfato de amoníaco a 20,5%, o que é muito importante).

Mas o intervalo de variação seria enorme: de 60 kg/ha (mínimo de fixação para o amendoim) até 150 a 200 kg/ha de N, e até mesmo 300 kg (caso da soja).

4.1.4. Fixação anaeróbia do nitrogênio atmosférico pelos *Closteridia*

Existem, no solo, bactérias fixadoras de N que são livres, isto é, não se associam às raízes das plantas. Sabe-se que elas existem nos solos tropicais, mas é quase tudo que se conhece a seu respeito.

Segundo certos trabalhos realizados na Austrália (sobretudo em zona climática mediterrânea), elas parecem desempenhar um papel muito importante.

4.1.5. Fixação anaeróbia do nitrogênio atmosférico pelas algas

Algas verdes e azuis (*cianofíceas*) têm a propriedade de fixar o N do ar.

Foram estudadas sobretudo em arrozais, por pesquisadores japoneses, indianos e egípcios. A produção do N por variedades selecionadas de algas é importante, a tal ponto que certos indianos consideram que elas fornecem N suficiente ao arroz durante um período de cultivo.

Estas algas existem, também, na superfície dos solos mal drenados, onde a água estagna durante muito tempo, depois de cada chuva. Não se conhece quase nada sobre o seu papel no fornecimento de N ao solo.

4.1.6. Quantidade de nitrogênio global fixada no solo

Segundo autores ingleses e nigerianos, as quantidades de N atmosférico fixadas no solo seriam:

Solos em pousio	kg/ha/ano de N
Sob savana herbácea (Gana)	39
Sem vegetação (sul da Nigéria)	36
Sob floresta (sul da Nigéria)	215

4.2. Evolução do nitrogênio da matéria orgânica do solo

Para que o N contido na matéria orgânica dos solos seja assimilado pelas plantas, é necessário que esta matéria orgânica seja transformada em elementos minerais (diz-se que a matéria orgânica é mineralizada), isto é, que o N passe do estado orgânico ao estado mineral (amoníaco ou nitratos), o único que as plantas podem utilizar.

A mineralização do N é feita por bactérias do solo.

4.2.1. Transformação do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal



Normalmente, as *bactérias amonificadoras* estão presentes em todos os solos tropicais, e em quantidade suficiente para realizar esta transformação; mesmo corpos químicos de síntese, como a uréia e a cianamida (utilizados como fertilizantes), são decompostos, sem dificuldades, em amoníaco.

A amonificação é pouco sensível à dessecação do solo (ela continua, se bem que fracamente, com pF 4,9), assim como ao excesso de água, pois se produz, normalmente, nos arrozais inundados.

A amonificação diminui durante os meses sem chuva, nas regiões semi-áridas, o que provoca uma acumulação de amoníaco nos solos; a nitrificação fica, então, quase inexistente. Na zona úmida, esta diminuição é pouco sensível.

O pH intervém na intensidade da amonificação; esta é ótima com pH 6 e diminui fortemente se o pH é igual ou inferior a 5. Neste momento, são os cogumelos que substituem as bactérias.

Este ótimo de amonificação com pH 6 explica por que o arroz dos arrozaes inundados dá os melhores rendimentos com pH 6. Este cereal cultivado em arrozal inundado consome sobretudo o N amoniacal, e é com este pH que a amonificação é mais intensa.

4.2.2. Transformação do nitrogênio amoniacal em nitratos

Esta transformação se faz em duas etapas, por dois tipos de bactérias, nitradas e nítricas:

NH_3 (nitrogênio amoniacal) $\rightarrow$ NO_2 (nitrogênio nitrado): bactérias nitradas

NO_2 (nitrogênio nitrado) $\rightarrow$ NO_3 (nitrogênio nítrico): bactérias nítricas

Como o estado nitrado é muito curto e as bactérias nitradas dos solos tropicais são mal conhecidas, as duas reações serão consideradas juntas, sob a designação geral de *nitrificação*, cujos produtos finais são os nitratos — NO_3^- .

Nos solos bem drenados e suficientemente úmidos (vizinhos da unidade equivalente), a nitrificação sucede, sem dificuldade, à amonificação.

Mas, se o solo é seco demais (além do ponto de emurchecimento), assim como úmido demais, a nitrificação é praticamente parada: *ela é muito menos tolerante à dessecação e à umidade excessiva que a amonificação. O pH ótimo da nitrificação é situado entre 6 e 7, mais perto de 7 que de 6, segundo alguns autores.*

As variações estacionárias da nitrificação são importantes. Em região semi-árida, a nitrificação em estado seco é nula. Ela cresce brutalmente, logo depois das primeiras chuvas, durante um ou dois meses; diminui em seguida, até um nível bastante baixo, durante o resto da estação chuvosa. Cada chuva importante provoca uma diminuição do teor de

nitratos no solo.

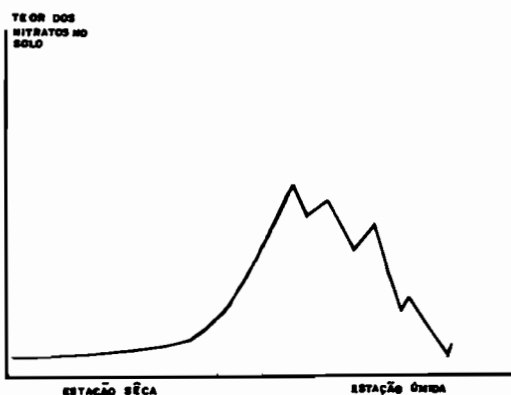


Fig. 9

Observa-se, ainda, esta variação estacional, atenuada, mas nítida, nas regiões tropicais úmidas, onde, porém, o solo permanece sempre úmido e onde há sempre algumas chuvas durante a estação seca.

4.3. Nitrogênio do solo, pH e fertilidade

Poder-se-ia pensar que, quanto mais rico em N é um solo, tanto mais as plantas terão possibilidades de se abastecer corretamente com este elemento. É preciso, entretanto, que este N, que existe no solo sob forma orgânica, passe a uma forma mineral, a única que as plantas podem utilizar facilmente. É aí que intervém a reação do solo, caracterizada pelo pH.

Com efeito, o pH do solo tem uma influência direta sobre a atividade das bactérias amonificadoras e nitrificadoras, e daí sobre o fornecimento deste N a partir da matéria orgânica do solo.

Um pH baixo demais (inferior a 4,5 ou 5) diminui consideravelmente os fenômenos de mineralização da matéria orgânica e, portanto, a quantidade de N disponível para as plan-

tas. Um pH elevado ($\text{pH} > 6-8$), quando não se trata de um húmus cálcico, acelera-os, e uma pequena quantidade de matéria orgânica no solo poderá liberar uma quantidade importante de N.

O fornecimento de N às plantas é, portanto, função, por um lado, dos teores do solo em N (presente sob forma orgânica sobretudo) e, por outro lado, dos valores do pH (que condiciona sua colocação à disposição das culturas).

Daí uma apreciação da fertilidade de um solo feita por Dabin em 1961: a escala de fertilidade reproduzida mais adiante (Fig. 10) é válida para os arrozais inundados e para as culturas sobre solos fora da água; ela foi verificada na África Tropical do Oeste, numa zona climática que se estende da floresta ombrófila (2 000 mm de chuva) até as estepes próximas do Saara (300 a 400 mm de chuva).

4.4. O problema dos fertilizantes nitrogenados nos solos tropicais

Praticamente em todos os solos do mundo, o N é o principal fator limitativo dos rendimentos das culturas. Em todas as épocas, a agricultura da Europa Ocidental utilizou o adubo de fazenda, resultante da fermentação em comum da palha e dos dejetos animais (a agricultura chinesa utiliza sobretudo os dejetos animais e humanos em estado bruto); o estrume contém praticamente todos os elementos fertilizantes (N, P, K, húmus, etc.), mas sua ação imediata e espetacular é sobretudo devida ao N.

No fim do último século, começou-se a utilizar o guano (nitrato do Chile), porque os agricultores nunca tinham bastante estrume para conseguir o rendimento máximo de suas culturas. O nitrato do Chile era, também, a fonte do N para a fabricação dos explosivos.

O bloqueio marítimo cortou aos alemães suas fontes de abastecimento de nitratos durante a guerra de 1914/18, obrigando seus químicos a fabricarem nitratos por síntese.

PH

0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	2	2.1	3	4	5	6	7	8	9	10	Nº/00		
BAIXO		MÉDIOCRE		MÉDIO		BOM		MUITO BOM		EXCEPCIONAL											RIZICULTURA ÚMIDA	7		
MÉDIOCRE		MÉDIO	BOM	MUITO BOM		EXCEPCIONAL																6		
BAIXO		MÉDIO	MÉDIO	BOM		MUITO BOM					EXCEPCIONAL						5.5							
BAIXO		MÉDIOCRE		MÉDIO		BOM		MUITO BOM			EXCEPCIONAL						5							
BAIXO				MÉDIOCRE		MÉDIO		MUITO BOM		EXCEPCIONAL						4.5								
BAIXO		MÉDIO	BOM	MUITO BOM				EXCEPCIONAL															CULTURAS DIVERSAS	7
BAIXO		MÉDIO	MÉDIO	BOM			MUITO BOM				EXCEPCIONAL								6.5					
MUITO BAIXO			MÉDIO	MÉDIO		BOM			MUITO BOM			EXCEPCIONAL						6						
MUITO BAIXO				MÉDIOCRE		MÉDIO		BOM			MUITO BOM						5							
MUITO BAIXO						MÉDIOCRE			MÉDIO			BOM			EXCEPCIONAL						4.5			

Fig. 10
Escala de fertilidade segundo Dabin (1961)

Desta época, 1920, data o extraordinário desenvolvimento da indústria dos fertilizantes.

4.4.1. Principais fertilizantes nitrogenados utilizados

As informações aqui fornecidas se referem, principalmente, à África Ocidental e Central; algumas comparações fazem pensar que elas são válidas para o conjunto dos solos tropicais.

4.4.1.1. O sulfato de amoníaco, $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$, com teor de 20,5% de N

É o fertilizante nitrogenado mais utilizado nos trópicos, por ser o mais barato e, também, por trazer, ao mesmo tempo, S e N.

Inconveniente: favorece a acidificação dos solos.

4.4.1.2. A uréia e a cianamida

São fertilizantes orgânicos de síntese; os seus preços, um pouco mais elevados que o do sulfato de amoníaco, são compensados por sua forma mais concentrada, vantajosa quando se precisa fazer um longo percurso, de caminhão ou por ferrovia, entre a usina (ou o porto de desembarque) e o lugar de utilização. A uréia e a cianamida se transformam em amoníaco nos solos, sem nenhuma dificuldade.

A uréia começa a ser bastante utilizada nas plantações de banana e de café da África Ocidental e Central.

4.4.1.3. O fosfato de amoníaco

É um fertilizante caro, mas que se torna mais rentável, quando é necessário transportá-lo a lugares distantes, porque traz, ao mesmo tempo, P e N sob forma muito concentrada (50% de P_2O_5 , quase 40% de N).

Os nitratos são pouco utilizados na África Tropical. Os belgas, no Congo Kinshasa, utilizaram o nitrato de sódio até 1956. Recentemente, na Costa do Marfim, foram feitas algumas experimentações com o nitrato de cálcio

sobre *Coffea canephora* var. *Robusta*.

4.4.1.4. O nitrato de amoníaco

Não é utilizado, porque é higroscópico e, quando úmido, se decompõe e dá amoníaco gasoso, o que provocou, entre 1945 e 1947, explosões tão mortíferas, que destruíram não somente os navios carregados de nitratos, mas também os portos e as cidades onde esses navios se encontravam (Houston, Brest).

Apesar dos progressos do condicionamento, o nitrato de amoníaco permanece higroscópico demais para os países tropicais.

Um dos motivos pelos quais os nitratos são pouco utilizados é o receio que têm os agrônomos de uma lixiviação acelerada dos nitratos sob a ação das chuvas; ao contrário, o íon NH_4^+ se fixa sobre o complexo sortivo do solo e resiste, então, ao arrebatamento pela água, até ter sido transformado, pelas bactérias, em N orgânico, depois em N amoniacal e, finalmente, em nitratos.

4.4.2. Valor agrônômico das diversas formas de fertilizantes

Foram comparados sobretudo o sulfato de amoníaco, a uréia, a cianamida e o fosfato de amoníaco (isto na África).

Tôdas as experiências levaram a concluir pela equivalência de tôdas estas formas de fertilizantes: pondo-se a mesma dose de N, obtêm-se, praticamente, o mesmo aumento de rendimentos com qualquer um deles.

Entretanto, há dois casos particulares muito importantes, cujos resultados foram diferentes:

a) se o solo é carente de S (caso geral nas savanas africanas), o sulfato de amoníaco dá os melhores resultados; mas, se se fornece S ao solo (S mineral ou contido num superfosfato), a superioridade do sulfato de amoníaco desaparece;

b) se o solo é carente de P (e quase todos os solos da África o são), o fosfato de amoníaco é o melhor;

entretanto, se se prefere fornecer o P ao solo sob uma forma mais econômica e, muitas vezes, mais prática (fosfato tricálcico, bicálcico ou superfosfato), o fosfato de amoníaco perde sua superioridade.

Algumas experiências foram feitas em arrozais inundados do Mali e de Madagáscar, para comparar o nitrato de amoníaco com o sulfato de amoníaco e a uréia: constatou-se que o arroz utilizava exclusivamente o amônio e não tocava no nitrito, que, por isso, era perdido ou utilizado pelas ervas daninhas.

Autores britânicos (Court, Stephens, Waid) assinalaram que *a uréia dos fertilizantes podia tornar-se tóxica* nos solos tropicais; esta toxicidade nunca foi constatada na África de língua francesa, talvez porque as doses utilizadas tenham sido relativamente fracas.

4.4.3. Acidificação dos solos causada pelos fertilizantes nitrogenados

4.4.3.1. A acidificação devida ao sulfato de amoníaco

O *sulfato de amoníaco* favoreceria muito a acidificação dos solos.

Com efeito, depois de o NH_4^+ ter sido utilizado pela flora do solo, o ânion SO_4^{--} se combina com o Ca do solo, para dar sulfato de cálcio, sal solúvel, facilmente carregado pela água de drenagem. Resulta, pois, um empobrecimento do solo em Ca, daí a acidificação.

A literatura agronômica é cheia de exemplos de baixa do pH por causa dos sulfatos de amoníaco nos solos temperados e tropicais.

Aqui, um caso citado por Dugain, na Guiné, em bananais sobre solos hidromórficos de baixadas, com pH inicial 4,8: cada vez que se colocam 200 kg anuais de N (1 tonelada de sulfato de amoníaco, o que é uma dose elevada), provoca-se uma diminuição de 0,20 a 0,25 unidades de pH.

Com 400 kg de N por ano (2 toneladas de sulfato), a diminuição é de 0,40 unidades de pH.

Por outro lado, nos cafezais da Cos

ta do Marfim; com doses nitidamente menores (200 kg de sulfato de amoníaco em 6 anos, ou seja, em média 33 kg de sulfato por ano), a diminuição do pH foi apenas de 0,1 unidade em relação ao testemunho (pH 5,05).

Na realidade, todos os fertilizantes nitrogenados acidificam o solo.

As experiências foram feitas com a uréia, assim como com a cianamida, sobretudo na África.

Todos estes corpos só contêm C, N e H, entretanto, produzem uma acidificação do solo mais fraca que com o sulfato de amoníaco, porém nítida.

Ao contrário, o nitrato de cálcio e a cianamida cálcica, que trazem, ao mesmo tempo, N e Ca, não acidificam o solo.

4.4.3.2. Mecanismo da acidificação

Num primeiro tempo, o amônio libera do pela uréia, ou trazido pelo sulfato de amônio, expulsa os cátions Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ do complexo sortivo e toma seu lugar. Estes cátions podem, então, ser eliminados por drenagem.

Na República do Camarão, comparou-se, depois de um ano, o pH com a soma das bases trocáveis de um solo vulcânico muito rico, que recebeu duas doses muito elevadas de sulfato de amoníaco: 1 350 e 2 700 kg/ha:

	Testemunho	I	II
Doses fornecidas	0 kg/ha de N	1 350 kg/ha de sulfato de amoníaco (275 kg/ha de N)	2 700 kg/ha de sulfato de amoníaco (550 kg/ha de N)
pH	6,4	6	5,1
SBT m. e./100 g	21,4	20,2	12,5

Os anions SO_4^{--} , para o sulfato de amoníaco, são, certamente, capazes de fixar as bases livres

sob a forma de sais solúveis, facilmente levados, depois, por lixiviação.

Os anions NO_3^- , formados no solo por nitrificação, são muito mais facilmente levados por percolação; entretanto, não saem sob forma aniônica, mas sob forma de nitratos de cálcio, de potássio, de magnésio, etc.

Estudos recentes parecem mostrar que eles são os principais responsáveis pelo desaparecimento das bases do solo.

Um solo cultivado durante vários anos, mesmo sem fertilizantes nitrogenados, se acidifica. No Senegal, depois de uma rotação das culturas no período de 4 anos (adubos verdes, amendoim, milho miúdo), observou-se:

pH antes do cultivo	6
pH depois de 4 anos de cultura sem <u>fertilizantes</u>	5,7
pH depois de 4 anos de cultura e fornecimento de 325 kg/ha de sulfato de <u>amoníaco</u>	5,5

Trata-se, aqui, de solos ferruginosos tropicais muito arenosos: 3 a 4% de argila.

O sulfato de amoníaco só faz acrescentar ao solo uma acidificação suplementar. O simples fato de fazer culturas sobre um solo já provoca uma acidificação; há perdas de bases:

a) pelas exportações devidas às culturas;

b) pela lixiviação dos elementos minerais, provavelmente sob forma de nitratos (mesmo se não se acrescentam ao solo fertilizantes nitrogenados).

4.4.3.3. Prevenção contra a acidificação do solo

Utilizaram-se, como fertilizantes nitrogenados, o nitrato de cálcio e a cianamida cálcica em café zais e bananais da Costa do Marfim e da Guiné: nos dois casos, o fornecimento do Ca reduziu ou suprimiu a acidificação. Mas são fertilizantes caros.

No Senegal, preconiza-se colocar, no início da rotação quadrienal (adubos verdes/amendoim/milho miúdo/amendoim), uma tonelada de fosfato natural moído (500 kg de cal), que é enterrado com adubo verde: o fosfato tricálcico, sal neutro, não releva o pH, mas sua dissociação lenta no solo impede (ou limita) a baixa do pH, pelo fornecimento de Ca ao solo.

Mas o procedimento tradicional, utilizado nos países tropicais, para restabelecer as propriedades do solo perturbadas pela cultura, é o pousio, com suas vantagens (procedimento seguro e barato) e seus inconvenientes (tempo muito longo — 5 a 10 anos — para 2 a 3 anos de culturas, imensas superfícies de terras inutilizadas, por estarem em pousio, e grande trabalho de desmatamento, quando do reinício das culturas).

O pousio é, atualmente, o procedimento mais usual nos trópicos, mas, mesmo na África Continental, apesar de pouco povoada, existe um certo número de regiões (oeste do Senegal, norte da República do Camarão e da Nigéria, Alta Volta) onde a pressão demográfica é tão forte, que a duração do pousio é muito reduzida, em detrimento da fertilidade do solo.

4.5. A lixiviação do nitrogênio no solo

Os nitratos não permanecem no solo; desde a primeira chuva um pouco forte, eles são levados em direção ao lençol freático, aos riachos, aos rios e, finalmente, ao mar.

Notou-se (Moulinier, 1962), em cafêzais da Costa do Marfim, que cada chuva importante fazia baixar o teor de nitratos, que se restabelecia, depois, por nitrificação da matéria orgânica do solo.

Fornecendo-se ao solo fertilizantes nitrogenados sob forma de amônio e de uréia, eles são transformados em nitratos, num prazo de alguns dias ou de algumas semanas (nos países temperados, precisa-se de vários meses, sobretudo no in-

verno).

Tudo que a planta não utiliza imediatamente é perdido.

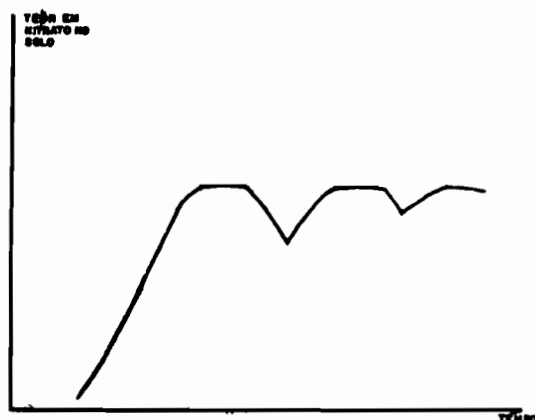


Fig. 11

Com exceção, talvez, dos bananais, onde a matéria orgânica, muito abundante, incorpora o N (Guiné, República do Camarão, Costa do Marfim), nunca há acumulação de N no solo.

Contudo, as plantas carecem de N; mesmo colocando-se os fertilizantes em três ou quatro frações, só se sabe com pensar a lixiviação de N com um outro fornecimento de N, o que provoca uma lixiviação maior de N e uma acidificação suplementar do solo.

Há, aí, um problema grave, que não se sabe resolver: os americanos propuseram envolver os granulados de fertilizantes numa casca de produtos orgânicos, que seria atacada, muito devagar, pelas bactérias; entretanto, o procedimento não saiu dos laboratórios e talvez nem tenha saído da imaginação de seus inventores.

5. O POTÁSSIO NOS SOLOS TROPICAIS

5.1. Origem do potássio dos solos

O K presente nos solos provém da rocha-mãe.

5.1.1. As rochas ígneas (rochas plutônicas e lavas)

Contêm muitos minerais com K como constituinte de seus cristais: são certos feldspatos (ortoso, anortosa, microclina) e as micas (biotita, muscovita, clorita); os minerais das rochas ultrabásicas (peridoto, piroxênio), entretanto, contêm muito pouco K.

5.1.2. As rochas sedimentares

Contêm sempre uma certa proporção de mica (muscovita), assim como de argila ilítica, cuja malha cristalina é rica em K. Isto é sobretudo válido para as lamelas, as argilas e os xistos; entretanto, mesmo os calcários e as dolomias contêm sempre K nas suas impurezas (muscovita, argila).

5.1.3. As rochas metamórficas

São geralmente muito ricas em K, seja sob forma de micas, sericita ou clorita (metamorfismo pouco profundo), seja incluído nos feldspatos potássicos, tal como o microclina (metamorfismo profundo das migmatitas e anatexitas).

Os solos deveriam, pois, ser muito bem dotados em K.

Na realidade, sobretudo nas regiões tropicais, o K *é mal fixado sobre o complexo sortivo do solo*, e os problemas agrícolas causados pelo K se devem mais a uma certa pobreza do que a uma riqueza grande demais.

Existe, entretanto, uma exceção: os solos que contêm argilas da família das illitas. Com efeito, a illita não sômente contém K na sua malha cristalina, mas tem, também, a propriedade de fixá-lo entre seus folhetos.

5.2. Formas do potássio nos solos

5.2.1. As principais formas do potássio nos solos

Segundo Wieklander, autor sueco, distinguem-se:

5.2.1.1. O potássio da solução do solo

É o K contido no filme de água que impregna e envolve as partículas do solo.

Ele está em equilíbrio com o K trocável do solo, do qual, na prática, não se distingue (a análise do K trocável inclui sempre o K da solução do solo).

5.2.1.2. O potássio trocável

É determinado por extração dos sais neutros, em particular com o acetato de amoníaco neutro e normal. Nos solos temperados, o K trocável representa 1 a 2% do K total, se bem que este número possa variar muito em função da natureza do solo (assim, todo o K está sob forma trocável nos solos unicamente compostos de matérias orgânicas). Quase nada se sabe sobre a relação K trocável/K total nos solos trpicais.

Todos os autores reconhecem que o K trocável é facilmente absorvido pelas plantas e que é a melhor forma para a nutrição potássica dos vegetais.

5.2.1.3. O potássio fixado

Os átomos de K são fixados sobre as interfaces dos folhetos e dentro das cavidades hexagonais dos

minerais argilosos, como a ilita. Se bem que retido com bastante força dentro dos folhetos, este K consegue sair devagar, quando o nível de K trocável baixa muito. Isto é, portanto, uma reserva de K im



Fig. 12

portante para as culturas. Infelizmente, muitos solos tropicais contêm pouca ilita, ou não a contêm.

5.2.1.4. O potássio das malhas cristalinas

Este K faz parte integrante da arquitetura de certos minerais, como as argilas ilíticas, as micas hidratadas, as micas e os feldspatos.

Representa a maior parte do K total. Só pode ser extraído por ataque com fluoretos (fluoreto de sódio, por exemplo).

Este K normalmente não é utilizável pelas plantas, entretanto, quando a alteração dos minerais é intensa e rápida (caso das regiões tropicais), libera, progressivamente, uma certa quantidade de K trocável, muito útil para as plantas.

Isto só poderá acontecer se o solo contiver, ainda, minerais, como os solos jovens pouco profundos, com fragmentos da rocha-mãe, ou os solos salpicados recentemente de cinzas vulcânicas (República do Camarão, Indonésia, América Central). Isto não pode ser o caso da maioria dos solos ferralíticos, onde não existem mais minerais potássicos originários da rocha-mãe, há dezenas de milhares de anos.

5.2.2. A reserva de potássio

O fato de poder existir, no solo, além do K trocável, um K acessível às plantas depois de um certo tempo (K situado entre os folhetos de argila e K liberado pela alteração) provocou a criação do conceito de "rés~~erve~~ de potas~~sium~~" pelos franceses, ou de "avail~~able~~ potass~~ium~~" pelos anglo-saxões (noção de reserva de K).

Tentou-se determiná-la:

a) por extração com ácido nítrico, fervendo durante 5 horas (método francês);

b) por extração com ácido sulfúrico diluído ou ácido cítrico diluído a 2% (método holandês, na Indonésia);

c) por extração com ácido clorídrico fervendo (método inglês, na Malásia, nas Antilhas, etc.).

5.3. O potássio e a nutrição potássica das plantas

Trata-se, aqui, somente do K trocável, determinado depois da extração a acetato de amônio neutro e normal.

Não somente se reconhecem teores-limite, abaixo dos quais haveria carência ou fortes diminuições de rendimentos, mas também se reconhece que o K deve encontrar-se numa proporção conveniente em relação aos outros cátions (Ca^{++} e Mg^{++} em particular).

5.3.1. Nível absoluto de carência ($\text{K} < 0,10 \text{ m.e./100g}$)

Quando o solo contém menos de 0,10 m.e. para 100 g de K, as plantas sofrem graves carências, com diminuição importante dos rendimentos.

Isto foi verificado, na África de língua francesa, com o abacaxi, a banana, o café, o cacau, o dendê, o milho miúdo, o sorgo, o arroz, o amendoim; na Nigéria, com o dendê; no Brasil e na Austrália, com a cana-de-açúcar (nível de carência entre 0,10 e 0,12 m.e./100 g de K); em Formosa, com a batata doce (nível de carência em torno de 0,09 a 0,10 m.e./100 g de K).

Às vezes, foram encontrados níveis de carência com valores mais baixos:

0,06 m.e./100 g de K com a mandioca, em Madagascar
0,05 a 0,06 m.e./100 g de K com o amendoim, em solos formados sobre dunas, no Níger (é verdade que estes solos são muito ricos em K extraído com o ácido nítrico fervendo)

Mas foram também assinalados níveis de carência mais elevados:

0,17 m.e./100 g de K com o abacaxi,
em Formosa

0,24 m.e./100 g de K com a cana-de-
açúcar, nas Filipinas

0,20 m.e./100 g de K com a cana-de-
açúcar, no Havai

0,34 m.e./100 g de K com a cana-de-
açúcar, na África do Sul

Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato de que 0,10 m.e. para 100 g de K representam um teor crítico abaixo do qual carências graves se produzem, mas não o teor ótimo para a obtenção dos melhores rendimentos possíveis.

Por outro lado, não se deve esquecer que este conceito depende da produtividade da planta e, portanto, de suas exigências.

Uma planta rústica, bem adaptada ao meio, como a mandioca, em Madagáscar, contenta-se com um teor de K muito mais baixo do que as variedades selecionadas e altamente produtivas de cana-de-açúcar, na África do Sul e no Havai.

O mesmo fenômeno ocorre nas regiões temperadas: 0,20 m.e. para 100 g de K eram considerados, na França, como suficientes, há 20 anos; atualmente, com os progressos da produtividade agrícola, tende-se a exigir teores de 0,30 a 0,50 m.e. de K para 100 g de solo.

5.3.2. Nível relativo de carência ($K = 2\%$ de SBT ou $K = 1,5\%$ de T)

Nos solos relativamente bem dotados em bases, *carências de K podem se produzir com K inferior a 2% de SBT* (cana-de-açúcar, na Austrália; banana, nas Antilhas; café e outras culturas, na África Tropical de língua francesa).

Na Nigéria, Tinker prefere utilizar, em solo sob dendê, a *relação K/T*; há carência quando K é inferior a

1,5% de T.

A relação K/T deveria ser melhor adaptada nos solos tropicais dessaturados.

Às vezes, este nível relativo é expresso em função do *teor do solo em argila + silte*, o que condiciona, em grande parte, a capacidade de troca — T (Forestier, em solo sob café, na República Centro-Africana):

Teor do solo em argila + silte (%)	Cafeeiro <i>Robusta</i> (Rep. Centro-Africana)
	Nível relativo de carência (teores-limite inferiores em K trocável do solo: m.e./100 g)
10	0,05
35	0,10
70	0,40

Não se deve pensar que, nas relações:

$$K = 2\% \text{ de SBT ou } K = 1,5\% \text{ de T}$$

os números sejam imutáveis. É provável que os progressos da agricultura os conduzam, no futuro, a uma reavaliação mais alta.

5.3.3. Escalas de fertilidade

Podem-se estabelecer, com a ajuda dos dados precedentes, escalas de fertilidade, das quais se apresentam alguns exemplos abaixo.

Se o solo é muito arenoso (menos de 10% de argila), precisa-se ponderar estes números com um coeficiente de 0,5 a 0,7.

Se o solo é muito argiloso (mais de 60% de argila), precisa-se multiplicá-los por 2.

Desta maneira, toma-se, numa certa medida, o valor de T, que está condicionado, em grande parte, pelos teores do solo em argila e silte.

*Escala de fertilidade de Vallance (1951), para
a cana-de-açúcar, na Austrália*

Teor do solo em K trocável (m.e./100 g)	Avaliação da fertilidade do solo para K
< 0,10	muito fraca
0,10 a 0,12 ou K < 2% SBT	fraca
0,12 a 0,18 com K > 2% SBT	média
0,18	boa a muito boa

*Escala de fertilidade de Dabin e Leneuf (1959),
válida, na África Ocidental, para a maioria das
culturas e praticamente todos os solos (exceto
os vertisols)*

Teor do solo em K trocável (m.e./100 g)	Avaliação da fertilidade do solo para K
0,10	fraca
0,10 a 0,20	medíocre
0,20 a 0,40	média
0,40 a 0,60	boa
0,60 a 1	muito boa

5.3.4. Os equilíbrios fundamentais entre potássio, cálcio e magnésio

Sabe-se que, em todos os solos, existe um antagonismo entre K e Mg.

Se o solo contém muito K e pouco Mg, as plantas absorvem muito o K e, insuficientemente, o Mg. De certo modo, acontece a mesma coisa com a soma Ca + Mg.

O mesmo fenômeno se produz, colocando-se fertilizantes potássicos sobre um solo que contém apenas bastante Mg para as plantas: um desequilíbrio é, assim, provocado na relação Mg/K, com carência de Mg para as plantas.

Infelizmente, as relações Mg/K e Mg + Ca/K não foram objeto de estudos sistemáticos; o problema é complicado, pelo fato de que estas relações não são as mesmas para todas as plantas, e, mesmo quando os teores são normais, um

fornecimento de fertilizantes pode desequilibrá-los. Seguem alguns exemplos:

Dendê (Julia, no Congo Brazavile):

Se $Mg/K \leq 2$ e $Ca/K \leq 5$, a absorção de K pela árvore é excessiva, enquanto há déficit de Ca e, às vezes, de Mg

Bananeira (Dugain, na Guiné; Martin-Prevel, nas Antilhas; Dabin e Leneuf, na Costa do Marfim):

Se $Mg/K \leq 3$, ocorre a doença do azul da bananeira (excesso de K)

Se $4 < Mg/K < 2,5$, convém à bananeira

Se $\frac{Ca + Mg}{K} > 40$ a 50, há carência de K

Cafeeiro Robusta (Forestier, na República Centro-Africana):

Uma relação $2,1 < Mg/K < 3,8$ convém bastante a este cafeeiro

Se $Mg/K < 2,1$, há excesso de K e carência de Mg na planta

Se $Mg/K > 3,8$, há excesso de Mg, sem carência de K (consumo sem proveito de Mg), exceto se $K < 2,5\%$ de SBT (carência de K)

Quanto à relação $\frac{Ca + Mg}{K}$, seus limites inferiores são:

$$\frac{Ca + Mg}{K} = 24 \text{ para argila + silte vizinho de 10\%}$$

$$\frac{Ca + Mg}{K} = 18 \text{ para argila + silte vizinho de 30\%}$$

$$\frac{Ca + Mg}{K} = 12 \text{ para argila + silte vizinho de 70\%}$$

Os limites superiores desta relação (acima dos quais há carência de K) são difíceis de precisar: pensa-se que eles podem se escalar entre 33 e 43.

Na Indonésia, Middelburg e Venema encontraram resultados semelhantes em solo sob dendê, mas, sendo o K extraído com o reativo de Morgan, os valores encontrados são difíceis de comparar com os precedentes.

5.3.5. Interação potássio-nitrogênio

Trata-se, aqui, de um equilíbrio K_2 O/N (expresso em peso, e não em miliequivalente, como precedentemente), que foi sobretudo estudado a propósito dos fertilizantes combinados N e K. Descobriu-se que o fertilizante mineral da bananeira (Formosa) deve ter um equilíbrio K_2 O/N de 2, e o do abacaxi (Camarão), um equilíbrio K_2 O/N de 1,5.

5.3.6. Interação potássio-fósforo

Se a planta é bem alimentada em P, ela utiliza melhor o K, e vice-versa (coqueiro, na Costa do Marfim; amendoim, no Senegal).

5.3.7. Interação potássio-ferro

Uma adubação potássica pode curar a clorose férrica do coqueiro (Índia).

5.4. Insuficiência da noção de potássio trocável e os trabalhos da escola inglesa

Em certos casos, notou-se que as plantas não se alimentavam exclusivamente a partir do K trocável (extraído com o acetato de amônio normal e neutro), mas podiam extrair do solo um K que aí se encontra sob uma outra forma.

Por exemplo, bananeiras, nas montanhas costeiras do Mayumbe, no Congo Brazavile, parecem tirar uma boa parte do K de que precisam das muscovitas em via de decomposição, muito abundantes no solo (Aubert).

Em Gana (Acquaye e outros), uma cultura de cevada em solos de cacauzeiros mostrou que a metade do K extraído pela planta provém da fração não trocável.

Na Indonésia, nos solos salpicados de cinzas vulcânicas, de Java, as correlações entre K trocável e nutrição potássica das plantas não são boas (Middelburg).

Por isso, procurou-se definir um K assimilável pelas plantas.

5.4.1. O potássio assimilável ou utilizável pelas plantas

Os *franceses*, na África, em Madagáscar; no Pacífico, na Guiana, nas Antilhas, fazem ferver a terra durante 5 horas com ácido nítrico fervente. Eles extraem, assim, um K imprópriamente chamado *potássio total*. (o verdadeiro K total é extraído por ataque fluorídrico).

As correlações são geralmente ruins com o K utilizado pelas plantas, mas este *potássio total* dá uma idéia das reservas do solo.

Os *holandeses*, na Indonésia, extraem K com o ácido cítrico a 2%, o reativo de Morgan, etc.

Isto dá bons resultados em certos solos, ruins em outros.

Os *inglês*, na Malásia, em Gana, nas Antilhas, fazem ferver o solo durante 2 a 3 horas com ácido clorídrico a 6N. Os resultados são bons em certos solos, ruins em outros, mas, de qualquer maneira, insuficientemente precisos para diferenciar os solos que são muito ricos em K, e mesmo os solos muito pobres em K.

5.4.2. Os trabalhos da escola inglesa

Atualmente, os pesquisadores ingleses, sob o impulso de Becket, estudam os equilíbrios entre o solo e soluções contendo quantidades variáveis de cloreto de potássio e de cloreto de cálcio (cloreto de alumínio para os solos da Malásia muito ricos em Al), e tentam determinar a repartição do K entre o solo e as soluções.

Eles pensam, assim, medir não mais o estado instantâneo do K útil às plantas (K trocável) ou as reservas mais ou menos utilizáveis com o tempo, mas um K útil às plantas durante a duração das culturas, tomando em consideração o ambiente catiônico (Ca e Al sobretudo), que tem uma grande importância para a utilização do K do solo pelas plantas.

Eles definem, assim, várias noções:

A *relação de atividade de K* (*activity ratio of K*):

É "a medida da energia de troca de K por Ca" (ou Al, utilizando-se cloreto de alumínio). Ela é representada pela fórmula seguinte, derivada da equação de Gapon:

$$AR^K = \frac{a(K)}{\sqrt{a(Ca + Mg)} + \sqrt{a(Al)}}$$

a significa: atividade de ...

A *relação quantidade-intensidade* (*quantity-intensity relation*):

Ela expressa a dependência do potencial de atividade em relação à quantidade de K lábil no solo.

Praticamente, representa-se a relação Q/I por uma curva que expressa os valores de AR^K em função das variações do K contido na terra, depois do equilíbrio entre solo e soluções.

A *capacidade potencial tampão do solo* (*potential buffering capacity*):

Ela mede a quantidade de K lábil e se expressa pela inclinação da curva precedente, portanto, pela derivada parcial: $\Delta Q/\Delta I$.

É também uma função de Ca, Mg e Al:

$$PBC = h F (Ca \text{ trocável} + Mg \text{ trocável} + Al \text{ trocável})$$

(sendo h uma constante)

Conclusão:

Este método tem o inconveniente de ser longo e complicado. Apenas começa a ser aplicado, e seus primeiros resultados parecem promissores, porém ainda são insuficientemente verificados, para que o método possa, atualmente, ser recomendado na prática.

Tinker, um inglês que utilizou este método sobre os solos de dendê da Nigéria, acha que o mais simples, para evitar os problemas provocados pelo íon Al^{+++} , é evacuã-lo por uma prévia adubação com cal; depois, as medidas clássicas do K trocável com o acetato de amoníaco e a avaliação da relação K/T informam suficientemente sobre as necessidades do

K para as plantas (e o dendê em particular).

5.5. A dinâmica do potássio nos solos tropicais

5.5.1. Fixação do potássio no solo

Nos solos que contêm ilita ou alofânios, o K penetra no interior dos cristais. Constitui, assim, uma reserva que é colocada lentamente à disposição das plantas, além do K trocável do complexo sortivo.

Nos solos com caolinita (solos ferralíticos, solos ferruginosos tropicais, isto é, a maioria dos solos tropicais), este armazenamento não se produz: segundo trabalhos recentes, realizados na Malásia, e ainda não confirmados, o K se fixaria, preferencialmente, em mais ou menos 5% dos sítios de troca e estaria em concorrência muito grande com Ca, Al e H em 25 a 30% dos sítios de onde ele seria facilmente eliminado por estes íons.

De qualquer maneira, pode-se dizer que *é difícil fixar o K sobre o solo, quando o K constitui mais de 3% da capacidade de troca (os números variam entre 1,1 e 4, segundo os autores)*, principalmente sobre os solos com caolinita.

5.5.1.1. Influência dos cátions H^+ , NH_4^+ e Al^{+++} sobre a fixação do potássio

Os cátions H^+ , NH_4^+ e Al^{+++} , presentes sobre o complexo sortivo, dificultam muito a fixação do K em posição trocável, conseguindo, até mesmo, impedi-la completamente.

Por isso, nos solos muito ricos em Al, começa-se por fazer adubação de calcário, para substituir Al por Ca. Em seguida, colocam-se fertilizantes potássicos, que são, então, melhor retidos, porque K desloca melhor Ca que Al (*Hevea*, na Malásia).

Por outro lado, quando se faz uma forte adubação com sulfato de amoníaco, misturado com o ferti

lizante potássico, o amônio fixa-se, preferencialmente, sobre o complexo sortivo, e o K é perdido por lixiviação (bananeiras da Guiné e da Costa do Marfim).

5.5.1.2. Influência dos ânions sobre a fixação do potássio

Os ânions, combinados com o K dos fertilizantes, têm uma influência sobre a fixação do K pelo solo.

O ânion PO_4 favorece muito a fixação do K sobre o complexo sortivo, constituindo uma ponte entre os colóides $^+$ e o cátion K (os americanos, no Havaí, pensam mesmo que a lixiviação do K é nula ou muito fraca neste caso). Mas os fosfatos de potássio são fertilizantes muito caros.

O ânion SO_4^{--} teria a mesma propriedade, mas numa proporção muito menor: é mesmo possível que tenha um papel eficaz somente quando o pH é vizinho de 5 ou inferior a 5; com pH superiores a 5, sua ação seria muito fraca (comparação entre os resultados obtidos na Malásia, no Havaí e em Porto Rico).

O ânion Cl^- não favorece, de maneira alguma, a retenção de K pelo solo. Entretanto, o cloreto de potássio é o fertilizante mais utilizado.

5.5.2. Lixiviação do potássio no solo

5.5.2.1. Lixiviação num solo sem fornecimento de fertilizante

No Senegal, observou-se, durante uma experiência com vasos lisimétricos, que o solo perdia anualmente, por lixiviação, com 800 mm de chuva:

	kg/ha de K_2O
Sob vegetação natural ou com adubos verdes	4 a 9
Sob culturas de amendoim	1 a 3
Sob solo nu (sem erosão)	14 a 16

Em toda a África intertropical, considera-se que as perdas de K por lixiviação são muito fracas sob vegetação natural, mas que elas crescem enormemente sob culturas, porque, em geral, estas culturas provocam uma forte erosão.

No Togo, ocorre a perda em óxido de potássio de 7 kg/ha/ano, sob uma recolonização florestal de 3 anos, e a perda em óxido de potássio de 200 kg/ha, sob uma cultura depois de uma erosão que levou 30 t de terra por hectare, quantidade que, infelizmente, não tem nada de anormal.

A erosão pode, portanto, ser considerada muito mais nociva do que a lixiviação.

5.5.2.2. Lixiviação num solo depois do fornecimento de fertilizante

No Senegal, colocando-se 41 kg de óxido de potássio (sob forma de cloreto) sobre um solo nu (que perde, sem fertilizante, 14 a 16 kg/ha de K_2O), a lixiviação do K é, então, de 29 kg/ha de K_2O , apesar de esta parte do Senegal ser uma região semi-árida.

Na Costa do Marfim, sob uma pluviosidade de 1 800 a 2 000 mm, constatou-se que 50 a 60% dos fertilizantes potássicos (aqui sob forma de cloreto) colocados sob bananeiras se reencontravam na água de drenagem. A experiência foi feita durante 3 anos, e a quantidade total de fertilizante colocada durante este período foi de 1 590 kg/ha de K_2O (ou seja, 2 650 kg/ha de KCl a 60% de K_2O).

A lixiviação dos fertilizantes potássicos é, portanto, um fenômeno grave; ela é ainda acentuada, se se colocam fertilizantes amoniacados.

Assim, no Senegal, ainda a respeito da experiência em vasos lisimétricos citada acima, foram colocados, sobre um solo nu, 140 kg/ha de N (sob forma de sulfato de amoníaco) ao mesmo tempo que 41 kg/ha de K_2O . Obteve-se uma lixiviação de 108 kg/ha de K_2O , ou seja, mais do dobro do fornecimento: o íon NH_4^+ não somente impediu a fixação do K dos fertilizantes no solo, mas também deslocou o K, normalmente presente sobre o complexo sortivo, que foi evacuado pelas

águas de drenagem.

Não se sabe muito bem como remediar esta lixiviação intensa dos fertilizantes.

Até agora, o melhor método é adaptar, exatamente, as doses de fertilizantes às necessidades das plantas. Na experiência do Senegal, nos vasos lisimétricos, conseguiu-se evitar as mesmas perdas em óxido de potássio (10 kg/ha), com ou sem fertilizantes potássicos, sob culturas de milho miúdo e de amendoim; no Havai, aconselha-se pôr o cloreto de potássio somente quando as raízes da cana-de-açúcar estão bem desenvolvidas, porque, a partir deste momento, as perdas são mínimas. Um outro método é pôr o fertilizante potássico várias vezes.

Deve-se bem compreender que a lixiviação do K é muito forte num solo nu, ou coberto por uma cultura aberta, o que dá no mesmo.

5.5.3. Transformação do potássio não trocável em potássio trocável nos solos

Já foram vistos, anteriormente, dois casos em que as plantas se alimentam a partir de um K não trocável (isto quer dizer que não pode ser extraído com o acetato de amônio neutro e normal).

Pode-se pensar que este K não trocável se transforma lentamente em K trocável no decorrer do tempo, e que as plantas o aproveitam.

Estes dois casos são:

O caso dos solos com ilita e com alofânios (vertisols e andosols):

O K, armazenado no interior das redes cristalinas, é lentamente liberado, se a solução do solo (isto é, o filme de água que impregna e envolve as partículas do solo) se empobrece fortemente em K.

O caso dos solos que contêm minerais em via de alteração:

São os solos jovens, ricos em muscovita, solos vulcânicos jovens, solos salpicados de cinzas vulcânicas.

A decomposição dos feldspatos e feldspatoides, sobretudo, assim como das micas (muscovita), libera o K: é um fato bem conhecido.

É necessário acrescentar um terceiro caso, mais misterioso, o caso dos pousios:

Depois de 3 a 5 anos de cultura, solos de savanas bem dotados em K, quando do desmatamento, começam a apresentar deficiências potássicas, o que é normal.

Quando se deixam estes solos em pousio gramado durante aproximadamente 2 anos, o abastecimento em K das plantas cultivadas se torna de novo normal por um outro período de alguns anos.

Quase nada se conhece do mecanismo que, sob a influência das gramíneas de savanas, é responsável pela transformação do K não trocável numa forma assimilável pelas culturas.

5.6. O potássio nos principais tipos de solos tropicais

Qualquer que seja o solo considerado, os teores de K trocável podem ser extremamente variáveis de um ponto a outro. Podem-se, entretanto, encontrar linhas diretoras em função dos tipos de solo.

5.6.1. Solos ferralíticos, oxisols, latosols da zona úmida

5.6.1.1. Solos de savana

Na África, constata-se carências de K, mais graves sobre os solos arenosos (pelo menos em superfície) e fortemente dessaturados; todas as culturas são atingidas: dendê, café, banana, plantas alimentícias.

Por isso, os fertilizantes potássicos dão resultados espetaculares: colocando-se 1 kg de cloreto de potássio (a 60% de K_2O) por ano e por dendêzeiro, obtém-se uma multiplicação por 7 das quantidades de óleo colhidas (2 000 kg/ha, em lugar de 250 a 300 kg/ha). Na verdade, o

solo continha, originalmente, apenas 0,02 m.e. para 100 g de K, o que é muito pouco.

Quando o solo contém 20 a 30% de ar gila (e mais) em superfície, as deficiências em K s^omente apa recem depois de 2 a 4 anos de cultura.

Entretanto, alguns solos s^obre ba- saltos, do Camar^oo, s^oo normalmente deficientes em K, qualquer que seja o teor de argila.

5.6.1.2. Solos de floresta

Em Yangambi, no Congo Kinshasa, a destruição e a incineração da floresta equatorial forneceram ao solo 118 a 130 kg/ha de K trocável, mais uma quantidade pe lo menos igual de K não trocável (vegetais não queimados ou insuficientemente queimados), ou seja, um total de pelo menos 260 kg/ha de K (metal) ou 310 kg/ha de K₂ O.

Colocando-se uma cultura arbustiva ou arborizada (dendêzeiro, cafeeiro, etc.) junto a uma planta de cobertura, êsse enriquecimento se mantém durante bastante tempo: aproximadamente 10 a 13 anos. As carências de K aparecem depois dêste tempo (República Centro-Africana, Nigéria, Malásia).

Por isso, recomenda-se aplicar fer- tilizantes 2 ou 3 anos depois do início da plantação, ou me nos, ou, às vezes, logo depois do início.

Ao contrário, quando se trata de cul turas alimentícias que cobrem mal o solo, *as deficiências em K aparecem j^a depois de 3 a 4 anos* (Congo Kinshasa e Brasil).

5.6.2. Solos brunos eutróficos, solos ferralíticos fortemente rejuvenescidos por erosão, ocrosols

Trata-se, geralmente, de solos relativamente ricos em K, com uma certa proporção de minerais mal decompos- tos provenientes da rocha-mãe e contendo K.

Constata-se, portanto, um certo esgotamento do solo em K ap^os as retiradas feitas pelas culturas, mas s^o depois de vários anos: uma dezena de anos para os cacaueiros de Gana (ocrosols).

Na Tanzânia, uma cultura ininterrupta de trigo durante 11 anos faz baixar o K trocável do solo de 0,12 m.e. para 100 g por ano, em média (teores iniciais fortes: 3,4 a 3,9 m.e./100 g de K trocável).

5.6.3. Vertisols

Há poucas informações sobre este tipo de solo. Os vertisols têm elementos trocáveis de todas as espécies, inclusive o K, e as carências de K são raramente observadas.

Entretanto, é necessário pôr fertilizantes potássicos sobre os vertisols do Havaí, cultivados, há muito tempo, com cana-de-açúcar.

5.6.4. Solos ferruginosos tropicais, solos pouco evoluídos (Psamments, Haplustalfs)

Trata-se dos solos da zona semi-árida.

Na África, carências de K são raras, pelo menos durante os primeiros anos que se seguem ao desmatamento.

Em seguida, constata-se, na maioria das vezes, um certo esgotamento em K, decorrente das culturas repetidas (solos com amendoim, do oeste e do norte do Senegal).

Entretanto, encontraram-se solos naturalmente carentes de K: *mancha* de Patar, no Senegal; solos sobre basalto, na Tanzânia.

5.6.5. Solos hidromórficos

5.6.5.1. Solos dos arrozais inundados

Em Madagascar, os arrozais dos Altos Planaltos, em torno de Tananarive, exigem uma fertilização potássica (foi mesmo calculado que 1 kg de óxido de potássio colocado sobre o solo dava um suplemento de rendimento de 12,2 kg de arroz).

No Mali, ao contrário, nenhuma fertilização potássica é necessária; não foram constatadas carências de K depois de 20 anos de cultura.

Na Indonésia, arrozais irrigados por

águas que circularam através de rochas vulcânicas em decomposição, ricas em K, vêem seus teores de K trocável aumentarem no solo, apesar das exportações devidas às culturas e às perdas inevitáveis.

5.6.5.2. Solos hidromórficos turfosos

É o caso dos bananeais da Costa do Marfim. Sendo a bananeira o grande consumidor de K, as doses de fertilizante necessárias são consideráveis.

5.7. Os fertilizantes potássicos utilizados nos solos tropicais

5.7.1. Os tipos de fertilizantes minerais potássicos

5.7.1.1. O cloreto de potássio: KCl (teor 60% de K_2O)

O mais barato dos fertilizantes potássicos é o que tem o teor mais elevado de óxido de potássio.

É o fertilizante potássico mais utilizado no mundo.

5.7.1.2. O sulfato de potássio: $SO_4 K_2$

É mais caro que o cloreto de potássio, logo, menos utilizado. Entretanto, é preferido para o abacaxi.

5.7.1.3. O metafosfato de potássio: $CO_3 H_2 K$

5.7.1.4. O nitrato de potássio: $NO_3 K$

5.7.1.5. O bicarbonato de potássio: $CO_3 HK$

O preço elevado destes três últimos fertilizantes explica sua utilização quase exclusivamente nas parcelas experimentais das estações agronômicas e nos laboratórios.

Entretanto, os dois primeiros têm a vantagem de combinar o K com um outro elemento fertilizante (N ou P), e

o terceiro não traz ânions acidificadores do solo, tais como SO_4^{--} e Cl^- .

5.7.2. Valor agronômico dos diversos tipos de fertilizantes potássicos

A comparação trata unicamente do cloreto de potássio e do sulfato de potássio, os dois únicos fertilizantes utilizados na prática.

5.7.2.1. Indiferença de certas plantas em relação ao cloreto de potássio ou ao sulfato de potássio

Em doses iguais de óxido de potássio, estes fertilizantes têm o mesmo efeito sobre o dendê, a bananeira, o fumo, o sisal, o abacaxi, a árvore do chá, o amendoim, o algodoeiro, o cafeeiro.

Entretanto, quando o solo é carente de S, o sulfato dá melhores resultados (caso do amendoim, no Senegal; do algodoeiro, na República Centro-Africana; da árvore do chá, na Indonésia; do cafeeiro, no Estado de São Paulo). Fornecendo-se S de outra maneira (com sulfato de amônia, por exemplo), não se constata mais a superioridade do sulfato de potássio.

Porém se constatou, há muito tempo (1906, na Flórida), que o abacaxi tinha uma massa mais escura, mais consistente e mais rica em açúcar, com sulfato de potássio que com cloreto de potássio.

Da mesma forma, a combustibilidade do fumo seria aumentada pelo sulfato de potássio e diminuída pelo cloreto.

Nos dois casos, trata-se de uma qualidade comercial, e não do rendimento bruto, que é o mesmo com os dois fertilizantes.

5.7.2.2. Ação depressiva do cloreto de potássio

Esta ação depressiva do cloreto de potássio foi observada em solo sob abacateiro, rami, batata doce (em Formosa, com doses superiores a 120-180 kg/ha de K_2O), feijão, no Brasil, e mesmo sob amendoim, no Níger, e al

godão, na Tanzânia. Estas duas últimas plantas eram, entretanto, consideradas indiferentes a esta ação.

Para explicar estes fatos, pensou-se em:

a) uma acidificação suplementar em solos já muito ácidos (caso do algodão, na Tanzânia);

b) uma concentração forte demais em sais solúveis sob climas secos, ou em solos arenosos sobre dunas (amendoim, no Níger; talvez feijão, no Brasil).

Mas, para a maioria das plantas (abacateiro, rami, batata doce em particular), a ação depressiva do cloreto de potássio, quando existe, parece sobretudo provocada pela presença do íon Cl^- no solo, ao qual elas são extremamente sensíveis.

Esta sensibilidade varia, entretanto, de uma espécie vegetal a outra, o que explica por que muitas plantas são indiferentes ao Cl^- .

5.7.3. Acidificação do solo pelos fertilizantes potássicos

Os fertilizantes potássicos (sulfato de potássio ou cloreto de potássio) trazem ao solo ânions SO_4^{--} e Cl^- que, normalmente, deveriam ser evacuados pelas águas de drenagem sob forma de sais solúveis de Ca, Mg e Na (e K naturalmente), sendo tirados os cátions a partir do complexo sorativo do solo.

Na realidade, só raramente foi constatada uma acidificação importante do solo depois do fornecimento de fertilizantes potássicos. É verdade que as doses são geralmente modestas (100 a 120 kg/ha de K Cl, ou seja, 60 a 75 kg/ha de K_2O), exceto sob as bananeiras que recebem ainda dolomita esmagada.

6. O FÓSFORO NOS SOLOS TROPICAIS

O P é um dos elementos essenciais não apenas à vida das plantas, mas também à das bactérias do solo, em particular às bactérias da humificação, que são muito sensíveis aos teores de P no solo.

6.1. Origem do fósforo dos solos

O P presente nos solos provém essencialmente da rocha-mãe. Como é um elemento relativamente pouco lixiviado, os teores de P no solo refletem bastante fielmente os da rocha-mãe: na África Ocidental, encontraram-se jazidas de fosfatos sob os solos mais ricos em P, assim como no Senegal (região de Thies) e ao sul do Togo.

Para isso, é evidentemente necessário que os solos permaneçam no lugar de origem: solos muito carregados e transportados possuirão teores de P absolutamente independentes dos da rocha subjacente. Da mesma forma, quando se trata de solos muito velhos (solos ferralíticos), uma lixiviação muito fraca do P, durante centenas de milhares de anos, teve tempo de tornar os solos empobrecidos em relação a este elemento.

Por qualquer um destes motivos, ou simplesmente por ser a rocha-mãe muito pobre em P, o P é um elemento que falta muito na maioria dos solos tropicais.

6.2. Formas do fósforo nos solos

6.2.1. Histórico dos estudos sobre o fósforo

Os estudos sobre o P em zona tropical, durante muito tempo, foram prejudicados pela ausência de um procedimento analítico apropriado.

Assim, os métodos que dosam o P ácido-solúvel — método Truog por extração com ácido sulfúrico a 0,002N, método Dyer com ácido cítrico —, bem adaptados às regiões temperadas, só dão, nas regiões tropicais, cifras muito fracas, sem relação nítida com o que se encontra no solo.

Por outro lado, os métodos que medem o P alcalino-solúvel dão resultados bastante difíceis de interpretar, pois solubilizam uma grande parte do P não utilizável pelas plantas (fosfato de ferro em particular).

Assim, apesar dos inconvenientes reconhecidos, os pesquisadores tiveram, durante muito tempo, tendência a considerar como válida somente a análise do P total; isto até que o método de Chang e Jackson (1957) permitiu desvendar o problema.

Atualmente, os pesquisadores da África de língua francesa utilizam, além da análise do P total, um método de dosagem do P assimilável pelas plantas, derivado do método de Olsen, cujos traços gerais são, grosseiramente, os mesmos do método de Chang e Jackson.

6.2.2. As diferentes formas do fósforo nos solos, segundo Chang e Jackson

Estes autores procedem por extrações sucessivas sobre a mesma amostra e definem as seguintes formas do P no solo:

P solúvel (extração com cloreto de amônio)

P ligado ao Al (extração com fluoreto de amônio a 0,5N)

P ligado ao Fe (extração com hidróxido de sódio a 0,1N)

P ligado ao Ca (extração com ácido sulfúrico a 0,5N)

P de inclusão ligado ao Fe (extração com

citrato de sódio a 0,3N)

P de inclusão ligado ao Al (extração com
fosfato de amônio a 0,5N)

P orgânico

Estas diversas formas do P podem existir em diferentes proporções em todos os solos do mundo, porém sua separação tem uma importância considerável nos solos tropicais, onde as formas ligadas ao Fe são freqüentes (enquanto, em muitos solos temperados, as formas ligadas ao Ca dominam largamente).

6.2.2.1. Formas do fósforo utilizáveis pelas plantas

Dentre as sete formas de P presentes nos solos, apenas P solúvel, P-Ca e P-Al são diretamente utilizáveis pelas plantas nos solos tropicais, que são geralmente muito ácidos e não calcários.

Quanto ao P orgânico, só se torna assimilável durante a mineralização da matéria orgânica.

O P ligado ao Fe praticamente não é utilizado pelas raízes das plantas, e o das inclusões o é ainda menos (neste último caso, uma película de hidróxido de ferro envolve P-Fe e P-Al, tornando-os totalmente insolúveis).

6.2.2.2. As proporções relativas das diversas formas do fósforo

Estão na dependência do pH do solo, do teor de matéria orgânica e, em menor proporção, do tipo de solo.

Para um pH vizinho de 7 (vertisols neutros, solos ferruginosos tropicais vizinhos da neutralidade, solos ferralíticos fracamente dessaturados, solos brunos eutróficos e solos jovens formados sobre rochas básicas), há predominância de P-Ca e, em menor proporção, de P-Al.

Para pH incluídos entre 5,5 e 6,8, sobretudo quando o solo é pobre em Ca (solos ferralíticos fra ca ou mediantemente dessaturados, solos ferruginosos tropicais),

o P-Al é mais abundante que o P-Ca.

Ao mesmo tempo, a importância de P-Fe cresce tanto mais quanto mais ácido for o solo.

À medida que o pH diminui, as formas de P ligadas ao Fe e à matéria orgânica tendem a aumentar fortemente, às custas das outras formas, tais como P-Al e sobretudo P-Ca, que se torna muito fraco, e P solúvel, que é nulo (solos ferralíticos).

O P orgânico está, ao que parece, em relação direta com os teores do solo em matéria orgânica.

Ele existe em todos os tipos de solo, mas é sobretudo abundante, em relação às outras formas, nos solos hidromórficos turfosos.

Exemplo:

Formas do P nos solos ferralíticos da Costa do Marfim (segundo Dabin, 1963):

P ₂ O ₅ ppm	Solos ferralíticos fortemente dessaturados (pH = 4,5)		Solos ferralíticos muito fracamente saturados (pH = 7)	
	Solos erodidos	Solos sob floresta	Solos cultivados com adubos	Solos muito férteis
P solúvel	0	0	0	traços
P-Al	17,3	28,8	74,2	96
P-Ca	5,75	4,6	14,2	174
P-Fe	138	115	104	17,2
P-Fe de inclusões	725	483	368	460
P orgânico	141	243	299	276
P total ppm	1 027	874	859	1 026

6.2.2.3. Caso particular dos solos calcários

Trata-se, aqui, sobretudo de solos temperados, mediterrâneos e áridos.

O P é, aqui, quase unicamente representado pelo P orgânico e pelo P-Ca; mas este P-Ca existe, sobretudo, sob forma de fosfato tricálcico, que as plantas u-

utilizam difícil e lentamente, seja por solubilização direta, ao contato com as raízes, seja por intermédio das bactérias e do húmus que elas formam e mineralizam em seguida. Daí a utilização, nestes solos, dos fosfatos mono e bicálcicos, dos superfosfatos e do fosfato de amônio como fertilizantes fosfatados.

6.2.3. Reversibilidade das diversas formas do fósforo

O pH de um solo pode variar; em consequência, pode-se observar uma modificação relativa das diversas formas de P.

Por outro lado, o P orgânico, se mineralizado ao mesmo tempo que a matéria orgânica e se não imediatamente absorvido pelas plantas, pode ser fixado, preferencialmente:

- a) pelo Fe nos solos muito ácidos;
- b) pelo Al nos solos fracamente ácidos (pH 6 a 7);
- c) pelo Ca nos solos neutros ou alcalinos.

Quando se utilizam fertilizantes fosfatados, observa-se, nos solos mais ácidos, uma migração do P em direção às formas mais insolúveis, isto é, às formas fêrricas.

É certo que uma elevação do pH ou um enriquecimento em matérias orgânicas pode provocar uma solubilização do fosfato ligado ao Fe, inclusive o que se encontra nas concreções ferruginosas. Por enquanto, não existe procedimento e conômicamente rentável para se obter este resultado.

6.3. Os teores de fósforo nos solos tropicais e as plantas cultivadas

6.3.1. Insuficiência dos solos tropicais em fósforo

A maioria dos solos tropicais sofre de importantes insuficiências em P.

Esta constatação foi feita em todas as par-

tes do mundo e para quase tôdas as culturas.

Assim, observou-se que o amendoim, mesmo sendo uma planta pouco exigente, dava melhores rendimentos depois de uma adubação fosfatada, praticamente em todos os países produtores (Martin), quer seja na Ásia (Índia sobretudo), na África, na América do Norte ou do Sul.

6.3.2. Análise do fósforo total

Pode ser feita de duas maneiras:

- a) por fusão alcalina (extraí-se todo o P, sem exceção);
- b) por ebulição do solo, durante 5 horas, em ácido nítrico concentrado.

O segundo método não extrai exatamente a mesma quantidade de P que o primeiro, porque não consegue arrancar todo o P dos edifícios cristalinos sólidamente constituídos, tais como a apatita ou as concreções de Fe.

Como seus resultados são muito facilmente reproduzíveis, ele é muito utilizado para os solos, porque é mais fácil de realizar que o primeiro.

O P medido por este método é chamado *fósforo total, reserva agrônômica*; ele permite avaliar a fertilidade de um solo.

Exemplo I:

Solo ferralítico mēdiamente dessaturado, sobre xistos, na Costa do Marfim

P ₂ O ₅ total - reserva agrônômica 0/00	Rendimento em cacau (kg/ha)
0,15	100
0,25	300
0,35	600
0,45	800

Infelizmente, como esta análise do P inclui formas dificilmente acessíveis às plantas, e como as proporções das formas úteis e inúteis para as culturas variam de um tipo para outro, sobretudo quando variam os teores de matéria orgânica, estas cifras podem ser generalizadas, apesar de sua

utilidade evidente, porém local.

Exemplo II:

Solos ferralíticos fracamente dessaturados
do centro da Costa do Marfim, utilizados
para a lavoura algodoeira

$P_2 O_5$ total - reserva agronômica °/°°	Estimação da fertilidade
0,4	solo muito pobre
0,4 até 0,7	solo pobre
0,7 até 0,9	solo médio
0,9	solo rico

6.3.3. Utilização da relação $N/P_2 O_5$

Trata-se, aqui, do pedróxido de fósforo extraído com ácido nítrico (reserva agronômica). Constatam-se, na maioria dos solos tropicais, duas deficiências principais: em N e P. Um aumento dos fornecimentos de N deve, pois, ser acompanhado de maiores teores do solo em P, se se quer satisfazer às necessidades das plantas. Inversamente, se os teores do solo em N são muito baixos, as retiradas de P pelas plantas são reduzidas em proporção.

Daí a utilização da relação $N/P_2 O_5$ (Dabin, 1961), que deve ser compreendida entre 2 e 4:

$$4 \geq \frac{N \text{ total } ^{\circ}/^{\circ}\circ}{P_2 O_5 \text{ total } ^{\circ}/^{\circ}\circ} \geq 2$$

A relação não é mais válida, se o pH é inferior a 5,5, porque há, então, predominância do P ligado ao Fe, não utilizável pelas plantas.

Feita esta restrição, pode-se afirmar que a utilização da relação $N/P_2 O_5$ é válida para todos os outros solos tropicais, quando ela está incluída entre 2 e 4, porque implica um bom equilíbrio entre as alimentações fosfatadas e nitrogenadas. Serve, em particular, para a determinação das necessidades das culturas em fertilizantes:

Se $N/P_2 O_5 > 4$, o solo é fortemente carente de P (será inútil fornecer-lhe fertilizantes nitrogenados, se o teor de P não fôr previamente levantado).

Se $N/P_2 O_5 < 2$, o solo é bem dotado em P, e os fertilizantes nitrogenados sôzinhos darão bons resultados.

Se $4 \geq N/P_2 O_5 \geq 2$, qualquer fornecimento de fertilizante fosfatado deve ser acompanhado de um fornecimento equivalente de N, e vice-versa, para evitar um desequilíbrio.

Observação: Para as plantas muito exigentes em P, como o cacauzeiro, a relação $N/P_2 O_5$ deve permanecer próxima de 2. Por outro lado, se o solo é muito pobre em N (0,20 até 0,30 ‰ de N), as necessidades de P se manifestam muito mais rapidamente, e os valores corretos da relação são, aproximadamente:

$$2,5 \geq \frac{N \text{ total } \text{‰}}{P_2 O_5 \text{ total } \text{‰}} \geq 2$$

Este fato está ligado aos teores muito baixos de P, que existem, geralmente, nos solos já muito pobres em N.

Quando um solo possui uma boa relação $N/P_2 O_5$,

$$4 \geq \frac{N \text{ total } \text{‰}}{P_2 O_5 \text{ total } \text{‰}} \geq 2$$

isto significa que as plantas cultivadas terão uma alimentação bem equilibrada de N e P.

Mas, se os solos são pobres ao mesmo tempo em N e em P, os fracos teores destes dois elementos não serão suficientes para assegurar bons rendimentos. Para obtê-los, será necessário fornecer N e P ao solo, através de fertilizantes.

6.3.4. O fósforo assimilável

Atualmente, na África de língua francesa, começa-se a dosar o P diretamente utilizável pelas plantas, ou seja:

P solúvel

P ligado ao Ca

P ligado ao Al

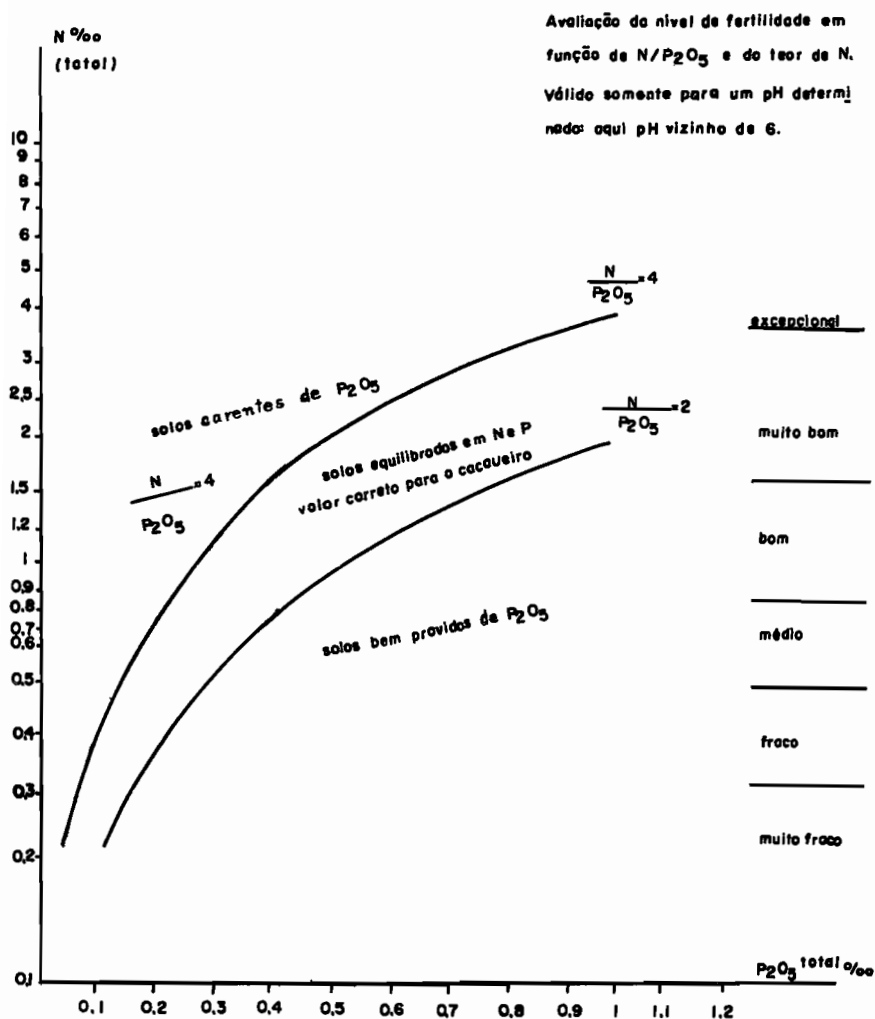


Fig. 13
Utilização da relação
 N/P_2O_5

**P ligado à matéria orgânica
(numa certa medida)**

O reativo da extração é uma mistura de bicarbonato de sódio a 0,5N e fluoreto de amônio a 0,5N.

O pH da mistura deve ser exatamente de 8,5 (verificação com o pH-metro).

Extraem-se, então, P-Ca, P-Al, P orgânico e P solúvel, quando este existe. O P ligado ao Fe praticamente não é tocado.

Evidentemente, obtêm-se a soma deste P assimilável, mas sem ser possível diferenciar suas várias formas.

A vantagem deste método é ser mais simples e mais rápido que o de Chang e Jackson. Ele começou a ser utilizado somente há alguns anos, e seus resultados são ainda parciais. Podem ser citados os dados seguintes:

Teores críticos	Cultura	Região
140 ppm de $P_2 O_5$ ass. ou 60 ppm de P	algodoeiros	Costa do Marfim
160 ppm de $P_2 O_5$ ass. ou 70 ppm de P	bananeiras	Antilhas, Madagáscar

Quando os teores do solo em P assimilável são inferiores a estas cifras, é necessário fornecer a este fertilizantes fosfatados.

Pode-se, também, utilizar a relação

$$\frac{P_2 O_5 \text{ ass. } ^{\circ}/_{\infty}}{N \text{ total } ^{\circ}/_{\infty}} = r$$

em cultura algodoeira, como foi feito no Chade.

Se $r > 1/10$, o solo necessita mais de fertilizantes nitrogenados do que fosfatados.

Se $1/20 > r > 1/10$, o solo necessita tanto de fertilizantes nitrogenados quanto de fosfatados.

Se $r < 1/20$, o solo necessita sobretudo de fertilizantes fosfatados.

6.4. Interação do fósforo com outros elementos minerais além do nitrogênio, na alimentação mineral das plantas

É um problema complicado e relativamente pouco estudado, porque dificilmente se pode distinguir uma interação simples entre o fosfato e um elemento dado, de uma deficiência deste elemento, responsável pela parada do crescimento da planta, ou mesmo por sua morte, quando a lei do mínimo inter-vém.

6.4.1. A lei do mínimo

Considere-se um solo plantado com dendê, con-tendo, aproximadamente, de 0,03 a 0,04 m.e. para 100 g de K trocável.

O rendimento dos dendês será muito fraco (250 a 300 kg/ha de óleo), por causa da carência de K. O forne-cimento de fertilizantes fosfatados, magnesianos e cálcicos não modifica os rendimentos, e a despesa feita com eles é per-dida. Contudo o solo carece, também, de P e de Mg.

Mas, se se acrescenta ao solo K suficiente para atingir de 0,10 a 0,12 m.e. para 100 g, os rendimentos aumentam muito. Ao mesmo tempo, a planta utiliza os outros e-lementos minerais que lhe são trazidos e que ela não podia a-proveitar, porque a deficiência em K bloqueava todo o seu me-canismo fisiológico. Daí um aumento suplementar dos rendimen-tos.

A lei do mínimo diz respeito não somente ao K, mas a todos os elementos químicos: P, N, Ca, Mg e mesmo aos oligo-elementos: Cu, B, Zn, Mn, Mo, etc.

O valor do mínimo varia em função dos rendi-mentos exigidos pelas culturas. Assim, para o amendoim, em so-los arenosos:

De 0,04 a 0,08 m.e./100 g de Ca trocá-vel: o amendoim está gravemente doente, muitas vagens ficam vazias e os rendi-mentos são muito fracos (fracos teores do solo em K, S e P não têm qualquer im-portância, não sendo o mínimo atingido pelo Ca).

1 m.e./100 g de Ca trocável no solo: a colheita atinge de 800 a 1 200 kg de amendoim em casca.

De 1,3 a 1,5 m.e./100 g de Ca trocável no solo: a colheita atinge 2t/ha.

Naturalmente, nos dois últimos casos, se os teores do solo em P, K ou S não alcançam o mínimo necessário, a quantidade colhida diminuirá muito, pois a lei do mínimo intervirá num desses elementos (ou nos três ao mesmo tempo), e um bom teor do solo em Ca não terá mais influência sobre os rendimentos.

6.4.2. Interações fósforo-enxôfre

Foram constatadas as seguintes interações:

Sobre o arroz pluvial (arroz cultivado em campos não inundados, na República Centro-Africana).

Sobre o amendoim do Senegal, na Alta-Volta e no Mali: o acréscimo do S mineral ao fosfato tricálcico torna este último mais assimilável pela planta.

Como se sabe que a maioria dos solos das regiões tropicais é deficiente em S, é provável que a lei do mínimo penda para o S.

6.4.3. Interações fósforo-magnésio

Uma deficiência do solo em Mg provoca uma absorção exagerada do P pela bananeira (Martin-Prevel).

6.4.4. Interações fósforo-potássio

Sobre plantações de coqueiros na Costa do Marfim, uma adubação potássica provoca melhor alimentação em P a partir do solo, mesmo sem fornecimento de fosfatos.

Aí, também, é provável que a lei do mínimo penda para o K.

6.4.5. Interações fósforo-magnésio, potássio, nitrogênio

Observou-se, sobre os cacaueiros da Costa do Marfim, que uma adubação incluindo fertilizantes fosfatados (fosfato bicálcico neste caso) provoca, naturalmente, uma absorção maior de P e de Ca pela planta, mas também de Mg, ele

mento que não foi trazido pelos fertilizantes.

Ao mesmo tempo, constatou-se que a planta absorvia menos K e N.

6.4.6. *Uma outra interação extremamente interessante* é aquela que diz respeito à melhor utilização dos fosfatos tricálcicos pelo amendoim, quando se enterram, ao mesmo tempo, um adubo verde e os fosfatos. Não se conhece bem o mecanismo desta ação. Ela se faz porque as bactérias mais numerosas, em presença de adubo verde, decompõem mais rapidamente os fosfatos? Ou simplesmente porque o adubo verde melhora a estrutura do solo, e, por isso, as raízes mais numerosas e mais finas têm mais possibilidades de se aproximar das partículas de fosfatos? Não se sabe responder.

6.5. A dinâmica do fósforo nos solos tropicais

6.5.1. A lixiviação do fósforo no solo

Quaisquer que sejam os solos, o clima ou o tipo de exploração (vegetação natural, cultura, pousio, solo nu), o P do solo é muito pouco arrastado pelas águas de percolação.

É a mesma coisa quando se acrescentam fertilizantes fosfatados: o P fica no solo, inclusive nos solos tropicais da zona úmida, portanto, fortemente lixiviados em outros elementos.

No Senegal, sobre solos ferruginosos tropicais arenosos, estimou-se a lixiviação do P em 30, e até mesmo 90 g de P_2O_5 /ha/ano, sob vários tipos de pousio, o que é negligenciável.

Na Costa do Marfim, sobre solos ferralíticos medianamente dessaturados, cobertos de floresta densa (1 800 mm de chuva), as perdas em P são de 0,7 até 1,2 kg de P_2O_5 /ha/ano, perdas estas devidas à lixiviação e à erosão, que não é nula, mesmo sob floresta densa.

Sob cultura, as principais perdas em P podem

ser atribuídas à erosão, como no caso do K.

A partir do momento em que se consegue reduzir consideravelmente a erosão, ou mesmo suprimi-la, o P aparece como sendo o elemento que se conserva melhor nos solos.

Quando há erosão (e perdas em terras de 20 t/ha/ano são bastante freqüentes), a camada superficial do solo, a mais rica em P, é levada, ocasionando perdas consideráveis em $P_2 O_5$.

6.5.2. Insolubilização do fósforo no solo

Nos solos tropicais, existe um processo, ainda mal conhecido, de transformação do P. Esta transformação termina com a insolubilização do P sob forma de fosfato de ferro, nos solos tropicais ácidos.

A curto prazo, nos solos ricos em Fe livre hidratado (goethita), mais de 50% do P fornecido com os fertilizantes pode ser imediatamente insolubilizado sob forma de fosfato de ferro. Porém, na maioria dos casos (solos contendo relativamente pouca goethita), os fosfatos dos fertilizantes passam sob forma de fosfatos de alumina. É, em particular, o caso da zona semi-árida, mas também de outros lugares, se o pH for superior ou igual a 6.

A longo prazo, parece que existe uma evolução lenta para o fosfato de ferro, pelo menos quando os solos contêm Fe, porém ela é ainda mal conhecida.

6.6. Os fertilizantes fosfatados

Nos rótulos dos sacos de fertilizantes fosfatados, podem-se ler as seguintes informações:

Teor de $P_2 O_5$ total

Teor de $P_2 O_5$ solúvel com a água

Teor de $P_2 O_5$ solúvel com o citrato

Freqüentemente, escreve-se apenas:

Teor de $P_2 O_5$ total

Teor de $P_2 O_5$ solúvel com a água e com o citrato

Nos solos calcários e nos solos com pH vizinhos de 7, somente o $P_2 O_5$ solúvel com água e com citrato é facilmente utilizado pela planta. Isto é sobretudo válido para os solos temperados. Será estudado, mais adiante, o caso dos solos tropicais.

6.6.1. Os diferentes tipos de fertilizantes fosfatados

As fórmulas químicas dos fertilizantes fosfatados indicados aqui são fórmulas teóricas que não levam em consideração as impurezas que estes fertilizantes contêm sempre (calcário, $H_2 O$, etc.).

Os teores de $P_2 O_5$ são também fornecidos a título indicativo, porque variam com as jazidas e com o modo de purificação utilizado pelos fabricantes de fertilizantes.

6.6.1.1. Formas insolúveis com água e com citrato

São, essencialmente, fosfatos tricálcicos $(PO_4)_2 Ca_3$:

Fosfato tricálcico de Marrocos: 25% de $P_2 O_5$

Fosfato tricálcico do Senegal: 37% de $P_2 O_5$

Schlamm fosfatados (resíduos purificados da indústria dos fosfatos): 23% de $P_2 O_5$

6.6.1.2. Formas com um certo percentual de $P_2 O_5$ solúvel com água e/ou com citrato

Fertilizantes fosfatados	$P_2 O_5$ total	$P_2 O_5$ solúvel com água	$P_2 O_5$ solúvel com citrato
Fosfato de alumina natural calcinado: $PO_4 Al$	35%	0	26,4%
Escória de desfosforação (silicato fosfatado de Ca e Mg principalmente)	18%	muito pouco solúvel	solúvel
Fosfato bicálcico $(PO_4 H_2)_2 Ca_2, SO_4 Ca$	38%	muito pouco solúvel	solúvel

Continuação

Fertilizantes fosfatados	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ solúvel com água	P ₂ O ₅ solúvel com citrato
Fosfato monocálcico, superfosfato simples (PO ₄ H ₄) Ca, 2SO ₄ Ca	18 a 25%	solúvel	solúvel
Superfosfato triplo (PO ₄ H ₄) ₂ Ca	46%	solúvel	solúvel

6.6.1.3. Formas com o fósforo associado a um outro elemento fertilizante

São formas obtidas por síntese química, geralmente caras, em que todo o P é solúvel com água e/ou com citrato:

Fosfato de amônio (PO₄)₃, (NH₄)₃: 50% de P₂ O₅

Metafosfato de potássio PO₄ H₂ K: 59% de P₂ O₅

6.6.2. Eficacidade das diferentes formas de fertilizantes

6.6.2.1. Zonas equatorial e tropical úmida

O pH dos solos ferralíticos é frequentemente inferior a 6,5 e mesmo a 6. Por isso, nestes solos, os fosfatos tricálcicos são solubilizados com bastante facilidade, se bem que lentamente; porém esta lentidão é um fator favorável, porque evita uma liberação rápida demais do P, que, na impossibilidade de ser imediatamente absorvido pela planta, seria insolubilizado pelo Fe.

De fato, utiliza-se o fosfato tricálcico para a bananeira (doses muito elevadas: várias toneladas por hectare), o cafeeiro, o cacauzeiro, o algodoeiro, a hêvea, o dendê. Porém, quando se comparam os rendimentos das culturas anuais (o algodoeiro sobretudo), depois do fornecimento separado de fosfatos monocálcico e bicálcico, de alumina e de fosfatos tricálcicos, constata-se, no primeiro ano de cultura, que as três primeiras formas, as mais solúveis, dão resultados equivalentes, sendo que elas são superiores ao fosfato tricálcico; porém, no segundo ano de cultura, não se ob-

serva mais diferença entre as quatro formas de P, com a condição, evidentemente, de que o $P_2 O_5$ total fornecido seja o mesmo em todos os casos.

Por isso, tende-se a reservar o fosfato tricálcico, mais barato, para as plantações permanentes: bananeiras (Costa do Marfim), hévea e dendê (Malásia). Entretanto, sobre cafeeiro e cacaueteiro, a tendência atual é utilizar os fosfatos mono e bicálcicos.

Para as plantas anuais, é evidente que estas duas últimas formas devem ser, de preferência, as utilizadas.

Quanto ao fosfato de alumina, é desaconselhado nestes solos fortemente dessaturados, porque não traz Ca suscetível de se fixar sobre o complexo sortivo.

6.6.2.2. Zona semi-árida

Na zona semi-árida, com 800 a 1 200 mm de chuva, o fosfato tricálcico só dá bons resultados no primeiro ano de cultura, se este é excepcionalmente chuvoso, enquanto que o mono, o bicálcico e o fosfato de alumina conservam a mesma eficácia, mesmo quando o ano é relativamente seco.

No segundo ano de cultura, todas as formas de fosfatos têm a mesma eficácia.

Observa-se que, ao ser enterrado um fertilizante verde conjugado com o fornecimento de fosfatos, a eficácia destes últimos aumenta (interação adubo verde-fosfatos), sobretudo a dos fosfatos tricálcicos.

O fosfato de alumina é desaconselhado, quando o solo é pobre em Ca.

7. O ENXÔFRE NOS SOLOS TROPICAIS

7.1. O enxôfre e as carências de enxôfre

Muitos solos tropicais são mal providos de S; assinalaram-se deficiências (diminuição de rendimentos) e carências (doença grave) provocadas por êste elemento em tôdas as regiões tropicais, inclusive no Brasil (cafeeiro).

Apesar disto, a importância do problema foi descoberta tardiamente.

7.1.1. Histórico da descoberta das carências de enxôfre

Os pesquisadores ingleses, trabalhando na África Oriental, parecem ter sido os primeiros a observar, no ano de 1950, que o algodoeiro tinha importantes necessidades de S e que esta planta sofria terrivelmente, quando o solo era carente dêste elemento.

Em 1955 e 1956, agrônomos franceses, que normalmente utilizam, para algodoeiro, sulfato de amoníaco como fertilizante nitrogenado, perceberam que a uréia não tinha qualquer efeito favorável sobre esta planta, ao contrário do que acontecia com o sulfato de amoníaco, mas que o sulfato de sódio, o sulfato de magnésio, o sulfato de zinco, etc. aumentavam os rendimentos quase tanto quanto o sulfato de amoníaco. O S a parecia, pois, como um elemento indispensável ao algodoeiro;

além disso, esta observação demonstrava que o solo (solo ferralítico da República Centro-Africana) não o continha em quantidade suficiente.

Desde esta época (1956), constatou-se que a alimentação em S condiciona, em grande parte, os rendimentos não somente do algodoeiro, mas também de muitas plantas cultivadas, e que sua insuficiência provoca, se não carências caracterizadas, pelo menos importante deficit de colheita.

Dentre as plantas tropicais mais sensíveis ao S, podem-se mencionar: o algodoeiro, o amendoim, a soja, o cafeeiro, o milho miúdo, o sorgo, o milho, etc.

7.1.2. Teores de enxofre nos solos tropicais

Por falta de um método analítico apropriado, até hoje se encontram, na literatura agrônômica, apenas alguns dados indicando quais podem ser os teores de S nos solos, os limites de carência, ou os teores que podem provocar uma toxicidade.

Um novo método recentemente criado nos laboratórios da ORSTOM (Dabin, 1970) e ainda não rotineiramente empregado permite pensar, considerando-se as primeiras cifras obtidas, que o S representa, aproximadamente, o décimo do teor de N (portanto, mais ou menos o centésimo do C orgânico no caso comum, no qual $C/N = 10$), isto nos solos da África Ocidental.

Não se sabe, ainda, se este percentual é suficiente para evitar as carências, ou se outros fatores intervem, como a velocidade de decomposição da matéria orgânica, ou sua natureza.

Nunca foi constatada uma toxicidade devida ao S nos solos, mesmo depois de aplicações repetidas de fertilizantes que o contêm, como o sulfato de amoníaco.

Porém se constatou, em culturas sobre soluções nutritivas, que o intervalo é muito reduzido entre carência e toxicidade: a ação do S se assemelha, a este respeito, à dos oligo-elementos.

É ainda muito cedo para se poder dizer, com certeza, quais os teores de S nos diferentes tipos de solos.

Entretanto, observou-se, nos solos ferralíticos da África (pluviometria superior a 1 200-1 400 mm), que uma planta muito sensível à ação do S, como o algodoeiro, nunca apresenta carência, nem mesmo leve deficiência deste elemento, quando cultivada sobre um desmatamento de floresta. Mas, sobre uma savana vizinha (distante, às vezes, algumas centenas de metros), o algodoeiro sofre carências muito graves.

Além disso, constatou-se que as carências de S, inicialmente muito elevadas, diminuíam progressivamente, quando se cultivava o mesmo solo vários anos seguidos, mesmo sem se fornecer fertilizante contendo S.

Ainda não há qualquer explicação para estes dois fenômenos, que são observados sem que se possam compreender os motivos.

Sobre os solos da zona semi-árida, solos ferruginosos tropicais, solos brunos eutróficos, constataram-se, na África, deficiências em S para o amendoim, a soja, o milho miúdo, o sorgo e sobretudo o algodoeiro, com diminuições de rendimentos, porém raramente carências graves; além do mais, nem todos os solos são deficientes em S, se bem que a maioria o seja.

Sobre os vertisols, não se tem qualquer informação.

7.2. Necessidades de enxofre das plantas cultivadas

A este respeito, também não se tem muitas informações.

Para o amendoim, no Senegal, estimaram-se as necessidades de S em 6 kg/ha.

Em outros países, são mencionadas cifras mais altas (10 a 20 kg de S/ha).

Para o algodoeiro, que é muito exigente em S, acreditou-se, durante muito tempo, que era necessário fornecer quantidades iguais de N e S: $N/S = 1$; neste caso, o sulfato

de amoníaco, que contém, em quantidade igual (ou quase igual), estes dois elementos, parecia ser o fertilizante mais indicado.

Atualmente, pensa-se que uma relação $N/S = 2$ é suficiente, o que quer dizer que se pode substituir a metade do N do sulfato de amoníaco por uma quantidade equivalente de N proveniente de um fertilizante sem S, tal como a uréia.

Segundo Homes, somente a forma SO_4^{--} é assimilável pelas plantas.

Na prática, a forma de fornecimento do S ao solo não tem muita importância: sulfato de amoníaco, sulfato de sódio, S mineral, etc., porque o S mineral é imediatamente transformado em sulfato (SO_4^{--}).

Somente num caso foi observado que o S mineral diminuía os rendimentos, enquanto o sulfato de potássio os aumentava (abacaxis na Guiné, segundo Ny).

7.3. A dinâmica do enxôfre nos solos tropicais

7.3.1. Ciclo do enxôfre

O ciclo do S (Arnaudi, Graveri, Homes), está belecido, sobretudo, para os solos temperados (Itália, Bélgica), é:

1º *oxidação* do S mineral em SO_4^{--} pelas bactérias (com sulfetos como formas intermediárias);

2º *assimilação* deste anion sob forma orgânica nas células das bactérias que são também capazes de absorver os sulfatos (SO_4^{--}) e os sulfitos (SO_3^{--});

3º *mineralização*, por oxidação, destes compostos orgânicos em SO_4^{--} ;

4º *absorção* dos íons SO_4^{--} pela planta.

7.3.2. Fornecimento de enxôfre pela chuva

Seria, aproximadamente, de 1 kg/ha/ano, na África intertropical (Rotini), ao invés de 80 a 100 kg na Europa, nas proximidades dos grandes centros industriais.

7.3.3. Lixiviação do enxôfre

O arrastamento do S pelas águas de drenagem é conhecido, atualmente, apenas por uma experiência em vasos liximétricos, feita no Senegal (pluviosidade de 800 mm), sobre solos muito arenosos. As perdas eram as seguintes, por hectare e por ano:

Tratamento do solo	kg/ha/ano de S
Pousio nu	10
Pousio natural	8
Pousio natural enterrado	11
Milho miúdo, adubo verde	9,6
Cultura de amendoim	8 a 11
Cultura de milho miúdo	32 a 54

A cultura do milho miúdo tinha recebido de 93 a 160 kg de S sob forma de sulfato de amoníaco, daí estas perdas relativamente elevadas de 32 a 54 kg/ha/ano.

Mas, se não se fornecem ao solo fertilizantes contendo S, a lixiviação do S aparece relativamente constante, qualquer que seja o tratamento do solo: solo nu, pousio, adubo verde, cultura.

7.3.4. Enxôfre e matéria orgânica

Dois fatos principais levam a supor que existe uma relação estreita entre S e matéria orgânica:

a) para um mesmo tipo de solo, as carências de S aparecem somente sobre os solos cobertos por uma savana herbácea, e nunca sobre os solos de floresta;

b) depois de vários anos de cultura (durante os quais a natureza da matéria orgânica muda um pouco, e seu teor baixa fortemente), as carências de S diminuem e acabam por desaparecer.

Entretanto, ainda não se sabe se as carências de S estão sob a influência da natureza da matéria orgânica, ou de sua velocidade de decomposição nos campos cultivados.

8. O CÁLCIO, O MAGNÉSIO E A SOMA DAS BASES TROCÁVEIS NOS SOLOS TROPICAIS A CORREÇÃO DO pH E OS ADUBOS CALCO-MAGNESIANOS

8.1. Origem do cálcio e do magné- sio dos solos

O Ca e o Mg contidos nos solos provêm unicamente da rocha-mãe (exceto os casos de aplicações artificiais, evidentemente).

8.1.1. Rochas cristalinas e cristalofilianas (meta- mórficas)

Contêm pouco Ca, porém muito K, quando *ácidas* (granitos alcalinos, riolitas, gnaisses alcalinos). Contêm muito Ca e pouco K, quando *básicas* (gabros, dioritas, basalto, andesita).

Quanto ao Mg, ele se encontra nas duas categorias de rochas, porque acompanha sempre o Ca (e o Fe) nas rochas básicas, e faz parte da estrutura de minerais extremamente comuns nas rochas ácidas, tais como as micas (muscovita, biotita).

8.1.2. Rochas sedimentares

Têm teores muito variáveis de Ca e Mg.

Os *quartzitos*, os *arenitos* e as *areias* podem possuir apenas traços de Ca e Mg, exceto, naturalmente, quando se trata de arenitos e de areias calcárias, ou de arcôzio (arenito com feldspato), ou de psamite (arenito com cimento contendo micas).

Ao contrário, os *calcários*, as *dolomias* e as *margas* possuem grandes quantidades de Ca e de Mg.

Entre êstes dois extremos, encontram-se *todos os intermediários*.

8.1.3. Relação entre os teores do solo e da rocha em cálcio e magnésio

Os teores do solo em Ca e Mg não refletem necessariamente os da rocha.

Com efeito, Ca e Mg são elementos relativamente móveis no solo.

Apesar dos fenômenos bióticos de subida do Ca e do Mg pelas raízes das plantas em *clima úmido* (frio, temperado e equatorial), êstes dois elementos são fortemente lixiviados e levados em profundidade (e mesmo fora do perfil), na condição de o solo ser permeável.

Em *clima árido*, ou apenas *sêco*, com estação *sêca* demorada, como o clima mediterrâneo, onde a evaporação é intensa, o Ca e o Mg seguem o movimento descendente da água durante a estação chuvosa, e o movimento ascendente das soluções do solo, gerado pela evaporação em superfície durante a estação *sêca*. Resultam disto concentrações de Ca e Mg que podem tomar o aspecto de filamentos, de nódulos, de crosta apenas consolidada, ou mesmo de crostas muito resistentes.

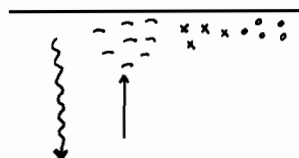


Fig. 14

Estas crostas, que podem ser formadas por calcário ou gipso, $\text{SO}_4 \text{ Ca}$ (neste caso, é preciso que a rocha ou as águas do lençol contenham gesso), aparecem apenas em climas mediterrâneos e áridos, e somente se a rocha-mãe for muito rica em Ca.

Não se conhecem crostas formadas apenas pelo Mg.

As crostas calcárias e gipsosas não existem

em clima tropical, mesmo semi-árido; entretanto, podem-se encontrar, aí, nódulos calcários, em particular na zona de balanço do lençol freático (solos hidromórficos, em particular).

8.2. Formas do cálcio e do magnésio nos solos

Como os outros elementos (K, Na), o Ca e o Mg se encontram nos solos sob forma trocável e sob forma não trocável, constituindo o conjunto Ca e Mg totais.

8.2.1. O cálcio e o magnésio trocáveis (solos não calcários)

Trata-se, essencialmente, do Ca e do Mg fixados sobre o complexo sortivo do solo, a argila e o húmus.

Em todos os solos (ou quase todos, inclusive os solos tropicais), o Ca representa, sozinho, entre 60 e 90% da soma das bases trocáveis; é, portanto, o Ca que condiciona principalmente a saturação do complexo sortivo, logo, o pH do solo.

O papel do Mg na saturação do complexo sortivo é muito menor (5 a 20% das bases trocáveis, em média), excetuando-se alguns casos particulares, como os vertisols (onde ele pode representar 40 a 50% das bases trocáveis) ou as rendzinas magnesianas (sendo estas últimas muito raras).

Ao Ca fixado sobre o complexo sortivo podem-se acrescentar, provavelmente, certos fosfatos de cálcio hidratados, dos solos ricos em Ca e P_2O_5 ; estes fosfatos pouco conhecidos são, provavelmente, ligados ao húmus (PO_4^{---}), fazendo ponte entre o Ca e o húmus. Por isso, eles são incluídos na medida do Ca trocável.

8.2.2. O cálcio e o magnésio não trocáveis (solos não calcários)

Trata-se, principalmente, do Ca e do Mg não extraídos pelo acetato de amoníaco neutro e normal:

a) Ca e Mg dos elementos residuais da rocha-mãe (muscovita para as micas, piroxênio, anfíbolo);

b) Ca dos elementos grosseiros, parcialmente ou totalmente calcários;

c) Mg das rêdes argilosas das ilitas;

d) Ca dos fosfatos tricálcicos;

e) etc.

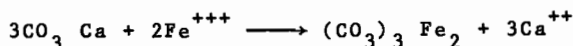
A abundância do Ca e do Mg não trocáveis é muito variável segundo a natureza da rocha-mãe, a idade dos solos e o clima (um velho solo ferralítico, em clima equatorial, os possui em pequena quantidade).

8.2.3. Caso particular dos solos calcários

São solos formados sobre rocha-mãe calcária e contêm, ainda, uma grande quantidade de calcário original, geralmente sob forma de pó, areia, cascalhos e seixos.

Naturalmente, o Ca (e, às vezes, o Mg) não trocável existe em quantidade importante, e o Ca (e o Mg) trocável satura a 100% (ou quase 100%) o complexo sortivo; além disso, encontram-se sais de Ca solúveis na água (estes existem, também, nos solos não calcários, mas em quantidades tão fracas, que não são levados em consideração).

Além do mais, quando a rocha-mãe é formada de um calcário mole, que se solubiliza facilmente nas soluções do solo, aparece uma outra forma chamada *calcário ativo* (que é determinado depois da extração com o oxalato de amônio, pelo método Drouineau), que pode provocar acidentes nas plantas cultivadas, quando absorvido em quantidades elevadas demais. O calcário ativo insolubiliza o Fe destinado à formação da clorofila das plantas, transformando-o em carbonato de ferro insolúvel:



As folhas tomam uma cor amarelada característica, e a planta morre nos casos mais graves.

Estes acidentes se produzem, sobretudo, em clima temperado oceânico e dependem da resistência de cada planta ao calcário ativo:

o pessegueiro não agüenta mais de 6 a 10% de calcário ativo;

a parreira pode tolerar até 12 ou mesmo 16%;

a pereira não o agüenta;

o trigo, a batata, a maior parte dos legumes cultivados (com exceção dos asparagos), são completamente indiferentes ao calcário ativo.

8.3. Os teores de cálcio e magnésio trocáveis favoráveis às culturas

Importância da soma das bases trocáveis e da saturação do complexo sortivo

Pelo fato de a soma Ca + Mg representar, na maioria dos solos, 70 a 90% da soma das bases trocáveis, e esta ser um elemento essencial da saturação do complexo sortivo (V), portanto do pH, a distinção feita, aqui, entre os teores de Ca e Mg, de um lado, SBT, V e pH, de outro, é artificial; na prática, é impossível dissociar estes fatores.

Por isso, as pesquisas feitas para determinar os teores críticos de Ca e Mg foram pouco desenvolvidas. Aliás, é raro que o teor do solo em Ca seja insuficiente para uma planta, pois, antes de o teor-limite ser atingido (se é que ele existe), a dessaturação do solo se torna tão forte, que os baixos pH provocam acidentes freqüentes: toxicidades mangânicas e alumínicas, insolubilização do Mo, parada da vida bacteriana, etc.

8.3.1. Exemplos da influência dos teores do solo em cálcio trocável sobre os rendimentos de algumas plantas cultivadas

8.3.1.1. Caso do amendoim (solos arenosos)

De 0,04 a 0,08 m.e. de Ca para 100 g de terra fina, há carência grave. O amendoim sofre da *doença das vagens vazias* (Nigéria do Norte).

Com 1 m.e. de Ca para 100 g de terra fina, há simples deficiência. Os rendimentos são fracos, mas o amendoim não mostra sinais visíveis de doença (Senegal).

De 1,3 a 1,5 m.e. de Ca para 100 g de terra fina, os rendimentos são normais (Senegal, Israel).

8.3.1.2. Caso do dendê e da hévea

0,58 m.e. de Ca para 100 g de terra fina parecem satisfazer ao dendê.

A hévea parece ser ainda menos exigente.

É verdade que a hévea e o dendê são plantas particularmente ácido-resistentes.

8.3.2. Exemplos da influência dos teores do solo em magnésio trocável sobre os rendimentos de algumas culturas

8.3.2.1. Caso do amendoim

No Senegal, mesmo nos solos muito pobres e empobrecidos pelas culturas, nunca foi definido um teor-limite de Mg para esta planta.

8.3.2.2. Caso do cafeeiro *Robusta* (solos ferálíticos da República Centro-Africana)

0,30 m.e. de Mg trocável no solo parece ser o limite abaixo do qual há deficit de alimentação com Mg para esta planta e diminuição do rendimento.

8.3.2.3. Caso do dendê e da hévea

0,36 m.e. de Mg para 100 g de solo parecem satisfazer ao dendê e à hévea, na Costa do Marfim.

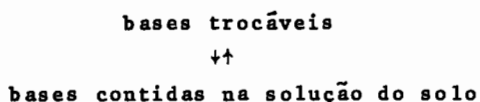
Na Malásia, não é raro encontrar solos contendo de 0,15 a 0,20 m.e. para 100 g de Mg trocável plantados com hévea; entretanto, os postos de experimentação aconselham o fornecimento de fertilizantes calco-magnesianos (dolomia esmagada) a este tipo de solo.

8.3.3. Importância da soma das bases trocáveis para as culturas

Considerando a importância do Ca e, em menor medida, do Mg na soma das bases trocáveis, muitos pesquisadores preferiram utilizar este último fator em lugar dos valores isolados de Ca e Mg trocáveis.

8.3.3.1. A soma das bases trocáveis

As quantidades de bases trocáveis presentes num solo condicionam o seguinte equilíbrio:



Como as plantas se abastecem quase exclusivamente a partir da solução do solo, uma grande quantidade de bases trocáveis indica que a solução do solo será regularmente reabastecida, e isto durante muito tempo, à medida que as raízes das plantas aí bombearem os elementos de que elas precisam.

A soma das bases trocáveis indica, pois, a quantidade das reservas de elementos minerais facilmente utilizáveis pelas plantas.

Logicamente, seria necessário levar em consideração a proporção das bases presentes no complexo sortivo, portanto, o grau de saturação (V); logo, em menor medida, o pH.

Com efeito, é evidente que um solo quase completamente dessaturado ($V = 5$ a 10% , por exemplo) não entregará tão facilmente suas bases à solução do solo (em todos os casos, ele as cederá menos), como o faz um solo saturado a 90 ou 95% .

Apesar disto, para a maior parte dos

Soma das bases trocáveis (m.e./100 g)	Avaliação das reservas de bases trocáveis facilmente utilizáveis
≤ 1	muito fracas
1 a 3	fracas
3 a 6	médias
6 a 12	elevadas
12 a 24	muito elevadas
> 24	excepcionais

Escala válida para os solos que contêm aproximadamente 2% de matéria orgânica (entre 1 e 3%) e $10\% < \text{argila} + \text{silte} < 50\%$. Se a soma argila + silte é inferior a 10% , é necessário dividir estes números por 2 . Se a soma argila + silte é superior a 50% , é necessário multiplicar estes números por 2 .

solos tropicais, pode-se aplicar, em primeira aproximação, a escala de fertilidade acima, ficando bem claro que se trata das reservas de elementos trocáveis facilmente utilizáveis pelas plantas, portanto, da possibilidade de se produzir uma quantidade mais ou menos importante de safras, estando a fertilidade imediata em função do pH.

$$8.3.3.2. \text{ A relação } \frac{(\text{SBT})^2}{\text{argila \%} + \text{silte \%}}$$

Esta relação tentará representar a saturação do complexo sortivo e medir, assim, com que velocidade as bases trocáveis podem reabastecer a solução.

Uma escala de fertilidade foi estabelecida para os solos ferralíticos pouco dessaturados:

$\frac{(\text{SBT})^2}{A + S}$	Avaliação da fertilidade
< 0,1	ruim
0,1 a 0,5	fraca
0,5 a 1	média
1 a 2,5	boa
2,5 a 5	muito boa
> 5	excepcional

8.3.4. Importância da matéria orgânica na avaliação da fertilidade dos solos ferralíticos

Nos solos ferralíticos, a capacidade de troca é, em grande parte, função do teor da matéria orgânica; em consequência, esta contém a maior parte das bases trocáveis.

Entretanto, a escala de fertilidade precedente não leva em consideração a matéria orgânica; tentou-se corrigi-la, para que se obtivesse uma indicação mais precisa.

Dai o gráfico da Fig. 16, que representa os diferentes níveis de fertilidade, indicados por $S^2/A + S$ (ou $S^2/A + L$), em função do pH e do teor de N (N total).

N não só representa o teor de N no solo, como expressa, também, a quantidade de matéria orgânica (estando o N contido, em totalidade ou quase, na matéria orgânica):

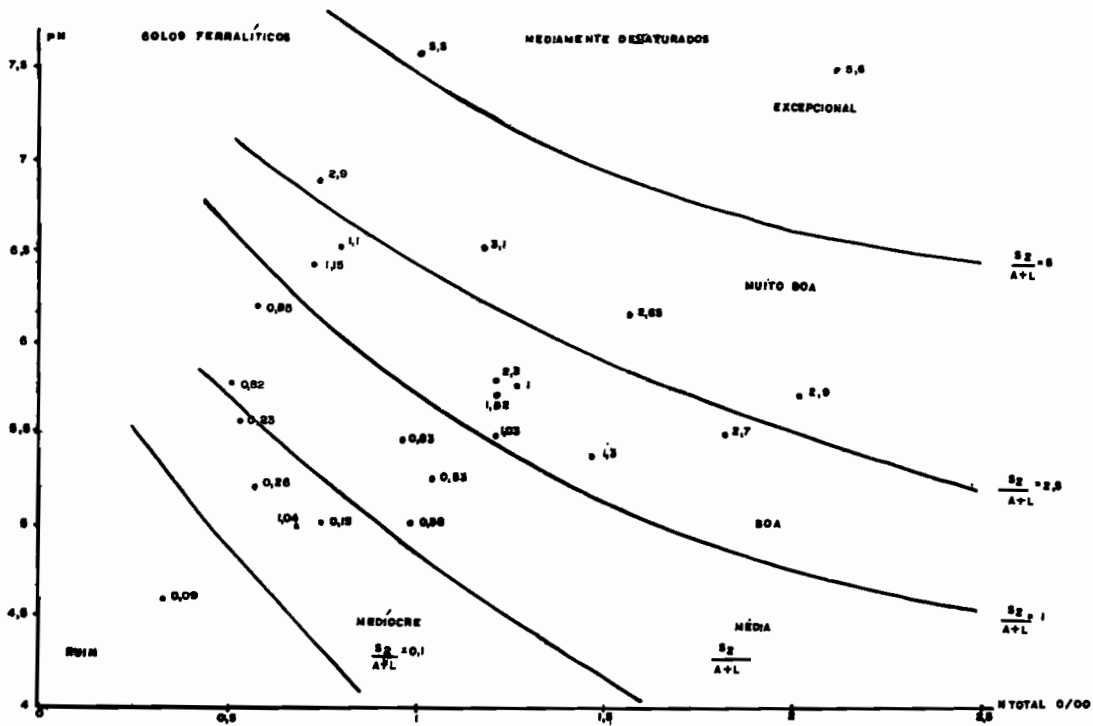


Fig. 15

Relação entre o teor de N total, o pH, a relação $S_2/A+L$ e a fertilidade em solos ferralíticos mediantemente dessaturados

C/N = 8 a 12 num solo *normal*.

O pH condiciona a velocidade de decomposição (mineralização) da matéria orgânica humificada, portanto, a velocidade com a qual o N e as bases são colocados à disposição das plantas.

Com pH igual a 7, esta velocidade é elevada. O solo não precisa de muito N nem de muitas bases, para ter uma boa fertilidade.

Com pH igual a 4,5, a velocidade de mineralização do húmus é lenta. Para ter uma fertilidade equivalente, o solo terá que possuir uma quantidade importante de bases e de N.

O gráfico apresentado como exemplo diz respeito aos solos ferralíticos medianamente dessaturados (V entre 20 e 40%), e a avaliação nêle representada é a da fertilidade imediata para a cultura do ano.

8.4. A dinâmica do cálcio e do magnésio nos solos tropicais

Os comportamentos do Ca e do Mg nos solos são extremamente vizinhos, e pode-se dizer que suas dinâmicas são praticamente as mesmas.

8.4.1. Movimentos do cálcio e do magnésio nos solos

A evolução pedológica dos solos é fortemente influenciada pelos movimentos do Ca e do Mg.

São notados, sobretudo, os movimentos do Ca, porque o Mg, muito menos abundante, passa despercebido.

Como foi dito no início do capítulo, trata-se de dois elementos relativamente móveis, cujos movimentos ascendentes (em clima seco ou árido) e descendentes (em climas úmidos) dão aos solos algumas de suas características.

É difícil determinar o limite inferior de pluviosidade, a partir do qual a lixiviação (movimentos descendentes) pára e é substituída pelas subidas e concentrações

próximas da superfície. Isto depende da permeabilidade do solo e da rocha, da concentração da estação chuvosa (600 mm de chuva, caindo, durante 4 meses, sobre os trópicos, poderão provocar uma certa lixiviação, mas a mesma quantidade de chuva dividida por 7 ou 8 meses não poderá iniciá-la) e, também, do tipo de solo.

Assim, no Senegal, há uma lixiviação bastante elevada do Ca e do Mg nos solos ferruginosos tropicais muito arenosos, com 800 mm de chuva que caem durante 4 meses. Esta lixiviação parece fraca nos solos brunos eutróficos, e nula sobre os vertisols da mesma zona climática.

Em média, pode-se considerar que o Ca e o Mg são lixiviados em climas tropicais úmidos e semi-úmidos, mas em proporções muito variáveis, segundo o clima e o tipo de solo.

Mas devem, também, ser levadas em consideração as subidas destes dois elementos pelas plantas (raízes, galhos e folhas, voltando estas últimas ao solo). Daí um equilíbrio entre lixiviação e subida biótica, que acaba sempre por ser estabelecido.

8.4.2. Perdas em cálcio e magnésio das terras cultivadas

O desmatamento quebra o equilíbrio entre lixiviação e subida biótica. Além disto, é necessário levar em consideração as exportações pelas safras. Com efeito, o amendoim e o milho colhidos são levados para fora do campo cultivado e contêm sempre uma certa quantidade de elementos minerais, dentre os quais Ca e Mg.

8.4.2.1. Experiências em vasos lisimétricos (solos ferruginosos tropicais arenosos do centro do Senegal)

Trata-se, aqui, do Ca e do Mg perdidos pela camada superficial do solo (25 cm), ao mesmo tempo por lixiviação e por exportação.

Segundo a experiência demonstrada no quadro a seguir, nota-se que o pousio nu é o que provoca a maior lixiviação, dentre os três tipos de pousios considera-

dos (esta lixiviação é mesmo maior que sob o amendoim), o que mostra que nunca se deve deixar um solo nu, pois isto não traz qualquer benefício, e as perdas são tão elevadas (ou frequentemente mais elevadas) quanto sob cultura.

	Lixiviação		Exportação	
	CaO kg/ha	MgO kg/ha	CaO kg/ha	MgO kg/ha
Tipos de pousio:				
pousio natural <u>quei</u> mado (ervas)	29,2	10,1	0	0
pousio nu	77,6	38,9	0	0
milho miúdo e adubo verde	25	4,3	0	0
Safras:				
amendoim	51 a 71	9 a 16	105 a 130	30 a 43
milho miúdo em grãos	111 a 158	25 a 48	30 a 86	6 a 26

Naturalmente, uma cultura que cobre muito mal o solo produz os mesmos efeitos que um solo deixado voluntariamente descoberto.

No início do ciclo cultural de 4 anos (adubos verdes enterrados/amendoim/milho miúdo/amendoim), forneceram-se 228 kg/ha de Ca (88 kg/ha somente, sobre algumas parcelas) sob forma de uma tonelada de fosfato tricálcico enterrado junto com o adubo verde.

Apesar da importância desta aplicação (completamente incomum nas práticas culturais dos camponeses), percebe-se que o balanço do Ca é deficitário, somando-se a lixiviação e a exportação das duas culturas de amendoim e da cultura de milho miúdo.

Nenhum fertilizante magnésiano foi fornecido.

Trata-se, aqui, de uma experiência com vasos lisimétricos de pequena dimensão, e seria perigoso transpor os seus dados para um campo cultivado. Porém ela tem a vantagem de evidenciar o fenómeno e medir toda a sua gravidade por números.

8.4.2.2. Evolução do cálcio trocável no decorrer de quinze anos de cultura

Apresenta-se, a seguir, um exemplo de cultura contínua do amendoim e do milho miúdo em solos ferralíticos fracamente dessaturados e solos ferruginosos tropicais, todos arenosos (13% de argila), do sul do Senegal. Pluviosidade: 1 000 mm de chuva.

	Cálcio trocável (m.e./100 g)	
	Solos ferralíticos 0 - 15 cm	Solos ferruginosos tropicais 0 - 15 cm
Inicial	2 a 3	1,1 a 3,9
Depois de 6 anos	1,1 a 1,5	1,1 a 1,5
Depois de 15 anos	0,57 a 1,25	< 1

As perdas de Ca alcançam, em 15 anos, de 1 a 4 toneladas de Óxido de cálcio por hectare, quase totalmente por lixiviação. Elas são ainda mais graves, porque, depois de 6 anos de cultura, existe uma correlação estreita entre os teores do solo em Ca trocável e os rendimentos do amendoim (a principal cultura).

Em 15 anos, as bases trocáveis se reduzem à metade (SBT passa de 4 para 2), ao mesmo tempo que o pH diminui de 6,4, originalmente, para 5,6 ou 5,7 depois de 6 anos de cultura, e 4,6 ou 5,1 depois de 15 anos.

8.4.2.3. Comparação solo nu/solo cultivado com amendoim (Vale do Niari — Congo Brazavile: pluviometria de 1 400 mm)

Trata-se, aqui, de um solo ferralítico dessaturado muito argiloso (60 a 70% de argila em superfície).

A única cultura é o amendoim cultivado exclusivamente com máquinas.

	Savana	Parcelas nuas depois de 3 anos	Parcelas com a amendoim depois de 3 anos
pH	5	4,70	4,75
Ca trocável (m.e./100 g)	1,71	0,89	0,82
Mg trocável (m.e./100 g)	0,20	0,04	0,04

Aqui também se notou que o solo nu se esgota tanto quanto o cultivado.

Os rendimentos em amendoim são, de 1 120 kg/ha no primeiro ano, 672 kg/ha no segundo, 593 kg/ha no terceiro.

Notou-se que, nesta região, o principal motivo da baixa de fertilidade dos solos não era o empobrecimento em matéria orgânica, mas sim a lixiviação das bases.

Esta será tanto mais intensa quanto mais fria, nublada e sem sol for a estação seca (durante a qual deveria haver subida das bases em direção à superfície, por causa da evaporação); se bem que ela só se prolongue por 5 meses, o solo seca apenas em superfície.

Além do mais, o mês de maio, no fim da estação úmida, é o período de chuvas mais fortes, aquelas que provocam a lixiviação mais intensa. Nesta época, as culturas estão maduras, e não há mais evaporação.

A mesma coisa acontece com a vegetação natural (grandes ervas de savana), que começa, então, a murchar, o que explica os baixos pH existentes aí, mesmo nas terras não cultivadas, porque o solo, quer seja cultivado, quer não, é sempre muito permeável.

Foi necessário procurar uma planta de pousio que estivesse em pleno período vegetativo naquele momento e, portanto, que evaporasse muita água (ela foi encontrada: é o *Stylosanthes gracilis*).

Em muitas regiões, recobrem-se os solos com palha, para evitar uma evaporação elevada demais e conservar o máximo de água à disposição das plantas (cafeeiro, bananeiras). Mas, nesta região, impedir a evaporação é aumentar a lixiviação dos solos, que já possuem muito poucas bases. É contribuir, portanto, para torná-los estêreis. Este uso da palha é nocivo no Vale do Niari, ao contrário do que se observa na maioria das outras regiões tropicais do mundo.

O Vale do Niari representa um exemplo da necessidade de adaptação das técnicas culturais ao micro-clima e ao pedo-clima.

Naturalmente, numa outra região com um micro-clima e um pedo-clima diferentes, adaptações diferentes serão necessárias.

Em pedologia aplicada à agricultura, precisa-se sempre prever que as regras gerais podem não se aplicar estritamente, e que é frequentemente necessário adaptá-las a casos particulares.

8.4.2.4. Conclusão sôbre a lixiviação do cálcio e do magnésio

Nos exemplos precedentes, pôde-se ver a importância das perdas de Ca e Mg nos campos cultivados ou num solo nu. Entretanto, foi necessário esperar até estes últimos anos, para se compreender que elas podiam ser nocivas às culturas.

Com efeito, Ca e Mg (o Ca sobretudo) são elementos relativamente abundantes nos solos, e geralmente as plantas precisam deles em pequenas quantidades. São sobretudo as perdas de matéria orgânica e as diminuições de pH que, de súbito, tornam um solo completamente infértil. Assim, nunca se observou que o Ca e o Mg eram insuficientes para o amendoim nos solos muito cultivados, a oeste do Senegal.

À medida que as culturas se sucediam, os teores em Ca e Mg destes solos muito arenosos diminuíam; o pH, originalmente próximo de 6,5, baixava progressi-

vamente, e os rendimentos em amendoim aumentavam, graças à melhoria das técnicas de cultura e às sementes selecionadas.

Subitamente, há 3 ou 4 anos, em campos inteiros de amendoim, só se encontraram plantas amareladas, raquíticas, que deram safras nulas. O pH tinha caído para 5 ou menos, e os rizóbios do amendoim tinham morrido (o limite de 5 é válido para esses solos muito arenosos, com 1 a 3% de argila; ele é, sem dúvida, diferente em solos mais argilosos ou localizados sob outros climas).

O Senegal tem a sorte de possuir um posto agronômico da melhor qualidade, que encontrou, de imediato, o motivo destes acidentes. Mas é mais que provável que fenômenos do mesmo tipo tenham se produzido em outros países do mundo, com outras culturas. Um deles é conhecido: a carência de Mo nas culturas de soja do centro dos Estados Unidos, por causa da insolubilização do Mo a pH muito baixos.

Mas quantos outros ficaram inexplicados, ou foram atribuídos a um misterioso esgotamento do solo? O agricultor abandonou sua roça e foi embora.

Tudo isto permite compreender por que as aplicações de fertilizantes calco-magnesianos são tão pouco frequentes em toda a zona intertropical e por que a maioria dos postos agronômicos se preocupou relativamente pouco com este problema (o Brasil é um dos raros países do mundo tropical a ter uma política de desenvolvimento dos fertilizantes calco-magnesianos).

A isto se deve acrescentar o preço, sempre muito elevado, deste tipo de operação, o que desanima os agricultores.

8.4.3. Concentrações de cálcio e magnésio

Observam-se concentrações mais frequentes de Ca e Mg em:

a) certos solos de climas mediterrâneos e áridos, onde a evaporação é muito forte, e a pluviosidade é, frequentemente, fraca; a subida das soluções do solo carrega-

das de Ca e Mg provoca a acumulação destes elementos em superfície ou perto dela; esta acumulação pode provocar o aparecimento de crostas;

b) *certos solos com hidromorfia de profundidade*, onde um lençol freático carregado de Ca pode depositar calcário, geralmente sob forma de nódulos;

a) *certas termiteiras*, para onde as térmitas carregam Ca; este Ca pode formar seixos calcários de alguns centímetros.

Os vermes da terra podem desempenhar um papel semelhante, mas em proporção muito menor (a calcita que eles depositam é somente visível ao microscópio).

8.4.4. O fornecimento do cálcio e do magnésio pelo pousio na parte superficial do solo

As raízes das plantas de pousio (sobretudo quando se trata de árvores) vão procurar, muito longe, em profundidade, os elementos minerais levados pela lixiviação e os incorporam às suas partes aéreas (hastes para as gramíneas, troncos e folhas para as árvores), que voltam ao chão depois de um certo tempo. As raízes das gramíneas podem, às vezes, descer até 5 ou 6 metros de profundidade (observaram-se, mesmo, descidas de 8 a 10 m para o trigo, em Israel), se bem que a maior parte do sistema de raízes se encontre nos 30 cm superficiais.

No momento do desmatamento, muitas vezes acompanhado da queima das plantas, há fornecimento maciço e brutal de elementos minerais que podem ser lixiviados, porque não foram utilizados pelas culturas, nem incorporados ao complexo sortivo do solo, por se encontrarem em quantidade elevada demais (300 a 600 kg/ha de CaO + MgO depois da queima da floresta equatorial).

Este papel do pousio é muito importante. Na baixa Costa do Marfim (2 000 mm de chuva, solos ferralíticos dessaturados ácidos), 4 anos de pousio herbáceo, com *Penisetum purpureum* instalado sobre um campo esgotado pela cultura, fazem subir a SBT de 0,63 m.e. para 100 g a 2,5 m.e. para 100 g,

quantidade bastante notável, em se tratando destes solos pobres.

Na República Centro-Africana, observou-se, 3 anos depois da queima da floresta equatorial e da plantação de cafeeiros, que a SBT era de 11,19 m.e. para 100 g, ao invés de 2 a 3 sob floresta, e que os valores do pH variavam de 5,7 a 7,25 (por causa da irregularidade do fornecimento de cinzas), ao invés de variarem de 5,7 a 5,8 sob floresta. Na verdade, tratava-se de uma jovem plantação de cafeeiros, cujas interlinhas eram ocupadas por uma planta de cobertura (*Pueraria javanica*, *Stylosanthes gracilis*, *Centrosoma pubescens*, etc.). A associação do cafeeiro e da planta de cobertura é suficiente para recobrir muito bem o solo durante o ano todo e limita ao máximo a lixiviação.

No caso de culturas anuais que cobrem muito menos o solo, todas as bases trazidas pela queima da grande floresta desaparecem num prazo que pode variar de 3 a 5 anos (Congo Kinshasa).

O pousio tem, pois, um papel importante, muito importante mesmo, na substituição de bases trocáveis desaparecidas no decorrer das culturas. É um procedimento seguro, econômico, que continuará a ser utilizado, nas regiões tropicais, ainda por muito tempo.

Seus principais inconvenientes são: o tempo (20 a 30 anos para um pousio florestal, 4 a 5 vezes o período de cultura para os pousios herbáceos), que inutiliza espaços imensos, e o grande trabalho do desmatamento, que só pode ser feito com a mão.

É, portanto, um procedimento utilizável apenas nos países pouco povoados e com fraca produtividade agrícola.

8.5. O problema dos corretores calco-magnesianos

8.5.1. Vantagens e desvantagens dos corretores calco-magnesianos

8.5.1.1. Vantagens

a) elevação do pH até os valores mais favoráveis às culturas, e supressão dos acidentes provocados pelos baixos pH;

b) aumento da atividade bacteriana dos solos e, em particular, das atividades bacterianas do ciclo do N; daí um fornecimento maior e mais regular de N (mineralização do húmus);

c) obtenção de teores de Ca e Mg convenientes para as plantas.

8.5.1.2. Desvantagens

Fora um custo sempre elevado, foram observadas, principalmente:

a) blocagem de oligo-elementos e, mais particularmente, de Zn, Cu e B, que se tornam inassimiláveis pelas plantas — estas blocagens se produzem, geralmente, depois da aplicação maciça de fertilizantes calcários, e parecem provocadas, principalmente, pelas subidas brutais do pH;

b) combustão acelerada da matéria orgânica — isto foi particularmente observado na zona temperada, onde agricultores quiseram fazer subir até 7 o pH de solos arenosos ácidos (podzols e solos podzólicos), cuja matéria orgânica (Moder ou Mor) representava todo o potencial de fertilidade; a vida bacteriana se desenvolveu rapidamente, provocando a mineralização da totalidade de húmus, e, em alguns anos, o solo se transformou numa areia branca, infértil.

Quando se trata de um solo com Mull, com mais de 20% de argila, tais acidentes são raros.

Na zona tropical úmida ou semi-árida, não foram observadas diminuições importantes do teor de matéria orgânica, pelo menos até hoje, exceto sob cultura de bananeira em solos turfosos, na Costa do Marfim; mas, neste caso, não se sabe muito bem se se deve atribuir à drenagem ou às aplicações calco-magnesianas a diminuição da espessura (20 cm em 4 a 5 anos) deste solo turfoso depois de 5 a 6

anos.

Nos solos arenosos do Senegal, já empobrecidos em matéria orgânica, as experiências não parecem ter revelado uma diminuição apreciável do pequeno estoque de matérias orgânicas.

8.5.2. Doses de fornecimento de corretores calcários

8.5.2.1. Fornecimento maciço

Deseja-se obter, imediatamente, um pH 7 ou, pelo menos, vizinho da neutralidade, e, em consequência, são colocadas, no solo, quantidades importantes de cal, de calcário ou de dolomia. Esta concepção da "correção da fertilidade do solo" é defendida, em particular, por Chaminade, e foi motivo de muitas experiências em Madagáscar, onde se obtiveram boas safras em terras outrora completamente inférteis.

Para se calcularem as quantidades necessárias de cal, determina-se o pH das suspensões que contêm um peso dado de solo e um volume conhecido de água de cal; obtêm-se, assim, a quantidade necessária para se conseguir um pH de 6,5 a 7. Basta, em seguida, fazer-se a extrapolação destes resultados para o hectare (4 500 t de terra de 0 a 30 cm).

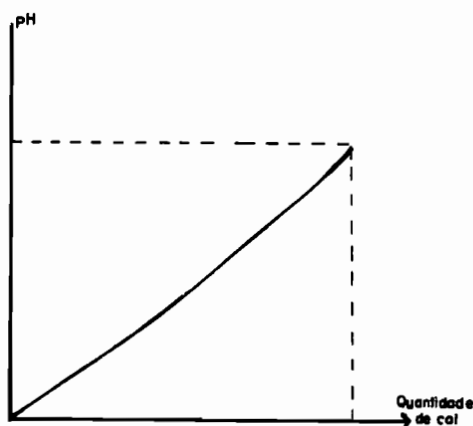


Fig. 16

Nos solos tropicais, pode-se calcular a quantidade de Ca (e Mg) necessária para substituir todos os íons H^+ e todos os íons Al^{+++} do complexo sortivo (método CEPLAC para o cacaueiro, em Itabuna):

1 500 kg de dolomia/1 m.e. de Al

1 000 kg de dolomia/1 m.e. de Ca+Mg

Teor aproximado de Ca = 3

A quantidade de cal é, freqüentemente, muito elevada: da ordem de uma dezena de toneladas de cal por hectare para os solos ácidos, ou seja, um pêso praticamente duplo ou triplo de calcário esmagado.

8.5.2.2. Fornecimento reduzido

O fornecimento de corretores calco-magnesianos é apenas suficiente para conservar o pH, quando este é favorável, ou aumentá-lo um pouco, quando é fraco demais, e produzir as quantidades de Ca e Mg necessárias às plantas.

Os partidários deste método partem do princípio de que a maioria das plantas tropicais aceita pH incluídos entre 5,5 e 6,5, para fornecer rendimentos bastante razoáveis, e de que é inútil arriscar acidentes de carência de oligo-elementos, tentando corrigir o pH, para chegar a 7. Por outro lado, por ser a agricultura tropical pobre, os camponeses são, na maioria, incapazes de pagar o custo elevado das aplicações maciças.

Se o pH já é favorável, como um pH 6 para o amendoim no Senegal, fornece-se ao solo, de 4 em 4 anos, uma tonelada de fosfato tricálcico natural por hectare. O preço é relativamente baixo, porque as jazidas existem no próprio país, e o fosfato, sal neutro que não eleva o pH, fornece Ca suficiente, no momento de sua dissolução, para compensar a lixiviação e a exportação.

Se o pH é baixo demais, faz-se subi-lo apenas o bastante para que sejam obtidos bons rendimentos.

Assim, as turfeiras da Costa do Mar

fim, onde se encontram as bananeiras, têm pH 4 muito insuficientes; coloca-se, então, dolomia esmagada (5 a 10 t/ha), para elevar o pH entre 5,5 e 6; em seguida, fornecem-se, cada 2 ou 3 anos, fosfato tricálcico e dolomia esmagada (a bananeira é um grande consumidor de Mg), para manter este pH.

8.5.3. Permanência, nos solos, das aplicações calcárias e calco-magnesianas e seus efeitos sobre o pH

Vários dados, relativamente recentes na maior parte, vão, certamente, fortalecer os partidários de um ou de outro método.

É a constatação, em particular, da *intensidade da lixiviação, nos solos tropicais, do Ca e do Mg trazidos pelos corretores.*

Esta lixiviação será, evidentemente, tanto mais intensa quanto mais chuvoso for o clima e mais permeável o solo. Pode-se considerar que ela se produz ainda (embora fracamente) nos solos arenosos, até com uma pluviosidade vizinha de 500-600 mm.

Na baixa Costa do Marfim (2 000 mm de chuva), em solos ferralíticos arenosos dessaturados, foram postas (sobre plantações de bananeiras) 5,5 toneladas de dolomia esmagada; daí um pH 5,5 e um coeficiente de saturação (V) de 70%. Três anos depois, sobravam apenas 25% do Ca e 30% do Mg fornecidos. Apesar das exportações decorrentes das safras, pode-se considerar que os 9/10 destas perdas são devidos à lixiviação.

No Congo Brazavile, no Vale do Niari (1 400 mm de chuva em 8 meses), em solos ferralíticos dessaturados argilosos (60 a 70% de argila em superfície), com pH entre 4,3 e 5,3, duas toneladas por hectare de cal agrícola (62% de cal; 3,3% de Mg O) fazem subir o pH em pelo menos meia unidade. Entretanto, depois de um ano de cultura, o pH volta ao seu valor inicial, ou mesmo diminui em relação a este.

No Senegal (800 mm de chuva concentrados em 4 meses), sobre solos ferruginosos tropicais arenosos (1 a 3% de argila), ácidos (pH = 5,8), com fraca capacidade de troca

($T = 2,8$), uma aplicação de 1,2 toneladas de cal agrícola por hectare (isto é, 780 kg/ha de cal) levanta, instantaneamente, o pH de 5,8 para 7,7. Mas, depois de 3 anos de cultura, o pH volta a 6,2.

Nestas condições, 300 kg de cal agrícola por hectare (195 kg de cal) conseguem apenas manter o pH inicial.

Estes três exemplos permitem que se tome consciência da intensidade da lixiviação do Ca e do Mg fornecidos pelos corretores.

Como o fenômeno é tanto mais intenso quanto mais importantes são as quantidades fornecidas, parece, pois, inútil tentar-se colocar, imediatamente, quantidades consideráveis. É provavelmente melhor fornecer, cada 2, 3 ou 4 anos, quantidades menores, para conservar o potencial existente de fertilidade.

8.5.4. Conclusão sobre os corretores calcários e calco-magnesianos

Se o pH e os teores de Ca e Mg são favoráveis às culturas, o único problema é conservar estas condições favoráveis.

A solução preconizada no Senegal, país produtor de fosfato, é aplicar, de 4 em 4 anos, uma tonelada de fosfato tricálcico natural (local) por hectare (37% de pedróxido de fósforo, 50% de cal), que contenha, ao mesmo tempo, Ca e P, porém, sem elevar o pH.

Em outros países, que não têm fosfatos, mas calcários e dolomias, utilizam-se estas duas rochas.

Se o pH é realmente baixo demais (diminuição dos rendimentos, toxicidades do Mn e do Al) ou os teores de Ca e Mg são fracos demais, é necessário utilizar doses elevadas, para evitar abandono da cultura.

Como exemplo, seguem as quantidades recomendadas no sul do Senegal (pluviosidade 1 100 mm, concentrados em 5 meses), para solos arenosos (13% de argila; $T = 3,8$; $V = 47\%$), com o fim de colocar o pH entre 6 e 6,5 (pH, em prin

cípio, o mais favorável para o amendoim):

pH	t/cal/ha
4,5 - 5	2 - 2,5
5 - 5,5	1,5 - 2
5,5 - 6	1 - 1,5
6 - 6,5	0,5

Para pH 6-6,5, a cal pode ser substituída por 1 tonelada de fosfato tricálcico, já que não se trata mais de elevar o pH, mas de mantê-lo.

Normalmente, esta operação deveria ser efetuada em cada 4 ou 5 anos, mas os pedólogos responsáveis aconselham prestar muita atenção à evolução do pH dos campos cultivados (segundo Charreau e Fauck).

Quais são as formas de corretores calcários e calco-magnesianos a serem utilizadas?

A cal agrícola (cal apagada impura) tem efeito rápido e brutal: pode provocar uma combustão acelerada da matéria orgânica, se bem que isto nunca tenha sido observado nos países tropicais. Parece que o Ca que ela traz é lixiviado com relativa facilidade.

Por isso, prefere-se, em geral, sobretudo nos climas úmidos, utilizar formas de dissolução lenta, tais como o calcário, a dolomia ou o fosfato tricálcico, que liberam, progressivamente, os cátions e são, portanto, menos sensíveis à lixiviação.

Nota-se que somente as bases como a cal ou os sais alcalinos (calcário e dolomia são sais formados a partir de uma base forte — hidróxido de cálcio — e de um ácido fraco — ácido carbônico) são capazes de elevar o pH. O fosfato tricálcico (resultado da combinação de um ácido forte — ácido fosfórico — e de uma base forte — hidróxido de cálcio) é um sal neutro que não dá alcalinidade ao solo e é, portanto, incapaz de elevar o pH. Entretanto, sua dissolução no solo é tanto mais fácil quanto mais ácido é o pH (ela é praticamente nula com pH 7), e libera íons que vão se fixar sobre o comple

xo sortivo, impedindo, assim, que este último se sature progressivamente em íons H^+ e Al^{+++} .

9. O SÓDIO E O PROBLEMA DOS SOLOS E DAS ÁGUAS CARREGADOS DE SÓDIO

9.1. Origem do sódio dos solos

O Na é um elemento particularmente abundante nas rochas que dão origem aos solos.

9.1.1. Caso das rochas cristalinas, cristalofilinas e das lavas

O Na está presente em certos minerais destas rochas:

9.1.1.1. Feldspatos alcalino-terrosos ou plagioclásios (série da albita à anortita)

Série	% de Na	% de Ca
Albita	90 - 100	0 - 10
Oligoclaso	90 - 70	10 - 30
Andesina	70 - 50	30 - 50
Labrador	50 - 30	50 - 70
Bitomita	30 - 10	70 - 90
Anortita	10 - 0	90 - 100

São, portanto, as rochas com albita, oligoclaso e andesina que contêm a maior quantidade de Na, isto é, os granitos alcalinos, os granodioritos (que contêm oligoclaso), os dioritos, as riolitas, as andesitas, os gnais.

9.1.1.2. Alguns feldspatóides (nefelina sobretudo)

As rochas ricas em nefelina são:

Sienitas nefelínicas

Fonólitos

9.1.1.3. Alguns piroxênios

A agirina e a augite agirínica existem, com bastante raridade, nos gabros e, mais frequentemente, nas rochas metamórficas.

9.1.1.4. Alguns anfíbolos

Riebeckita e glaucofânio existem sobretudo nas rochas metamórficas (cristalofilianas).

Em geral, quanto mais rica em Ca, Fe e Mg é uma rocha, menos Na ela tem. Entretanto, não se deve esquecer que rochas já bem providas de Ca, Fe e Mg, como os basaltos e os gabros, possuem labrador com plagioclásio. Portanto, sua decomposição vai liberar quantidades relativamente importantes de Na.

• 9.1.2. Caso das rochas sedimentares

Fora o caso particular dos sedimentos lacustres, as rochas sedimentares nasceram no mar. Não é, pois, de estranhar que se encontre Na em várias delas. Entretanto, elas foram geralmente lavadas pelas águas da chuva e contêm relativamente pouco Na.

Para que o sal seja conservado, condições particulares são necessárias: rochas argilosas impermeáveis contendo cloreto de sódio e formações salíferas incluídas entre duas camadas impermeáveis de argila.

Assim, em particular, quase todas as formações do Triássico Médio (início do Secundário) contêm jazidas de sal. Este Triássico salífero e gipsoso acarreta grandes dificuldades para a agricultura dos países da África do Norte, porque quase todas as águas dos rios têm oportunidade de atravessar afloramentos do Triássico.

Os sedimentos marinhos recentes (pôlder de

Holanda; solos de mangue, etc.) são, freqüentemente, muito ricos em cloretos.

9.2. A dinâmica do sódio nos solos tropicais

9.2.1. Mobilidade do sódio

O sódio é um elemento particularmente móvel. Todos os compostos do Na são altamente solúveis: cloreto de sódio, carbonatos e bicarbonatos, sulfatos, sulfures.

Por outro lado, o Na, catíon monovalente, é menos fortemente retido sobre o complexo sortivo que o Ca, para o qual ele cede facilmente o lugar, desde quando este seja abundante. A partir do momento em que a pluviosidade é abundante e a drenagem suficiente, o Na é levado, em sua maior parte, nas águas de percolação, em direção aos rios e ao mar. É um fenômeno importante, porque a maioria das plantas não agüenta fortes teores de Na no solo.

Entretanto, nos países áridos, onde a evaporação é muito forte e onde as águas de irrigação ou do lençol freático são salgadas (mesmo quando muito pouco), o Na segue o movimento da água por subida capilar e vai se acumular na superfície do solo, onde pode até mesmo formar aflorações salinas.



Fig. 17

Cada chuva um pouco mais intensa faz diminuir o teor de Na no solo, e cada período de seca faz aumentá-lo.

9.2.2. Acumulação do sódio nas depressões fechadas

Estas depressões podem ser de tamanho variável — alguns hectares ou alguns quilômetros quadrados —, chegando mesmo a cobrir regiões inteiras, como o sul da Argélia,

o sul da Tunísia, a bacia do Chade, as bacias dos grandes lagos da África Oriental ou, ainda, o Turquestão russo e o chinês. O grande Lago Salgado dos Estados Unidos não passa de uma dessas depressões fechadas na qual o Na se acumulou.

Entretanto, para haver acumulação importante de Na, é necessário que a evaporação seja elevada, maior do que o fornecimento de água pela chuva e pelos rios, caso contrário a depressão forma um lago que acaba por transbordar, e grande parte do Na vai embora com as águas de transbordamento (caso da bacia central do Níger e dos grandes lagos africanos, atualmente; caso do lago Chade, durante o início do Quaternário).

Se as rochas que envolvem a depressão são cristalinas (granito, granodiorito), *cristalofílicas* (metamórficas) ou *lavas*, o Na, liberado pela alteração dos plagioclásios em particular, combina-se com o óxido de carbono do ar para formar carbonatos e, às vezes, bicarbonatos. Ele é transportado, sob esta forma, até o lago ou a várzea do fundo da depressão.

Ali, as condições redutoras que dominam farão com que o Na se combine parcialmente em sulfúrio com o S proveniente do solo ou da decomposição dos vegetais; estes sulfúrios se oxidam em sulfatos, se a várzea se desseca durante algum tempo. Naturalmente, na presença do Cl, o Na poderá dar cloreto de sódio (mas, neste exemplo preciso, o Cl existe, geralmente, em pequena quantidade).

O natrão é uma mistura de carbonato, sulfato de sódio e cloreto de sódio (este último menos abundante que os dois primeiros), freqüente nestas depressões.

Se as rochas que envolvem a depressão são sedimentares (sedimentos marinhos), desta vez é o cloreto de sódio que se acumula na depressão, em quantidade muito mais abundante que os sulfatos e carbonatos de sódio. É o caso, em particular, dos *chotts* das regiões áridas do sul da Argélia e da Tunísia, das depressões do Saara, do Atlântico até o Mar Vermelho.

Os *chotts* são vastas extensões completamente horizontais, embranquecidas pelo sal; raspando-se a superfície, encontra-se, rapidamente, um sedimento escuro; com efeito, geralmente estes terrenos sedimentares possuem gipsa, que se reduz a sulfúrio no fundo dos *chotts*.

Os *chotts* são cobertos de água somente durante alguns dias ou algumas semanas por ano.

Pode-se ter, também, terrenos salgados sobre sedimentos marinhos recentes, seja porque a pluviosidade é insuficiente para lavar o sal (caso do litoral sul da Tunísia, dos litorais da Líbia, do Mar Vermelho, do Golfo Pérsico, do noroeste do México, etc.), seja porque há, ainda, fornecimentos ocasionais de água do mar (grandes marés, tempestades).

É o caso dos mangues: como a vegetação dos mangues é abundante e a água do mar contém sempre sulfatos, o S se encontra, nestes solos, sob forma de sulfúrios escuros (*cat clays*). A drenagem dos mangues provoca a eliminação do Na e a oxidação dos sulfúrios, que, por falta de cátions, gera o ácido sulfúrico; o pH pode descer a 2 ou 3. Daí graves toxicidades, devidas ao Fe e ao Al, para o arroz em particular (Cailão, Serra Leoa, delta de Casamance, no Senegal).

9.3. Principais tipos de solos salgados

Atualmente, ao contrário dos americanos (7a. e 8a.ª aproximações), todos os pedólogos distinguem solos salinos, no mais alto nível da classificação. Isto porque a vegetação é completamente diferente da dos outros solos, porque o complexo sortivo tem propriedades particulares (carga de Na, dispersão da argila) e porque as plantas cultivadas dificilmente agüentam fortes teores de Cl e de Na.

9.3.1. Solos salgados (*solontchaks* da classificação russa, palavra também utilizada pelos franceses)

São solos com cloretos. Contudo o cloreto de sódio se encontra livre no solo, e o Na é muito pouco abundante no complexo sortivo; os cloretos podem ser misturados com

carbonatos e sulfatos:

pH < 8,5
Na/T < 15% (Na trocável do complexo sortivo)
Condutibilidade elétrica > 4 millimhos

A condutibilidade elétrica é medida oficialmente sobre um solo que contém apenas a quantidade suficiente de água para torná-lo líquido: pasta saturada.

Deve-se notar que os efeitos do Na sobre a estrutura começam a se manifestar quando a relação Na/T alcança de 7 a 8%.

9.3.2. Solos salgados a álcalis

O cloreto de sódio (ou o carbonato de sódio) se encontra em estado livre (sal solúvel) no solo, mas o Na satura uma boa parte do complexo sortivo (em todos os casos, mais de 15% de T):

pH > 8,5
Na/T > 15%
Condutibilidade elétrica > 4 millimhos

9.3.3. Solos a álcalis (*solonetz* da classificação russa, palavra também usada pelos pedólogos franceses)

O Na se encontra principalmente no complexo sortivo do solo. Em geral, há relativamente poucos sais livres e, quando existem, são, frequentemente, carbonatos e sulfatos de sódio:

pH de 8,5 a 10
Na/T > 15%

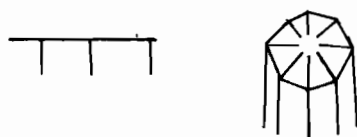


Fig. 18

Os colóides são sempre fortemente dispersados, quando o solo é úmido. O horizonte B toma um aspecto característico, de pequenas colunas prismáticas (*structure en colonnettes*, em francês; *columnar structure*, em inglês).

Às vezes, o horizonte A é lixiviado e perde seu Na; forma-se um A₂ embranquecido (A₁ e A₂ podem até mesmo ser ácidos, e não sódicos), enquanto o B guarda muito Na e conserva sua estrutura em colunas.

São os *solonetz* solodizados (*solods* nos casos extremos, com A_2 muito embranquecido).

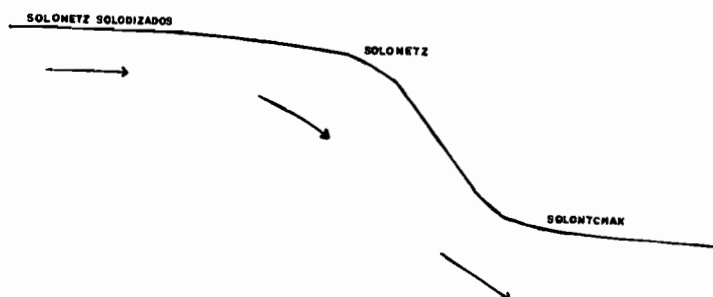


Fig. 19

9.4. O sódio nos solos e as plantas cultivadas

9.4.1. Deficiências de sódio nos solos

Estas deficiências são extremamente raras: por um lado, o solo contém sempre um pouco de Na sobre seu complexo sortivo, e, por outro lado, as plantas têm pouca necessidade de Na.

A beterraba seria uma das plantas que mais exigem Na, mas o que já existe no solo e o Na trazido como impureza nos fertilizantes potássicos são suficientes para ela.

É possível que, no futuro, com a intensificação da agricultura e o uso generalizado de fertilizantes de síntese (portanto, muito puros), seja constatada deficiência de Na em certos solos; mas isto ainda não vem ao caso.

9.4.2. Intoxicação do cafeeiro pelo sódio em solo não salino

Observa-se, na República Centro-Africana, na zona dos solos ferralíticos, que o cafeeiro *Canephora*, variedade *Robusta*, não agüenta ter suas raízes na água durante uma parte do ano; a planta murcha e morre, depois de ter ingerido fortes quantidades de Na.

É provável que a hidromorfia torne os tecidos das raízes extremamente permeáveis ao Na, daí uma intoxicação, mesmo que ele seja pouco abundante.

9.4.3. Excesso de sódio nos solos

A ação do Na sobre o solo é geralmente devinda ao excesso, o que acarreta:

9.4.3.1. Ação sobre a estrutura

Desde que o Na represente mais de 7 a 8% da capacidade de troca, a estrutura se degrada por dispersão dos colóides; quando o Na atinge de 12 a 15%, este fenômeno é muito nítido: o solo se torna pouco permeável, compacto em período de seca, e se transforma em lama saponácea, quando chove. Estas condições físicas do solo convêm muito pouco à maioria das plantas.

9.4.3.2. Toxicidade específica dos anions dos sais solúveis

O anion Cl^- é, dentre todos, o mais tóxico, mais tóxico ainda que o anion SO_4^{--} e, sobretudo, que o gás carbônico, que não tem praticamente toxicidade.

Com efeito, o Cl^- , íon muito móvel, entra facilmente nos tecidos das plantas e aí permanece em estado iônico; sua presença tem por efeito diminuir a penetração dos cátions, K^+ em particular; notou-se que, se, no interior dos tecidos, a relação Cl/K é maior que 1, a planta sofre de grave carência em K (Buchner).

O íon SO_4^{--} tem, teoricamente, o mesmo poder que Cl^- , mas, sendo menos móvel, entra menos facilmente nos tecidos das raízes; dentro da planta, ele é, pelo menos parcialmente, decomposto, e o S é incorporado às substâncias vegetais, donde uma ação menos importante.

Para que o SO_4^{--} seja tão nocivo quanto o Cl^- , é preciso que ele esteja em proporção muito maior.

9.4.3.3. Elevação da pressão osmótica da solução do solo

Se os sais solúveis se dissolvem,

êles dão à solução do solo uma pressão osmótica elevada, proporcional à concentração de sais:

$$\begin{aligned} \text{pressão osmótica em atmosferas} &= L \times 0,35 \\ L &= \text{condutibilidade em millimhos} \end{aligned}$$

Esta pressão osmótica elevada, quase inteiramente devida ao Na, favorece a entrada do catión Na^+ nas raízes das plantas; daí surgirem desequilíbrios alimentares em relação aos outros catíons (K^+ , Ca^{++} , etc.).

No caso dos solos a álcalis, o Na trocável se põe em equilíbrio com a solução do solo; como esta contém quase exclusivamente Na, sua pressão osmótica parcial é muito elevada em relação à dos outros catíons, o que provoca desequilíbrios semelhantes aos do caso precedente.

9.4.3.4. pH alto demais

Poucas plantas agüentam pH superiores a 8. Desde que os solos contenham forte proporção de Na no complexo sortivo, os pH se escalam de 8,5 a 10.

9.4.4. Métodos de análise dos solos salgados

Êstes métodos são sobretudo utilizados para solos que contêm sais livres, cloretos essencialmente, mas também sulfatos e carbonatos.

9.4.4.1. Pasta saturada

A técnica mais utilizada é a da pasta saturada: o solo é saturado de água até alcançar o limite de liquidez. A superfície deve estar brilhante, mas não se deve ver a água em excesso se acumular nas cavidades.

A umidade do solo é medida sobre uma fração separada.

A solução do solo é extraída sob vácuo; analisam-se, aí, os aníons SO_4^{--} , CO_3^{--} , $\text{CO}_3 \text{H}^-$ e, sobretudo, Cl^- , assim como os catíons Na^+ , K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} .

Mede-se a condutibilidade com a ajuda de uma ponta de Wheatstone e de uma célula de medida compreendendo elétrodos de 1 cm^2 , afastados em cerca de 1 cm.

A condutibilidade L a 25° é expres-

sa em millimhos, ou seja, 1/ohms/cm:

$$1 \text{ millimhos/cm} = \frac{1}{1\,000 \text{ ohms/cm}}$$

$$1 \text{ micromhos/cm} = \frac{1}{10^6 \text{ ohms/cm}}$$

9.4.4.2. Extração (uma metade)

Por motivos práticos, pode-se substituir o extrato saturado pelo extrato 1/2.

Misturam-se 100 g de solo com 200 ml de água, agita-se a mistura, centrifuga-se; a condutibilidade é medida, e os ânions e cátions do extrato são analisados:

$$L \text{ extr. sat.} = L \text{ extr. } 1/2 \times \frac{200}{\% \text{ água no solo} \times p/\text{saturação}}$$

A dissolução do gipso é melhor que no extrato saturado (se existe gipso, evidentemente), mas a hidrólise do Na do complexo de troca ainda é fraca.

9.4.4.3. Extração (um quinto, um décimo)

Além da extração 1/2, podem-se realizar extrações 1/5 e 1/10 (respectivamente 500 e 1 000 ml/100 g de solo).

A dissolução dos sais pouco solúveis com o gipso é completa, mas há uma forte hidrólise do Na trocável.

O pH de extrato 1/10 é muito mais alcalino que o pH da pasta saturada, estando a diferença de pH em relação com a quantidade de Na trocável.

9.4.5. Escala de salinidade

Foram colocadas, na mesma tabela, a escala elaborada por Durand para a África do Norte e sua correspondência na escala de Riverside (Vide página seguinte).

9.4.6. Dessalinização dos terrenos salgados

As técnicas de dessalinização são utilizáveis apenas quando se dispõe de muita água, seja porque o clima é chuvoso, seja porque há água doce em abundância.

Escala de salinidade de Durand para
a África do Norte

m.e./100 g de solução	condutibilidade em micromhos/cm				
	0	2,5	5	10	20
L a 25° extrato 1/10		250	500	1 000	2 000
L a 25° extrato 1/5		500	1 000	2 000	4 000
L a 25° extrato saturado		1 750	3 500	7 000	14 000
Correspondência na esca la americana dita de Ri verside	condutibilidade em millimhos/cm				
	0	2	4	8	16
	Solo não sal gado	Solo pouco sal gado	Solo salgado	Solo fortemen te salgado	Solo muito for temente salga do
		Efeitos sômen te sôbre as plantas sensí veis (por e xemplo: par reira, laran jeira)	Efeitos sô bre muitas plantas (ex ceções: algo dão, cereais e luzerna)	Efeitos sôbre a maioria das plantas (exce ções: cevada, aspargo)	Flora especial dos terrenos salgados (ne nhuma cultura possível)

Livro a consultar: RICHARDS, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washing
ton, USDA, Agric. Handbook (60): 160, 1954.

Em clima chuvoso (caso dos terrenos salgados da Holanda), a primeira tarefa é a melhoria da estrutura do solo, para a restauração da permeabilidade; em seguida, as águas de drenagem eliminam o Na (na condição de ser possível a drenagem). Derrama-se, sobre o solo, gipso ou gesso. O Ca expulsa o Na do complexo sortivo e faz flocular a argila; o Na livre se combina com SO_4^{--} , sal muito solúvel, que é facilmente eliminado pelas águas de percolação, desde que uma estrutura conveniente seja estabelecida.

Pode-se, também, utilizar ácido sulfúrico diluído, se o solo contém calcário.

São métodos muito caros, mas que foram utilizados, em grande escala, na Holanda, depois dos maremotos e das rupturas de aterros feitos no fim da Segunda Guerra Mundial, ou ainda durante o enxugamento dos novos polders.

Em clima mais ou menos árido, o primeiro trabalho é a instalação de uma rede de drenagem, para que seja possível o escoamento das águas do lençol freático, sempre muito carregadas de sais solúveis. Caso contrário, no momento da seca, a evaporação a partir do lençol freático será tão grande, que haverá subida das soluções salinas até a superfície, com aparecimento de eflorescências brancas e pretas (se o solo é húmifero, o húmus é dispersado). Em seguida, rega-se fortemente o solo, para eliminar o sal por drenagem e, também, para facilitar o crescimento das plantas.

É o procedimento usado nos oásis dos desertos. Ele é muito eficaz, na condição de a drenagem funcionar bem e de ser o fornecimento de água nitidamente superior à evaporada pelo solo e pelas plantas.

Se estes requisitos são preenchidos, pode-se mesmo utilizar água um pouco salgada, mas, neste caso, o excesso de água que vai embora por drenagem deve eliminar, ao mesmo tempo, os sais do solo e os que foram trazidos pela água. É, portanto, necessário regar muito, e o método só terá êxito se a drenagem for excelente.

9.4.7. O problema das águas de irrigação

A irrigação é sobretudo utilizada, em grande

escala, nos países áridos e semi-áridos (países de clima mediterrâneo, inclusive). Ora, freqüentemente, nestes países, as águas (lençóis freáticos, rios) contêm um pouco de Na; utilizadas para a irrigação, estas águas depositam o Na no solo, e, com a ajuda da evaporação, podem-se formar concentrações nocivas de sais.

Os autores americanos (Laboratório de Riverside) utilizam dois tipos de medidas:

$$1^{\circ} \text{ SAR} = \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Ca}^2 + \text{Mg}^2}{2}}$$

(Na, Ca e Mg, estando os cátions contidos na água)

O SAR indica em que medida o Na vai se fixar preferencialmente sobre o solo.

2^o A condutibilidade da água por cm² (em micromhos)

Eles distinguem 6 níveis (Fig. 21):

100, 250, 750, 2 250, 5 000, 20 000 micromhos/cm

As águas com condutibilidade superior a 2 250 micromhos/cm não são mais utilizáveis segundo as normas americanas.

Os autores franceses, além do SAR e da condutibilidade, utilizam, na maioria dos casos, para julgar o valor das águas de irrigação, os seguintes tipos de medidas:

1^o A relação Na/Ca

Quando esta relação é superior a 1, há um grave perigo de alcalinização das terras.

Esta relação Na/Ca substitui, freqüentemente, o SAR. Ela dá resultados excelentes com as águas pouco carregadas de Mg (porque, às vezes, o Mg pode desempenhar o mesmo papel que o Na, e não se leva isto em consideração aqui).

2^o A carga das águas em sais solúveis (extraídos secos)

C = GRAU DE CONDUTIBILIDADE
S = ABSORÇÃO DE Na.

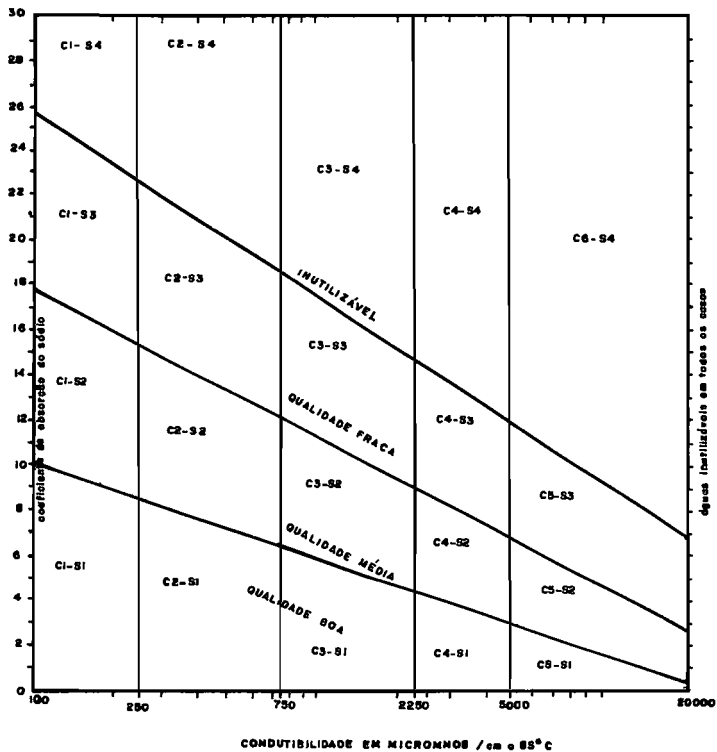


Fig. 20

Diagrama que permite determinar a qualidade das águas em função da condutibilidade e do coeficiente da absorção do Na

Este valor é utilizável numa região determinada, onde são bem conhecidas as proporções relativas dos sais. Assim, no sul da Tunísia, águas com extratos secos de 10 a 12 g por litro estão no limite da utilização (10 a 12 g por litro representam uma carga considerável de sais).

3º Águas de 4 000 a 7 000 micromhos (4 a 7 millimhos/cm)

Estas águas podem ser utilizadas, na condição de ser o solo arenoso e muito permeável, e de não haver lençol freático perto das raízes das plantas. É, portanto, necessária uma drenagem excelente em grande profundidade.

10. OS OLIGO-ELEMENTOS DO SOLO E AS CARÊNCIAS DE OLIGO- ELEMENTOS NAS PLANTAS

Os oligo-elementos, ou elementos-traços (*traces-elements*, em inglês), são corpos que se encontram nos solos, geralmente em pequena quantidade. As plantas os absorvem sõmente em doses muito reduzidas, mas, apesar disto, eles lhes são particularmente indispensáveis. As carências de oligo-elementos são responsáveis por doenças muito graves, provocando safras nulas ou muito fracas e, freqüentemente, a morte da planta.

Inversamente, se a planta absorve quantidade demasiada de oligo-elementos, aparecem toxicidades graves, que têm os mesmos efeitos negativos das carências.

Em meio artificial, constatou-se que o intervalo era muito pequeno entre carência e toxicidade (quer dizer, nível de carência e nível de toxicidade).

No solo, meio sempre mais ou menos tamponado, este intervalo parece muito maior.

10.1. Boro

10.1.1. Principais carências

10.1.1.1. Sob dendê (Costa do Marfim)

As carências de B se produzem desde que o solo contenha menos de 0,2 ou 0,1 ppm de B.

Na Costa do Marfim, os solos onde ocorrem estas carências são ferralíticos arenosos, dessaturados e ácidos.

0 - 30 cm:

argila	12%
silte	8%
areia fina	24%
areia grossa	56%

S = 1,05 m.e./100 g

pH = 5

elementos trocáveis: Ca = 0,58 m.e./100 g

Mg = 0,36 m.e./100 g

K = 0,04 m.e./100 g

10.1.1.2. Sob algodoeiro

Observaram-se carências de B na Costa do Marfim (solos ferralíticos medianamente dessaturados ou pouco dessaturados), no Chade, ao norte da República do Camarão e no Daomé (solos brunos eutróficos, vertisols, solos ferruginosos tropicais).

Não se conhecem os teores críticos do B (no solo) para o algodoeiro.

10.1.1.3. Sob bananeira

Foram assinaladas carências em solos ferralíticos e solos hidromórficos.

10.1.1.4. Sob eucalipto

Em Alta Volta (solos ferruginosos tropicais), constataram-se, também, carências de B.

Nos solos temperados, as carências de B são mais frequentes (beterraba, árvores frutíferas, etc.).

10.1.2. Toxicidade do boro

Os casos de toxicidade do B são muito raros e se produzem quase exclusivamente na vizinhança das usinas que tratam este elemento.

10.1.3. Correção das carências

As carências de B são fáceis de corrigir

por aplicações de borato agrícola sobre o solo: 50 g por árvore sob plantação de dendê (7 a 8 kg/ha), 10 a 30 g por árvore sob plantação de eucaliptos.

10.1.4. Influência do tratamento a cal sobre as carências de boro

Pensa-se que as carências de B da bananeira são provocadas por um tratamento excessivo a cal; com efeito, o brutal aumento do pH, depois de uma aplicação maciça de cal, provoca uma insolubilização do B do solo.

10.1.5. Interação do boro com outros elementos minerais

Uma carência de B foi provocada sob plantação de dendê, na República do Camarão, por adubação potássica.

Pensa-se, neste caso, que há uma verdadeira interação entre o B e o K, que poderia se expressar por uma relação B/K no solo. Mas não se conhecem ainda seus limites.

10.2. Molibdeno

Observaram-se, nos solos sob bananeiras da Costa do Marfim (solos ferralíticos medianamente dessaturados ou fortemente dessaturados e solos hidromórficos turfosos), teores de Mo de 0,01 e 0,06 ppm (Mo extraível com o acetato de amoníaco), aos quais a bananeira parece se adaptar muito bem.

10.2.1. Principal carência

Sendo o Mo um elemento essencial ao rizóbio das leguminosas, sua principal carência foi constatada em solos ferruginosos tropicais muito arenosos do norte do Senegal. O valor do teor-limite do Mo nestes solos não é conhecido (outra carência foi constatada sob plantação de soja, nos solos ácidos do centro dos Estados Unidos).

10.2.2. Toxicidade

Os casos de toxicidade provocada pelo Mo parecem excepcionais.

10.2.3. Correção das carências

No norte do Senegal, mistura-se, atualmente, o Mo com os produtos anticriptogâmicos destinados à desinfecção das sementes. Nos Estados Unidos, acrescentou-se Mo ao solo, para corrigir as carências que aparecem sob plantação de soja.

10.2.4. Influência do tratamento a cal sobre a assimilabilidade do molibdeno do solo

A reação do Mo é inversa à de muitos oligo-elementos; quanto mais aumenta o pH do solo, mais cresce a assimilabilidade do Mo pelas plantas ou pelos rizóbios.

Esta assimilabilidade está, portanto, em relação estreita com o teor de Ca no solo (que condiciona o pH), e pode-se falar de interação positiva entre o Mo e o Ca.

Com efeito, os americanos mostraram que era possível corrigir as carências de Mo da soja, seja, acrescentando o Mo ao solo, seja elevando o pH por aplicações de Ca.

Entretanto, não basta que o pH seja 6 ou mais, para que haja sempre Mo suficiente no solo. É o caso do norte do Senegal, onde os solos são pouco ácidos, mas onde as quantidades de Mo são insuficientes para o rizóbio, que vive, forma as nodosidades, mas não fixa o N.

10.3. Cobre e zinco

Nos solos ferralíticos e nos solos hidromórficos turfosos da Costa do Marfim, onde se localizam os bananais, observaram-se os seguintes teores (segundo Dabin e Leneuf):

	Teores mais freqüentes (ppm)	Teores extremos (ppm)
Cobre	0,2 - 1,5	0,01 - 0,11
Zinco	0,4 - 4	0,2 - 13

Considera-se que os teores mais altos correspondem a um enriquecimento do solo pelas impurezas contidas nos fertilizantes (fosfatos tricálcicos em particular), colocados em grandes quantidades nestes solos.

10.3.1. Carências

As carências de Cu e Zn são raras nos solos tropicais. Entretanto, carências foram observadas sob plantações de bananeira, depois de um tratamento a cal que provocou uma brutal subida do pH.

Na zona mediterrânea, carências de Zn existem sob plantações de laranjeira.

10.3.2. Toxicidade

Os casos de toxicidade do Cu existem somente na vizinhança das usinas que tratam este metal.

Em certos casos, os solos formados sobre jazidas de Cu podem conter doses tóxicas deste metal para certas plantas, mas são casos relativamente raros (Katanga, Zâmbia, talvez Chile).

10.3.3. Correção das carências

Em geral, as pulverizações sobre as folhas (bananeiras, laranjeiras) são mais eficazes do que as aplicações no solo.

10.3.4. Influência dos corretores calcários sobre as carências

Uma elevação brutal do pH por corretores calcários provoca um bloqueio do Cu e do Zn.

Assim, na Guiné, teores de Zn de 8 a 10 ppm são insuficientes para as bananeiras, depois de uma rápida elevação do pH além de 6,5. Ora, estes teores são excepcionais na Costa do Marfim, onde as bananeiras se contentam com 0,4 ppm, sem carência visível, mas para pH incluídos entre 5,5 e 6,3 (e mesmo 6,5, mas depois de uma elevação do pH que se prolongou durante vários anos).

10.3.5. Interação cobre-matéria orgânica

Quando a matéria orgânica se encontra em

grande quantidade nos solos (solos de turfa), é possível que ela consiga insolubilizar o Cu, provavelmente por formação de complexo. É provável que seja o caso de algumas plantações de bananeira da Costa do Marfim.

Na Escócia (clima temperado muito fresco), as plantações florestais feitas sobre solos de turfa sofrem, freqüentemente, carências de Cu.

10.4. Manganês

O Mn é, provavelmente, o oligo-elemento que deu as maiores preocupações aos pesquisadores, menos pelas carências que foram constatadas do que por sua toxicidade a baixos pH.

O problema da análise do Mn no solo é ainda confuso, por causa da multiplicidade dos métodos utilizados (extração com a água carbonatada, com o acetato de amônio em diferentes pH, etc.). Além disso, os agrônomos têm tendência a analisar o Mn contido nos tecidos vegetais, sem se preocuparem com o do solo (somente análise de folha); isto não simplifica a tarefa dos pedólogos, que devem prever o que vai acontecer com as plantas, em função do que se encontra no solo.

Um ponto parece, desde agora, já estar certo: a dinâmica do Mn está estreitamente ligada ao pH do solo; assim, qualquer baixa do pH provoca uma redução do Mn tetravalente, normalmente insolúvel, a Mn divalente, nitidamente mais solúvel.

Assim, nos solos ferralíticos dessaturados argilo-

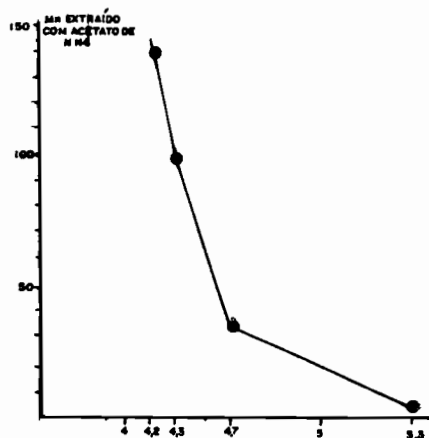


Fig. 21

sos (70% de argila em superfície) do Vale do Niari (Congo Brazavile), foi encontrada a seguinte relação entre o pH do solo e a quantidade de Mn, extraído com o acetato de amônio tamponado ao pH do solo (Franquin):

pH do solo	Mn extraído (ppm)
5,3	6,3
4,7	32
4,3	106
4,3	143

Nos solos ferralíticos fracamente dessaturados da República Centro-Africana (aparentemente menos ricos em Mn que os do Vale do Niari), foi constatado que a acidificação provocada pelos fertilizantes nitrogenados favorece a absorção do Mn pelo cafeeiro (*Coffea canephora*, var. *Robusta*).

10.4.1. Carências

As carências de Mn parecem raras.

Uma delas foi constatada sob coqueiros plantados em solos formados sobre os calcários coralíferos das ilhas do Pacífico, e uma outra sob arrozais inundados do Japão.

Duas outras foram observadas: sob plantações de sisal na República Centro-Africana, e de amendoim no Senegal, mas é possível que elas estejam ligadas a outros elementos, e não ao Mn (S, para o amendoim).

10.4.2. Toxicidade

Os casos de toxicidade devida ao Mn são, por sua vez, relativamente freqüentes (Congo Brazavile, Chade, Costa do Marfim, Uganda, Tanzânia, etc.).

Em geral, estas toxicidades estão associadas a pH baixos.

10.4.2.1. No Congo Brazavile

Aqui estão alguns casos de toxicidade; as cifras de pH e os teores de Mn são os limites abaixo dos quais se manifestam toxicidades graves:

	pH	Mn (ppm)
Amendoim	4,4 - 4,6	± 80 - 100
Algodoeiro *	5 - 5,2	± 10 - 13
Algodoeiro **	5 - 5,1	± 10

* Mn extraído com o acetato de amônio tamponado ao pH do solo.

** Mn extraído com a água carbonatada.

10.4.2.2. Em Uganda

Sobre vertisols com pH de 6,2 a 6,5, foram encontrados teores de Mn de 200 a 400 ppm, teores tóxicos para o milho, as favas e as bananeiras; por outro lado, a árvore do chá, a cana-de-açúcar, a soja e a batata doce são insensíveis (Chenery). Note-se que o método de extração não é indicado pelo autor.

10.4.2.3. Na Costa do Marfim

Foram encontrados teores de 3 a 1 788 ppm de Mn (Mn extraído com o acetato de amônio normal, com pH 7) em plantações de bananeira. Até agora, não foi constatada qualquer toxicidade mangânica; entretanto é verdade que estes solos são sempre mantidos a pH iguais ou superiores a 5,5 (geralmente vizinhos de 6).

10.4.3. Correção das toxicidades e influência dos corretores calcários

Por causa da estreita relação que existe entre toxicidade mangânica e baixos pH do solo, conseguiu-se corrigir as toxicidades, colocando-se fertilizantes calcários (ou calco-magnesianos). Mas é necessário colocar grande quantidade destes corretores, para que seja largamente ultrapassado o pH crítico, o que torna o tratamento bastante caro.

Às vezes, um melhoramento da estrutura pode ser suficiente. Certos vertisols do Chade têm uma estrutura muito ruim: a água da chuva se infiltra muito mal, estagna no solo, gerando condições redutoras, portanto, pH baixos. Um melhoramento da estrutura (por Ca e matérias orgânicas por exem

plo, ou ainda por um produto de síntese como o *Krilium*) proporciona melhor drenagem, meio mais bem ventilado, portanto, condição oxidante, e, finalmente, elevação do pH e desaparecimento das toxicidades.

10.4.4. Interações do manganês com outros elementos minerais do solo

Uma absorção exagerada de Mn perturba o metabolismo da planta.

Em cultura sem solo (cultura em solução hidropônica), um excesso de Mn provoca uma absorção importante de P, N e Mg, e um deficit de K, para o amendoim (Leveque e Beley).

Nos solos, um excesso de Mn provoca carência de Cu e S, e absorção exagerada de K e Ca, para o cafeeiro africano.

Para esta planta, um excesso de Mn pode, também, gerar desequilíbrio da relação Mn/Fe nos tecidos foliares (por deficit de absorção do Fe), provocando uma verdadeira clorose fêrrica: a planta fabrica com dificuldade a clorofila de que necessita, porque não tem mais Fe suficiente (Forestier e Beley).

Para o arroz, uma carência de Mn no solo gera uma absorção tão elevada do Fe pela planta, que o Fe se torna tóxico (Yamasaki, no Japão).

Trata-se, portanto, de um *verdadeiro antagonismo Mn × Fe*.

Por outro lado, segundo alguns trabalhos recentes, a toxicidade do Mn para o amendoim seria provocada essencialmente por uma diminuição excessiva dos teores de Ca no solo; o aumento dos valores da relação Mn/Ca provocaria uma absorção elevada demais de Mn e um grave deficit de Ca dentro do vegetal (Martin).

Trata-se, portanto, de um *antagonismo Mn × Ca*.

As toxicidades devidas ao Mn e ao Al se as-

sociam, freqüentemente, nos solos ácidos; não se sabe bem se se trata de uma *interação positiva Al-Mn*, ou de uma simples coexistência dêstes dois íons, igualmente tóxicos.

As matérias orgânicas, sobretudo quando bem decompostas (estrumo), parecem ter o poder de corrigir as toxicidades mangânicas, quando fornecidas ao solo em grandes quantidades. As experiências não foram continuadas durante tempo suficiente, para que se saiba se existe uma *interação negativa Mn-matérias orgânicas* (Congo Brazavile, solos ferralíticos argilosos dessaturados ácidos do Vale do Niari).

11. O ALUMÍNIO, O FERRO E O SILÍCIO DOS SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM AS PLANTAS CULTIVADAS

Estes três elementos, Al, Fe e Si, não são propriamente oligo-elementos; com efeito, eles se encontram nos solos em quantidades elevadas, e mais especialmente nos solos tropicais (pelo menos o Fe e o Al, porque o Si existe sempre em quantidade elevada, qualquer que seja o solo).

Apesar desta onipresença, a planta absorve relativamente pouco destes elementos. O Fe, entretanto, tem uma importância considerável na fisiologia vegetal, porque é um dos constituintes essenciais da clorofila. Quanto ao Si, que existe em grande quantidade nos vegetais (50% de Si nas cinzas da floresta equatorial do Congo Kinshasa), é conhecido seu papel plástico para os tecidos vegetais (cereais em particular), mas, até agora, nenhum papel realmente ativo no metabolismo vegetal.

Na realidade, com exceção do caso do Fe da clorofila, conhece-se muito mal a importância destes três elementos para o vegetal em geral, e para as plantas cultivadas em particular.

11.1. Alumínio

Os estudos sobre o íon Al^{+++} nos solos são prejudicados pela ausência de método analítico correto, bem adaptado aos solos tropicais e às dosagens em série, como ocorreu em

relação ao P até uma data relativamente recente, e como vem o correndo, até agora, em relação ao S.

A êste respeito, existe uma grande confusão: não se sabe exatamente o que representa o Al chamado *livre*, extraído dos solos tropicais pelos diferentes e muito numerosos métodos químicos utilizados.

11.1.1. Presença do íon alumínio nos solos tropicais

O íon Al^{+++} existe em grande quantidade nos solos:

a) fixado sobre o complexo sortivo a baixo pH;

b) sob forma de gibsita, muito pouco móvel;

c) sob forma de böhemita;

d) nas redes das argilas, sob forma de silicatos de alumina;

e) sob forma de alumina livre, forma misteriosa, não definida, que talvez não exista sob êste aspecto.

Nos climas tropicais úmidos e equatoriais, existe um *desmoronamento* das redes argilosas (Segalen) que atinge mesmo a caolinita, sobretudo quando a rocha-mãe é pobre em quartzo; por isso, pode haver, nos solos, uma liberação considerável de alumina, que fica no local, formando gibsita. Mas não está excluído (e isto parece mesmo comprovado) que, em presença de Si solúvel, êste Al possa gerar caolinita (neo-síntese), pelo menos em determinadas condições.

11.1.2. Toxicidade do íon alumínio para as plantas

11.1.2.1. Sob plantações de arroz

A toxicidade do íon Al^{+++} foi posta em evidência, pela primeira vez, em 1950, por Castagnol, que constatou toxicidades importantes de Al em arrozais inundados do Vietnã, com pH inferiores a 5,15.

O mesmo ocorre em Serra Leoa, em arrozais sobre solos de mangue, com pH inferiores a 5 (trata-se, aqui, de uma toxicidade provocada por Al, Fe e Mn juntos,

segundo Tomlinson).

11.1.2.2. Sob plantações de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, em Uganda, dificilmente agüenta as seguintes doses de Al^{+++} no solo, o que prejudica muito seu crescimento:

pH	ppm
4,5	460
3,9	180
3,6	265

Aqui, a toxicidade alumínica é associada a uma toxicidade mangânica.

11.1.2.3. Sob plantações de árvore do chá

A árvore do chá, em Uganda, é completamente indiferente a estes teores de Al no solo e cresce muito bem. Com efeito, é uma planta que gosta dos baixos pH.

11.1.2.4. Sob plantações de bananeira

Em Madagáscar, uma suposta carência de P em bananeiras, sobre solos hidromórficos turfosos, era, na realidade, uma toxicidade provocada pelo Al; o fornecimento de fosfato tricálcico ao solo a corrige em grande parte, porque, quando se decompõe, este fosfato libera Ca, que substitui o Al sobre o complexo sortivo (o fosfato tricálcico, sal neutro, não pode elevar o pH por este meio; ele o faz lenta e fracamente, mas o íon Al^{+++} é eliminado em grande parte, o que é importante).

11.1.2.5. Sob plantações de amendoim

Pensa-se que as toxicidades mangânicas do amendoim no Vale do Niari (Congo Brazavile) estão, na maioria das vezes, associadas a toxicidades alumínicas.

11.1.3. Interação do alumínio com outros elementos minerais

11.1.3.1. Interação alumínio/ferro/mangânês

As toxicidades aluminicas se associam a toxicidades provocadas pelo Fe e pelo Mn.

Não se sabe se se trata de uma verdadeira interação positiva, ou da coexistência de dois ou três destes íons, também tóxicos a baixo pH ($\text{pH} < 5$).

11.1.3.2. Interações negativas alumínio/fósforo

Elas podem ocorrer:

a) *em cultura sem solo* (cultura sobre solução hidropônica): uma experiência feita sob cultura de amendoim em solução hidropônica mostra que o íon Al^{+++} (traído por sulfato de alumínio) é tóxico em doses elevadas; mas, se esta planta é convenientemente abastecida de elementos minerais e sobretudo de P, não somente o amendoim agüenta muito bem estes teores de Al, que precedentemente eram tóxicos, como estes favorecem seu crescimento (Sag);

b) *nos solos*: foi constatado que, nos solos do Arkansas (USA), se o pH é baixo, a presença de Al e de Fe diminui a assimilabilidade do P; é provável que, na aplicação de fosfatos tricálcicos feita sob bananeiras em Madagascar, a presença de P tenha ajudado a combater a toxicidade devida ao Al; isto faz pensar que existe um *verdadeiro antagonismo* $\text{Al} \times \text{P}$, que, até agora, foi muito mal definido.

11.2. Ferro

Apesar da importância quantitativa deste elemento nos solos tropicais, o papel das diferentes formas do Fe na alimentação das plantas foi raramente estudado com detalhes, nestes solos.

O Fe pode ser encontrado nos solos tropicais:

- a) sobre o complexo sortivo;
- b) sob forma oxidada (Fe trivalente): trióxido de ferro e tetraóxido de ferro;
- c) sob forma reduzida (Fe divalente): óxido de ferro (forma móvel);
- d) sob forma de hidróxidos: bi-hidróxido de ferro e

tri-hidróxido de ferro.

11.2.1. Carências

Estas carências foram sobretudo assinaladas nos solos calcários dos países temperados e mediterrâneos, sob forma de clorose fêrrica devida ao calcário: o solo contém Fe suficiente para satisfazer as necessidades da planta, mas este é imobilizado sob forma de carbonato de ferro inassimilável. As cloroses provocadas pelo calcário atingem sobretudo a parreira, as árvores frutíferas e mesmo o arroz (na Califórnia).

No que diz respeito aos solos tropicais, assinalou-se uma carência de Fe (aliás, associada a uma carência de Mn) sob coqueiro, nas ilhas do Pacífico.

11.2.2. Toxicidade

No Ceilão, sob plantações de arroz (arrozais inundados), atribuiu-se ao Fe divalente, solubilizado a pH incluídos entre 4,3 e 4,9, a doença *bronzeada* do arroz (*Ponnamperuma*).

No sul do Senegal, a drenagem dos mangues provoca importantes diminuições do pH e, em consequência, toxicidades devidas ao Fe e ao Al: nestas condições, o tratamento com a cal dá excelentes resultados sobre o arroz.

Mesmo com pH nitidamente mais elevados (pH 6-7, por exemplo), quando as condições redutoras predominam no solo dos arrozais (solos fortemente argilosos), o Fe reduzido, pouco móvel nestes pH, pode obstruir os tecidos vacuolares das raízes do arroz, determinando uma espécie de anemia (Ceilão, Senegal, Mali).

11.2.3. Ação do ferro sobre as propriedades dos solos

11.2.3.1. Estrutura

O Fe *livre* parece ser um dos principais fatores que condicionam a estrutura dos solos ferralíticos dessaturados, sendo o húmus um outro fator importante. Isto a tal ponto, que foi proposto, para restaurar a estrutura

dêstes solos, quando degradada, utilizarem-se compostos organo-férricos como corretores (Martin). Infelizmente, ainda se precisa encontrar sua composição e comprovar sua rentabilidade.

11.2.3.2. Insolubilização do fósforo

O Fe insolubiliza o P em compostos fosfo-férricos, pouco ou não assimiláveis pelas plantas (Vide capítulo sobre o P).

11.2.4. Interações do ferro com outros elementos

11.2.4.1. Interação ferro/manganes

Vide parágrafo sobre o Mn.

11.2.4.2. Interação ferro/potássio

A presença do Fe na planta condiciona a utilização do K.

11.3. O silício nos solos tropicais

Na realidade, conhece-se pouca coisa sobre o papel do Si no crescimento das plantas; entretanto, ele deve ser considerável.

As cinzas vegetais da floresta densa congolense contém 50% de Si.

Nas 15 t/ha/ano de matérias secas que esta floresta deixa cair sobre o solo, há, aproximadamente, 250 kg de Si, portanto, quantidade maior que a de N (200 kg).

É notório que o Si tem um papel plástico importante para as gramíneas e, mais particularmente, para os cereais. Estudos de pesquisadores japoneses mostram que este papel plástico não é o único e que o fornecimento de Si em solução favorece o crescimento e a formação da espiga do arroz, a assimilação do P, do Mn e do Fe por esta planta, ao mesmo tempo que aumenta sua resistência aos ataques dos cogumelos.

Este Si intervém no ciclo biológico: todos os químicos que trabalharam com os horizontes superficiais dos solos

tropicais constataram quantidades elevadas, às vezes embaraças, de Si solúvel, ou sob forma de gel, nas soluções analisadas.

Entretanto, quando se estuda a forma do Si do solo, verifica-se que ele é encontrado apenas sôb forma de quartzo (Si cristalino) e em combinação com o Al nas argilas. Não parece existir Si solúvel ou em gel, ou sob qualquer outra forma não cristalizada (os solos com alofânios — andosols — constituem exceção).

É verdade que existe sempre, nos solos tropicais, um *desmoronamento* parcial das rêdes argilosas, daí uma liberação permanente de Si (ao mesmo tempo que de Al).

Por outro lado, sabe-se que, sob os climas tropicais úmidos, há uma corrosão intensa do quartzo da rocha-mãe (corrosão mais lenta e mais fraca, mas que existe, também, em clima semi-árido), que gera Si solúvel, ou pseudo-solúvel.

Tôdas as observações feitas parecem confirmar que, num outro caso, este Si liberado é rãpidamente levado para fora do perfil; mas é possível que, na passagem, ele tenha um papel importante para as plantas.

A existência de Si em quantidades importantes na vegetação natural faz surgir a seguinte pergunta: Quando, depois dos desmatamentos, estas massas vegetais são queimadas e o Si existente é pôsto fora do circuito biológico por insolubilização, esta insolubilização poderá ter conseqüências a longo prazo? Na verdade, ainda nada se sabe.

1. Em língua italiana, espanhola e portuguesa

- ANASTÁCIO, M. de Lourdes Amoroso. Fixação de fósforo nos solos brasileiros. *Bol. Técnico*, Rio de Janeiro, 4, 1963. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo.
- ARNAUDI, C. & CRAVERI, R. Funzione microbische nel metabolismo dello zolfo nel terreno. In: SYMPOSIUM AGROCHIMICA, 59. Il zolfo nella agricultura, Palermo-Catane, 16-21 mar. 1964 |s.n.t.|
- BERTONI, I. O plantio e o preparo do solo em contorno e o aumento da produção. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 19, São Paulo, 1966. p. 393-395 |s.n.t.|
- BRAGA, J. M. Comparação entre fosfatos aplicados ao feijoeiro; 1. Trabalho em casa de vegetação. *Revista Ceres*, s.l., 16:88-101, 1969.
- & YAHNER, J. Estudo comparativo de fosfato de Araxá e su perfosfato simples em cultura de milho em um solo de Viçosa, Minas Gerais. *Experientiae*, s.l., 8 (5): 143-163, 1968.
- BREDA, J. et alii. Adubação de batata doce com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia*, s.l., 25: 291-296, 1966.
- CABAL, E. R. Efectos de la aplicación de urea en el suelo y por aspersión foliar en el pasto Bermuda de la costa (Cynodon dactylon). *Acta Agronomica*, s.l., 15: 1-32, 1965.
- CABALÁ-ROSAND, F. P. & FASSBENDER, H. W. Formas del fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Turrialba*, s.l., 20 (4): 433-444, 1970.
- et alii. Deficiências minerais e efeitos da adubação na região cacaueteira da Bahia. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE PESQUISAS EM CACAU, 2ª, Bahia, nov. 1967. p. 436-441 |s.n.t.|
- CADINA-ZEVALLOS, A. Influência da Erythrina glauca sobre alguns fatores edáficos associados com a produção do cacaueteiro. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 19, São Paulo, 12-29 abr. 1966. p. 187-194 |s.n.t.|

- CATANI, R. A. & GLÓRIA, N. A. da. A disponibilidade de fósforo de diversos fosfatos estudada por meio do método de Neubauer. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz*, s.l., 18: 193-204, 1961.
- CORDERO, V. Efecto de rehabilitación de tierras sobre la fertilidad del suelo de la región de Santa Cruz, Bolivia. In: CONGRESO PANAMERICANO DE CONSERVACIÓN DEL SUELO, 1956. p. 115-120 |s.n.t.|
- DÖBEREINER, J. & ALVAHYDO, R. Eliminação da toxidez do manganes pela matéria orgânica em solo Gray hidromórfico. *Pesq. Agrop. Bras.*, s.l., 1: 243-248, 1966.
- FERRARI, E. et alii. Efeito da temperatura do solo na nodulação e no desenvolvimento da soja perene. —, s.l., 2: 461-466, 1967.
- FUZATTO, M. G. & CAVALERI, P. A. Correlação entre a resposta do algodoeiro à adubação fosfatada e a análise química do solo nas condições do Estado de São Paulo. *Bragantia*, s.l., 25: 402-420, 1966.
- & FERRAZ, C. A. M. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e a análise química do solo. —, s.l., 26: 345-352, 1967.
- GIL, A. A. Comparación entre cuatro fertilizantes nitrogenados en maíz, en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronomica*, s.l., 9: 153-167, 1959.
- HENRIQUES, F. M.C. & CARDISO, A. P. S. Estudos sobre a fertilidade dos solos da Ilha de São Tomé. 1. Dinâmica do potássio em três solos em relação com a sua absorção por uma cultura esgotante de aveia (*Lolium multiflorum* L.). *Estudos Agrônomicos*, Lisboa, 10 (3-4): 47-57, 1969.
- KÜPPER, A. et alii. Movimento de íons NO_3^- , NH_4^+ , K^+ e PO_4^{3-} em solos massapê, roxo misturado e arenito. *Bol. Inst. Agro.*, Campinas, 34: 9, 1953.
- LOPES, E. S. et alii. Estudo sobre a influência de nitratos do solo e modo de inoculação das sementes na nodulação em alfafa. *Bragantia*, s.l., 27: 239-249, 1968.
- MALAVOLTA, E. et alii. Estudos sobre a fertilidade dos solos do cerrado. 1. Efeito da calagem na disponibilidade do fósforo (nota prévia). *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz*, s.l., 22: 132-138, 1965.
- MARTINS, A. & DÖBEREINER, J. Sobrevivência de bactérias assimióticas fixadoras de nitrogênio na rizosfera do sorgo. *Pesq. Agrop. Bras.*, s.l., 3: 303-316, 1968.
- MASCARENHAS, H. A. A. et alii. Adubação da soja. 5. Efeitos da inoculação das sementes com rizóbio e da subsequente "petização" com pasta de carbonato de cálcio na ausência e na presença da calagem e da adubação nitrogenada. *Bragantia*, s.l., 26: 143-154, 1967.
- MIYASAKA, S. et alii. Adubação mineral do feijoeiro. 4. Efeitos de NPK, da calagem e de uma mistura de enxofre e micro nutrientes em Tietê e Tatuí. —, s.l., 25: 297-305, 1966.
- et alii. Adubação da soja. 7. Efeito de doses crescen-

- tes de calcário, fósforo e potássio em solo latossólico roxo com vegetação de cerrado desbravado. *Bragantia*, s.l., 27: 279-289, 1968.
- MIYASAKA, S. et alii. Respostas do feijoeiro e aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta, na presença de adubações minerais com P, PK, NP e NPK. —, s.l., 26: 335-344, 1967.
- NEME, N. A. & LOVADINI, L. A. C. Efeitos de adubos fosfatados e calcário na produção de forragem de soja perene em terra de cerrado. —, s.l., 26: 365-371, 1967.
- NORRIS, D. O. et alii. Estudos da eficiência da inoculação em alfafa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 109, 1965 [s.n.t.]
- ROTTINI, O. T. *Urea, biureto e ácido cianico nella fertilizzazione azotata delle colture agrarie*. Piza, Pub. Università de Piza, 1956.
- RUSCHEL, A. P. & DÖBEREINER, J. Fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico em feijão. Influência do revestimento da semente inoculada em solo ácido com toxidez de manganês. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 109, 1965 [s.n.t.]
- SANGUINO SOTO, L. E. Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. *Acta Agronomica*, s. l., 11: 188-203, 1961.
- SARRUGE, J. R. et alii. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. 17. Nota sobre a absorção foliar e radicular do fósforo por plantas jovens de *Coffea arabica* L. Var. *Mundo Novo*. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz*, s.l., 23: 81-84, 1966.
- SUAREZ DE CASTRO, F. & RODRIGUEZ, G. Efectos de algunos abonos verdes sobre el contenido de N y el rendimiento de las cosechas. *Fed. Nac. Caf. Col.*, s.l., 10, 1962.
- TOLEDO JÚNIOR, C. Piza de & NEPTUNE, A. M. Observações preliminares sobre o modo de aplicação do fósforo e a sua absorção pela videira, empregando-se superfosfato radioativo. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz*, s.l., 23: 350-355, 1966.
- VIEIRA, L. S. & BORNIMISTA, E. Categorías de P en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia de Brasil. *Turrialba*, s.l., 18: (3): 242-248, 1968.

2. Em língua inglesa

- ABRUNA, F. & VICENTE-CHANDLER, J. Effect of six sources of nitrogen on yields, soil acidity and leaf composition of coffee. *Journal of Agriculture*, s.l., Puerto Rico University, 47 (1): 41-46, 1963.
- ACQUAYE, D. K. et alii. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.*, s.l., 103 (2): 79-89, 1967.
- AHAZA, L. R. & GAUTMAN, O. P. Response of hybrid maize to

- Zinc fertilization. *Current Science*, Bangalore, 30 (12): 473-474, 1961.
- AHENKORAH, Y. Potassium supplying power of some soils of Ghana Cropped to cacao. *Soil Sci.*, s.l., 109 (2): 127-135, 1970.
- AHMAD, N. Seasonal changes and availability of phosphorus in swamp rice soils of North Trinidad. *Tropical Agriculture*, Trinidad, 44 (1): 21-32, 1967.
- & DAVIS, C. E. Forms of K fertilizers and soil moisture content on potassium status of a Trinidad soil. *Soil Sci.*, s.l., 109 (2): 121-126, 1970.
- AKEHURST, B. C. Flue cured tobacco in Iringa district of Tanganyika (now Tanzania). A general review of the problem and the progress made through industry sponsored research. *East. Africa. Agric. and For. J.*, s.l., 2: 265-388, 1966.
- AMON, B. O. E. The response by crops in a rotation to nitrogen, phosphorus and potassium in the savannah zone of western Nigeria. In: SYMPOSIUM ON THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khartoum, 1965. London, O.A.U.— S.T.R.C. Publ., 98: 339-348, 1965.
- ANDERSON, G. D. The influence of the years under cultivation and ley on the chemical and physical characteristics of some wheat soils in Northern Tanzania. In: —, Khartoum, 1965. London, O.A.U.— S.T.R.C. Publ., 98: 86-95.
- ASHAYE, T. J. Sesquioxide status and particle size distribution in twelve Nigerian soil derived from sandstones. *African Soils*, s.l., 14: 85-95, 1969.
- ASSBENDER, H. W. Phosphorus fixation in tropical soils. *Agric digest*, Bruxelles, 18: 20-28, 1969.
- ATTOE, O. J. Fixation and recovery by oats of potassium applied to soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 13: 112-115, 1948.
- Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions. —, s.l., 11: 145-149, 1946.
- AWAN, A. B. Effect of lime on the availability of P on Zamorano soils. —, s.l., 28 (5): 672-673, 1964.
- AYRES, A. S. & HAGIBARA, H. H. Effects of the anion on the asorption of potassium by some humic and hydro-humic latosols. *Soil Sci.*, s.l., 75: 1-17, 1953.
- BACHE, B. W. Aluminum and iron phosphate studies relating to soils. 2. Reactions between phosphate and hydrous oxides. *J. Soil Sci.*, s.l., 15: 110-116, 1964.
- BAVER, L. D. Summary of Hawaiian contribution to the study of tropical soils. In: COMMITTEE OF TROPICAL SOILS, London, 8-12 June, 1970. 17 p. multigr.
- BEATON, J. D. Sulfur requirements of cereals, tree fruits, vegetables and other crops. *Soil Sci.*, s.l., 101: 267-282, 1966.
- BECKETT, P. H. T. Studies on soil potassium. 1. Confirmation

- of the rates law. 2. The immediate A/I relation of labile potassium on the soil. *J. Soil Sci.*, s.l., 15 (1): 1-23, 1964.
- BIRCH, H. F. Phosphate response, base saturation and silica relationship in acid soils. *J. Agric. Sci.*, s.l., 43: 230-235. 1953.
- The relationship in acid soils between base saturation and phosphorus uptake by grass. —, s.l., 43: 329-333, 1953.
- BLASCO, M. L. & BOHORQUEZ, N. A. Fractionation of P in tropical soils of Colombia. *Agrochimica*, s.l., 12: 173-179, s.d.
- BOSWELL, F. C. & PARK, L. The effect of soil potassium levels on yield, lodging and mineral composition of Corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 21: 301-305, 1957.
- BOSWINKLE, E. Residual effects of phosphorus fertilizers in Kenya. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 29: 136-142, 1961.
- BROWN. Maize growing in Nyassaland (Malawi). 2. Fertilizer requirements. *Exp. Agric.*, s.l., 2: 49-60, 1966.
- BURFORD, J. R. & GREENLAND, D. J. Denitrification under an annual pasture. In: PROCEEDING INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11th, 1970, 1: 458-461.
- BURGOS, C. F. Nitrogen-phosphorus interaction in two dark clay soils from Honduras. *Diss. Abstr.*, s.l., 29(1), 1968. Sect. B.
- BURRIDJE, J. C. et alii. Shade and fertility experiment. Foliar analysis. In: WEST AFRICA COCOA RESEARCH INSTITUTE. *Annual Reports*, 1961-1962. s.l., 1963. 78 p.
- CANNON, R. C. The potash requirements of pineapple plants. *Banana Bull.*, s.l., 18 (8): 5-6, 1954.
- CATE, R. B. & VETTORI, L. *Economic returns from fertilizer use based on soil test information*. s.l., North Carolina State University, 1968. 6 p. (International Soil Testing Series, Preliminary report n° 1).
- CHANG, S. C. & CHU, S. T. The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.*, Oxford, 12 (2): 286-293, 1961.
- & JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, Oxford, 84 (2): 133-134, 1957.
- CHAPIN, J. S. & SMITH, F. W. Germination of wheat at various levels of soil moisture as affected by applications of ammonium-nitrate and muriate of potash. *Soil Sci.*, s.l., 89: 322-327, 1960.
- CHENERY, E. M. Minor elements in Uganda soils. In: CONFERENCE INTER-AFRICAIN DES SOLS, 2^{de}, Leopoldville, 91 (11): 1154-1163, 1954.
- CHINKADA, P. M. Problems of expanding maize production in Nigeria. *African Soils 1968*, s.l., 11 (1-2): 201-212, 1967.
- CHOW, C. Y. Studies of potassium effect on the quality of fruit crops in Taiwan. In: POTASSIUM SYMPOSIUM, 1966. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1966. p. 325-329.

- CORNFORTH, I. S. & DAVIS, J. B. Nitrogen transformation in tropical soils. 1. The mineralization of nitrogen-rich organic materials added to soils. *Tropical Agriculture*, s.l., 45 (3): 211-221, 1968.
- COULTER, J. K. Soils of Malaysia — A review of investigations on their fertility and management. In: COMMITTEE ON TROPICAL SOILS, London, 8-12 June, 1970. s.l., 1970. 54 p. multigr.
- & ROSENQUIST, E. K. Mineral nutrition of the oil palm — A study of the chemical composition of the frond in relation to chloroses and yield. *Malayan Agric. J.*, s.l., 38: 214-236, 1955.
- COURT, M. N. et alii. Toxicity as a cause of the inefficiency of urea as fertilizer. *J. Soil Sci.*, London, 15: 42-65, 1964.
- DAHNEKE, W. C. et alii. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. *Soil Sci.*, s.l., 98: 33-38, 1964.
- DE, P. K. & MANDAL, L. N. Fixation of nitrogen by algae on rice soils. —, s.l., June: 453-458, 1956.
- DESHPADE, T. L. et alii. Charges on iron and aluminum oxides in soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 8th, Bucharest, s.l., 3: 1213-1225, 1964.
- DÖBEREINER, J. Further research on *Azotobacter paspali* and its variety specific occurrence in the rhizosphere of *Paspalum notatum*. *Zentralblatt*, s.l., 1970.
- EDMINISTER, T. W. & MILLER, H. F. Recent developments in agricultural machinery. *Advances in Agronomy*, s.l., 11 (171), 1959.
- EHRENCRON, K. R. Salt tolerance of rice. In: CONGRESS ON AGRICULTURE RESEARCH IN THE GUIANAS. Paramaribo, Surinam, 1963.
- ENWEZOR, W. O. & MOORE, A. W. Phosphorus states of some Nigerian soils. *Soil Sci.*, s.l., 102: 322-328, 1965.
- EVANS, A. C. Soil fertility studies in Tanganyika. *East Africa. Agric. and For. J.*, s.l., 28: 228-230, 1963.
- Soil fertility studies in Tanganyika. —, s.l., 29: 231-239, 1963.
- EVANS, E. J. Role of molybdenum in plant nutrition. *Soil Sci.*, 81 (3): 199-208, 1956.
- EVELYN, S. H. & THORNTON, I. Soil fertility and the response of groundnuts to fertilizers in the Gambia. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 32: 153-160, 1964.
- FORDE, C. M. et alii. The importance of potassium in the nutrition of the oil palm in Nigeria. *Potash Review*, s.l., June-July, 1966. Sect. 27.
- GASSER, J. K. R. Nitrification inhibitors. *Soil and Fertilizers*, s.l., 34: 547-554, 1970.
- GREENLAND, D. J. Denitrification in some tropical soils. *J. Agric. Sci.*, s.l., 58: 233-277, 1962.

- GREENLAND, D. J. Nitrate fluctuations in tropical soils. *J. Agric. Sci.*, s.l., 50: 82-92, 1958.
- Nitrogen gains and losses in tropical soils. In: INTER-
AFRICAN SOILS CONFERENCE, 3rd, Daraba, 1: 531-535, 1959.
- & KOWAL, J. M. L. Nutrient content of the moist tropical
forest. *Plant and Soil*, s.l., 12: 154-174, 1960.
- GREENWOOD, M. Fertilizers trials with groundnuts in Northern
Nigeria. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 19: 225-241, 1951.
- Sulphur deficiency in groundnuts in Northern Nigeria. In:
INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 5th, Leopoldville, 3:
245-251, 1954.
- GUNN, J. S. The responses of wheat, tobacco and pyrethrum to
fertilizers in Southern Highlands of Tanganyika. *East Afric.
Agric. J.*, s.l., 19: 38-39, 1953.
- HAAS, A. R. C. & BRUSCA, J. N. Chloride toxicity in avoca-
dos. *Calif. Agric.*, Berkeley, 9: 12-14, 1955.
- HAGENZIEKER, F. Soil nitrogen studies at Urambo, Tanganyika,
Territory East Africa. *Plant and Soil*, s.l., 9: 97-113, 1957.
- HAGIBARA, H. H. *Master's thesis*. s.l., University of Hawaii,
1952. Thesis.
- HALM, A. T. Soil test correlation studies in Ghana. In: SYMPO-
SIUM ON MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khar-
toum, O.A.U. — S.T.R.C. Publ., 98: 126-130, 1965.
- HAMAMOTO, M. Isobutylidenediurea as a slow acting fertilizer
and studies in this field in Japan. *Proc. Fertil. Soc.*,
s.l., 90, 1966.
- HARDY, G. W. et alii. Liming acid soils increases soybean
yields. *Arkansas Farm Research*. Fayetteville, 13 (1-2),
1963.
- HARDY, R. W. F. et alii. The acetylene-ethylene assay for N_2
fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.*,
s.l., 43: 1185-1207, 1968.
- HAYLOCK, O. F. A method for estimating the availability of
non exchangeable potassium. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF
SOIL SCIENCE, 6th, Paris, 1956 [s.n.t.]
- HENRIKSEN, H. C. Some pineapple problems: fertilizers. *Fed.
Agric. Exp. Sta.*, Puerto Rico, 15, 1925.
- HINGSTON, F. J. et alii. Specific adsorption of anions. *Nature*,
London, 215: 1459-1461, 1967.
- HO, C. T. Report on response of sweet potato to potash in
Taiwan. *Potash Review*, Nov., 1965. Sect. 27.
- HUMBERT, R. P. Potash fertilization in Hawaiian sugar indus-
try. In: POTASSIUM SYMPOSIUM, 1958. Bern, Switzerland, In-
ternational Potash Institute, 1958.
- HUNTER, A. H. & PRATT, P. F. Extraction of potassium from
soils by H_2SO_4 . *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 21: 595-
598, 1958.
- IGUE, K. & GALLO, J. R. Zinc deficiency of corn in S. Paulo.

- Bull. IRI Research Institute*, s.l., 20, 1960.
- INGEBRETSEN, K. et alii. Iron deficiency of rice, crop failures in localized areas within productive fields corrected in test conducted in Glenn and Colusa counties. *Calif. Agric.*, Berkeley, Feb.: 6-8, 1959.
- ISAKOVA, A. & CHKONIA, T. The influence of Cl^- and SO_4^{--} anions on the development, physiological functions and fiber of white Ramie (Boehmeria nivea, Russ.). *Minor Elements*, London: 246, 1939.
- JAIYEBO, E. O. & MOORE, A. W. *Nature*, London, 197 (4864):318, 1963.
- JENNY, H. Causes of the high N and organic matter content of certain tropical forest soils. *Soil Sci.*, s.l., 69: 63-69, 1950.
- JOHANSEN, W. Pineapple culture in Natal. *Union of South Africa Agric. J.*, s.l., 2: 86-92, 1911.
- KAFKAKI, U. et alii. Desorption of phosphate from Kaolinite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 31: 343-348, 1967.
- KASS, D. C. *Sources of N in tropical environment with special reference to the relationship between Paspalum notatum (Flug) and Azotobacter paspali (Dober.)*. s.l., Cornell University, 1970. Thesis Graduate School.
- LARSEN, S. The use of P_{32} in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, s.l., 4: 1-10, 1952.
- LARSON, W. E. Response of sugar beet to potassium fertilization in relation to soil physical on moisture conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 18: 313-317, 1954.
- LE MARE, P. H. Soil fertility studies in three areas of Tanganyika. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 18: 313-317, 1954.
- et alii. Tanzania Western cotton growing area. *Prog. Rep. Exp. Stat. Season 1964-1965*. London, Cotton Research Corporation, 1966.
- LOCSIN, C. L. et alii. Potash fertilization tests on sugar cane in the Victoria Milling District: a review. *J. Soil Sci. Soc. Philippines*, s.l., 7: 139-171, 1955.
- LOTT, W. L. et alii. Sulfur deficiency in coffee. *Bull. IBEC Research Institute*, s.l., 22, 1960.
- MALAVOLTA, E. et alii. Effect of liming on the availability of P in cerrado soils of Brazil. *Proc. 3rd Intern. Peaceful Uses Atom. En.*, Geneva, 15: 507-510, 1961.
- McLUNG, A. C. et alii. Analyses of several soils in relation to plant responses to sulfur. *Soil Sci. Amer. Proc.*, s.l., 23 (3): 221-224, 1959.
- et alii. Cotton fertilization in campo cerrado soils, state of São Paulo, Brazil. *Bull. IBEC Research Institute*, s.l., 27, 1962.
- MIDDELBURG, H. A. Potassium in tropical soils, Indonesian archipelago. In: POTASSIUM SYMPOSIUM, 1955. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1955.

- MOHINDER SINGH, M. & TALIBUDEEN, D. Thermodynamic assesment of nutrient status of rubber growing soils. *J. Rubb. Research Inst. Malaya*, s.l., 21 (2): 240-249, 1969.
- MOORE, A. W. The influence of a legume on soil fertility under a grazed tropical pasture. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 30: 239-248, 1962.
- . Non symbiotic nitrogen fixation in soil and soil-plant systems. *Soils and Fertilizers*, s.l., 29: 113-128, 1966.
- & JAIYEBO, E. O. The influence of rain on nitrate and nitrifiable content of the soil in a tropical rain forest environment. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 31: 189-198, 1963.
- MOSS, P. & COULTER, J. K. The potassium status in West Indies vulcanic soils. *J. Soil Sci.*, s.l., 15: 284-298, 1965.
- NEMETH, K. et alii. The concentration of K in Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg. *Soil Sci.*, s.l., 103 (3): 179-185, 1970.
- NORRIS, D. O. et alii. The response of *Astragalus sinicus* to lime and inoculation. *Pesq. Agrop.*, Brazil, 2: 353-357, 1967.
- NORTHERN NIGERIA, Ministry of Agriculture. *Triennial Report of the Northern Nigeria Ministry of Agriculture*. Zaria, Gas kiya Corporation, 57, 1963.
- NYE, P. H. The level of humus under system of shifting cultivation. In: INTERAFRICAN SOILS CONFERENCE, 3rd, Dalaba, 1: 525-529, 1959.
- . Studies on the fertility of Gold Coast soils. 3. The phosphate status of the soils. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 20: 47-55, 1952.
- . A survey of the value of fertilizers to the food farming areas of the Gold Coast. 2. The granitic soils of the far north. —, s.l., 21: 262-274, 1953.
- & BERTHEUX, M. The distribution of phosphorus in forest and savannah soils of the Gold Coast and its agricultural significance. *J. Agric. Sci.*, s.l., 49: 141-159, 1957.
- & GREENLAND, D. J. The soil under shifting cultivation. *Techn. Comm.*, Harpenden, Bureau of Soils (51), 156 p. 1960.
- OADES, J. M. The nature and distribution of iron compound in soils. *Soils and Fertilizers*, s.l., 26: 69-80, 1963.
- OBI, J. K. The standard D N P K experiments. *Technical Report*, Samaru, Ministry of Agriculture (8), 1959.
- OBIBARA, C. C. H. *Interactions between soluble silica and phosphate in soils*. England, Univ. of Reading, 1969. Ph. D. Thesis.
- OFORI, C. S. Response of groundnuts to phosphate fertilizers in granitic soils of the Upper Region in Ghana. *Agronomie Tropicale*, s.l., 20 (5): 489-494, 1965.
- OKUDA, A. & TAKAHASHI, E. The role of silicium. In: SYMPOSIUM RICE MINERAL NUTRITION, 20-23, Feb. 1964. Manila, Philippines, International Research Institute, 1964.

- OLSON. Work of IAEA (Vienna) and FAO (Roma) related to fertility of tropical soils. In: COMMITTEE ON TROPICAL SOILS, London, 8-12 June, 1970. 12 p. multigr.
- PAGE, J. B. & BAVER, L. D. Ionic size in relation to fixation of cations by colloidal clay. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 4: 140-155, 1940.
- PANDALAI, K. M. & MENON, K. P. V. On the use of potash as a fertilizer with effects on yield, quality and disease resistance in the Coconut Palm. *Indian Coconut J.*, s.l., 10(3), 1957.
- PARKER, M. B. & HARRIS, H.B. Soybean response to molybdenum and lime and the relationship between yield and chemical composition. *Agro. J.*, Madison, 54 (6): 400-403, 1962.
- PEARSON, R. W. et alii. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of Ca and Mg in two humid tropical soils of Puerto Rico. *Soil Sci.*, s.l., 93:77-82, 1962.
- PEAT, J. E. & BROWN, K. J. The yield response of rain-grown cotton at Ukiriguru in the Lake Province of Tanganyika. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 30: 215-231, 1962.
- PIGGOT, C. J. The maintenance of fertility in Sierra Leone soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 6th, Paris, 1956, s.l., 4 (32): 213-216, 1956.
- PINTA, M. *Detection and determination of traces elements*. Jerusalem, s.l., 1966. 588 p. Publ. Israel Program for Scientific translation.
- PIRSON, A. Functional aspects in mineral nutrition of green plants. *Ann. Rev. Pl. Phys.*, s.l., 6: 71-114, 1955.
- PONNAMPERUMA, F.N. *The chemistry of submerged soils in relation to growth and yield of rice*. s.l., Cornell University, 1955. Thesis.
- . Lime as remedy for a physiological disease of rice associated with excess of iron. *Intern. Rice Comm.*, Bangkok, 7 (1), Mar. 1958.
- et alii. The chemistry of submerged soils in relation to the growth of rice. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 6th, Paris, 1956. s.l., Vol. C. p. 503.
- PRATT, P. F. et alii. Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo, Brasil. *Turrialba*, s.l., 19(4): 491-496, 1969.
- RETEMEIER, R.S. The chemistry of soil potassium. *Adv. Agron.*, s.l., 3: 113-159, 1951.
- RICHARDSON, H. L. Development of the FAO fertilizer programme under the freedom from hunger campaign. *Proc. Fertilizer Soc.*, London, 73, 1962.
- ROBINSON, J. B. D. Advisory soil and plant analysis and fertilizers use. 2. Evaluation of soil analysis methods with maize yield data. *East Afric. Agric. and For. J.*, s.l., 34 (1): 140-152, 1968.
- & SEMB, G. Advisory soil and plant analysis and fertilizer use. 1. Comparison of soil analysis methods. —, s.l.,

34 (1): 117-127, 1968.

- SAMUELS, G. & GANDIA-DIAZ, H. Effects of potassium chloride and sulfate on pineapple yields and quality. *J. Agric.*, s.l., Puerto Rico University, 44 (1): 16-20, 1960.
- SCAIFE, M. A. Maize fertilizer experiments in Tanzania. *J. Agric. Sci.*, 70: 209-222, 1968.
- SCHUFFELEN, A. C. & MAREL, H. W. Von Der. Potassium fixation in soils. In: POTASSIUM SYMPOSIUM, 1955. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1955. p. 157-201.
- SIEW KEE, N. G. Potassium status of some Malayan soils. *Malayan Agric. J.*, s.l., 45: 143-161, 1965.
- SMITH, A. N. Aluminum and iron phosphates in soils. *Aust. J. Agric. Sci.*, s.l., 31: 110-126, 1965.
- . Boro deficiency in *Grevillea robusta*. *Nature*, London, 186 (4729): 987, 1960.
- STANFORD, G. & PIERRE, W. H. The relation of K fixation to NH_4 fixation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 11: 155-160, 1946.
- STEWART, M. J. Potassium and sugar-cane. *Revue de la Potasse*, août, 1969. Sect. 27.
- SU, N. D. Recommendation on the nutritional management of pineapples in Taiwan. *Potash Rev.*, Bern, Switzerland, Aug. 1968. Sect. 27, 48.
- SUBRAHMANYAN, R. & SAHAY, M. N. Observations on nitrogen fixation by some blue, green algae and remarks on its potentialities on rice culture. *Proc. Indian Acad. Sci.*, s.l., 60B: 145-154, 1964.
- TAYLOR, A. W. & FRAZIER, E. W. Precipitation of phosphate from ammonium phosphate solutions by iron and aluminum hydroxide. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 28: 49-52, 1965.
- et alii. Potassium and ammonium tarakanites amorphous aluminum, phosphate and variscite as sources of phosphate for plants. —, s.l., 27 (2): 148-151, 1963.
- TEWARI, G. P. Note on a preliminary investigation of the efficiency of two introduced strains of Cowpea rhizobium, in the nodulation of a local cowpea variety at Ibadan, Western Nigeria. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 30: 155-158, 1962.
- TINKER, P. B. Soil analysis and fertilizer response. *Journal of W.A.I.F.O.R.* 52-75, Oct. 1959.
- . Studies on soil potassium. 3. Cation activity ratios in acid nigerian soils. 4. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertilizer in nigerian oil palms. *J. Soil Sci.*, s.l., 15 (1): 24-41, 1964.
- & GUNN, J. S. Fertilizer requirements of the oil palm in Commonwealth West Africa. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF HORTICULTURE, 16, Bruxelles, 1962.
- & SMILDE, K. W. Cation relationship and magnesium deficiency in the oil palm. *West Africa. Inst. J. Oil Palm Research*, 4: 82-100, 1963.

- TOMLINSON, T. E. Charges in sulphide containing mangrove soils on drying and their effect upon the suitability of the soil for the growth of rice. *Emp. J. Exp. Agric.*, Oxford, 25 (98): 108-118, 1957.
- TURNER, P. D. & BULL, R. A. *Disease and disorder of the oil palm in Malaysia*. Kuala Lumpur, Incorp. Soc. Planters, 1967. 247 p.
- TWENEBOAH, C. K. et alii. Changes in charge characteristics of soils after treatment with 0,5 m calcium chloride at pH 1,5. *Aust. J. Soil Res.*, s.l., 5: 247-261, 1967.
- USA. Dept. of Agriculture. Salinity Laboratory of Riverside. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Hand Book*, s.l., 60, 1954.
- VALLANCE, L. G. Recent advances in sugar-cane culture in Queensland. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 13-23 Jan., 1951.
- WALLACE, T. Potassium uptake in relation to soil moisture. In: POTASSIUM SYMPOSIUM, 1958. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1958. p. 141-147.
- WATANABE, A. et alii. Effect on nitrogen fixing blue, green algae on the growth of rice plants. *Nature*, London, 168: 754-759, 1951.
- WATSON, K. A. Fertilizers in Northern Nigeria current utilization and recommendation for their use. *African Soils*, s.l., 9 (1): 5-28, 1964.
- & GOLDWORTHY, P. R. Soil fertility investigation in middle belt of Nigeria. *Emp. J. Exp. Agric.*, s.l., 32: 290-302, 1964.
- WEEB, R. A. A new approach to the study of tropical soils.—, s.l., 3 (3): 379-391, s.d.
- WEIR, C. C. The phosphorus and potassium status of some Trinidad soils. *Trop. Agric.*, Trinidad, 30: 67-72, 1966.
- WELCH, L. F. & SCOTT, A. D. Availability of non exchangeable potassium as affected by added ammonium and potassium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 25: 102-104, 1961.
- WICKLANDER, L. Forms of potassium in the soil. In: POTASSIUM SYMPOSIUM, 1954. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1954. p. 109-121.
- WOODRUFF, J. R. & KAMPRATH, E. J. Phosphorus adsorption maximum measured by the Langmuir isotherm and its relation to P availability. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, s.l., 29: 148-150, 1965.
- YANG, P. S. & PAO, P. T. Studies on the effect of potash on banana. *Potash Rev.*, s.l., 1962. Sect. 27-27.
- YOUNGE, O. R. & PLUCKNETT, D. L. Quenching the high phosphorus fixation of some hawaiian latosols. *Soil Sci. Amer. Proc.*, s.l., 30: 653-655, 1966.

3. Em língua francesa

- ANGLADETTE, A. & CHABROLIN, R. Compte rendu de la 9^e session du groupe de travail sur la production et la protection du riz. *Agronomie Tropicale*, s.l., 17 (1): 84, 1962.
- & MARIE, P. Compte rendu de la 9^e session du groupe de travail des sols, des engrais et des eaux de la Commission Internationale du riz de l'organisation des Etats Unis pour l'alimentation et l'agriculture. Manille, 4-14 Mars 1964. —, s.l., 19 (4): 336-344, 1964.
- ASHRIF, M. I. Effet du calcium sur l'arachide. *Oléagineux*, s.l., 18(2): 680-683, 1963.
- et alii. L'arachide en Gambie. —, s.l., 17 (7): 611, 1962.
- AUBERT, G. Rapport de synthèse du groupe d'étude II — 2. Compte rendu des débats. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1263-1265.
- & MOULINIER, H. Observations sur quelques caractères des sols de cacaoyères en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale*, s.l., 9 (4): 428-438, 1954.
- AUDRY, P. Premiers résultats partiels d'une étude d'évolution comparée des sols au Tchad. Résultats agronomiques relatifs à la campagne de coton 1964 sur les sols rouges faiblement ferrallitiques de Déli. In: SYMPOSIUM ON THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khartoum, 1965. p. 96-112.
- BACHELIER, G. Détermination biologique du pouvoir nutritif d'un sol par développement conditionné des microorganismes et dosage de l'oxygène qu'ils absorbent. *Agronomie Tropicale*, s.l., 15 (5): 524-525, 1960.
- Etude pédologique de la zone du vulcanisme récent au sud-est de N'Gaoundéré. —, s.l., 12 (5): 552-575, 1957.
- Sur le potentiel d'activité biologique de sols ferrallitiques différemment cultivés. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 4: 51-64, 1963. Série pédologie.
- BACHY, A. Principaux résultats acquis par l'IRHO sur la fertilisation du palmier à huile. *Oléagineux*, s.l., 23 (1): 9-14, 1968.
- BAKER, E. F. I. Intervention orale à la 1^{ère} conférence sur le sorgho, le millet et le maïs. Zaria, Northern Nigeria, 3-9 oct. 1965. Projet conjoint OAU/STRC, n° 26. *Sols Africains*, s.l., 11 (1-2): 248, 1966.
- BELAY, J. & CHEZEAU, R. Caractéristiques physiques et chimiques des sols à cacaoyers de Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale*, 9 (4): 439-451, 1954.
- BENAC, R. Etude des besoins en éléments majeurs du caféier Arabica en pays Bamoun, Cameroun. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 9 (1): 3-23, 1965.
- Etude des besoins en éléments majeurs du caféier Arabica en pays Bamoun. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1957. p. 992-1006.

- BENAC, R. Evolution annuelle de l'azote total, nitrique et ammoniacal d'échantillons de sol, de feuilles et de fruits du caféier Arabica. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 13 (2): 116-130, 1969.
- BERGER, J. M. *Interprétation des analyses de sol dans le centre de la Côte d'Ivoire*. s.l., ORSTOM, 1964. 25 p. Inédito.
- . Profils culturaux dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 1: 41-69, 1964. Série pédologie.
- BERLIER, Y. *La nodulation chez les légumineuses de Basse Côte d'Ivoire*. s.l., ORSTOM, 1958. 39 p. Relatório interno inédito.
- et alii. Comparaison physique, chimique et microbiologique entre les sols de forêt et de savane sur les sables terciaires de la Basse Côte d'Ivoire. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 5 (81): 499-502.
- BEZOT, P. Les recherches rizicoles au Tchad. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (1): 70-92, 1966.
- . La zone arachidière au Tchad. Etude d'ensemble, recherche d'un système valable de relation culturale. —, s.l., 20 (1): 31-48, 1965.
- BIROT, Y. L'effet de la carence en bore sur l'eucalyptus. Station de Dinderesso (Bobo-Dioulasso). In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1019-1023.
- BLANCHET, R. Energie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. *Ann. Agr.*, s.l., 1: 5-53, 1958.
- . Energie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. —, s.l., 2: 125-149, 1958.
- . Energie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. —, s.l., 3: 267-307, 1958.
- BLONDEL, D. Importance réelle des pertes par volatilisation de l'ammoniaque en sol sableux (Dior). In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 500-508.
- . Premiers résultats sur la dynamique de l'azote minéral de 2 sols du Sénégal. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 430-499.
- . Relation entre "nanisme jaune" de l'arachide en sol sableux (Dior) et le pH; définition d'un seuil pour l'activité du Rhizobium. *Agronomie Tropicale*, 1970. A ser publicado.
- . Comunicação pessoal. 1970.
- & POULAIN, J. F. Premiers résultats sur la réponse du maïs aux éléments principaux de la fumure minérale en Moyenne Casamance. Proposition de fumure. In: SEMINAIRE SUR L'AGRICULTURE EN AFRIQUE DE L'OUEST, 3^e. Ibadan, 27 avr. - 1^{er} mai 1970. Organisé par la Fondation Ford, IITA et IRAT.

- BOCKELEE-MORVAN, A. Efficacité des diverses formes d'apport des éléments minéraux sur l'arachide. *Oléagineux*, s.l., 21 (3): 163-166, 1966.
- . Etude de la carence potassique de l'arachide au Sénégal. —, s.l., 19 (10): 603-609, 1964.
- . Evolution des rendements de l'arachide et du sorgho sous l'influence des jachères ou de l'engrais vert. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 272-282.
- . Recherches de l'IRHO sur l'utilisation des phosphates du Sénégal en fumure de fond pour l'arachide. *Oléagineux*, s.l., 16 (2): 685-691, 1961.
- . Rentabilité de la fumure minérale sur l'arachide au Sénégal. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 260-271.
- . Résultats des recherches IRHO sur l'arachide en Haute-Volta. In: —, 1968. 2: 283-296.
- BOISSEZON, P. Contribution à l'étude de la microflore de quelques sols typiques du Congo. ORSTOM, 1961. Relatôrio inédito.
- BONFILS, P. & FAURE, J. Etude comparative des sols du CRA de Bambey. *Bull. Agro.*, s.l., 16: 5-24, 1955. Annales CRA Bambey, 1955.
- . Etude des sols du Bao Bolon. *Agronomie Tropicale*, s.l., 16 (2): 127-147, 1961.
- BONNIER, C. Symbiose Rhizobium-légumineuses: aspects particuliers aux régions tropicales. *Ann. Inst. Pasteur*, s.l., 98: 537-556, 1960.
- . Symbiose Rhizobium-légumineuses en région équatoriale. *Pub. INEAC*, s.l., 72, 1957. Série scientifique.
- BONO, M. & MARCHAIS, L. Le point des recherches rizicoles au Mali. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (4): 520-557, 1966.
- BONZON, B. & TALINEAU. Comunicação pessoal. 1970.
- BOQUEL, G. et alii. Recherche de l'influence du climat et de la végétation sur la flore microbienne des pays tropicaux. *Agronomie Tropicale*, s.l., 8 (5): 476-481, 1953.
- . Sur les techniques de mesure du pouvoir ammonificateur des terres. Etude faite sur des terres sous climat tropical. —, s.l., 10 (5): 616-630, 1955.
- BORGET, M. et alii. Quelques résultats des essais d'engrais sur *Coffea robusta* au Centre de Recherches de Boukoko (République Centrafricaine). *Café, Cacao, Thé*, Paris, 7 (1): 22-32, 1963.
- BOUCHARD et alii. Etude pédologique de la plaine de Mahabo (Préfecture de Morondava). *Agronomie Tropicale*, s.l., 19 (3): 227-252, 1964.
- BOUCHY, F. Comunicação pessoal. 1970.
- BOUFFIL, F. & SAUGER, L. Quinze ans d'engrais et d'amendement sur l'arachide. 1964. 86 p. dact.
- et alii. Les terres à arachides du Sénégal. Amélioration

- des rendements par l'utilisation des engrais verts. *Bull. Agro.*, s.l., 6: 37-40, 1950. Annales CRA Bambey, 1950.
- BOUYER, S. Composition et fertilité des terres à arachide en Afrique Occidentale. —, s.l., Ministère France Outre-Mer, 12:68-74, 1954.
- . Compte rendu des débats du groupe II-I. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 461.
- . Compte rendu d'une mission effectuée au Dahomey, 10 février-1^{er} mars 1968. *Agronomie Tropicale*, s.l., 9: 816-826, 1969.
- . Considérations d'ordre pratique sur l'étude de la fertilité des sols tropicaux. —, s.l., 18 (9): 833-838, 1963.
- . Engrais et politique de l'engrais. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 50-60.
- . Etude de l'évolution des sols dans un secteur de modernisation agricole au Sénégal. In: CONFÉRENCE INTERAFRICAINNE DES SOLS, 3^{ème}, Dalaba, nov. 1959 |s.n.t.|
- . L'expérimentation en matière de fertilisation. *Agronomie Tropicale*, s.l., 20 (10): 1025-1028, 1965.
- . L'interaction Azote Phosphore dans les recherches sur la fertilisation des sols tropicaux. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 397-410.
- . Microbiologie des sols à arachide — Vue d'ensemble. *Bull. Agro.*, s.l., 7: 162-166, 1951. Annales CRA Bambey, 1951.
- . Note sur la microbiologie des sols à arachide du Sénégal. In: CONFÉRENCE ARACHIDE-MIL, 5-13 sept. 1954. —, s.l., 12: 64-67, 1954. Annales CRA Bambey, 1954.
- & COLLOT, L. Oligo-éléments et arachide. —, s.l., 7: 77-78, 1951. Annales CRA Bambey, 1951.
- & DABIN, B. Etudes pédologiques du delta central du Niger. *Agronomie Tropicale*, s.l., 18 (12): 1300-1306, 1963.
- & DAMOUR, M. Les formes du phosphore dans quelques types de sols tropicaux. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 8^e, Bucarest, 1964 |s.n.t.|
- et alii. L'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole du Sénégal — Cas de Boulel. Premières observations. *Bull. Agro.*, s.l., 13: 141-154, 1954. Annales CRA Bambey, 1954.
- et alii. Nouvelle orientation des recherches sur l'utilisation des phosphates au Sénégal. —, s.l., 15:92-98, 1955. Annales de Bambey, 1955.
- BOYÉ, P. Nutrition minérale et carence potassique du palmier à huile. In: CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES, 5 nov. 1962. C. 1-3.
- BOYER, J. Influence de la couverture du sol sur le bilan hy-

- drique d'une jeune plantation de caféiers en Côte d'Ivoire. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 8 (1): 22-31, 1964.
- BOYER, J. Nature de la couverture du sol et influence sur le bilan hydrique d'une cocoteraie. *Oléagineux*, s.l., 20 (4): 231-238, 1965.
- . Quelques critères dans le choix d'un sol à sisal en Oubangui-Chari (Afrique Equatoriale Française). In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 4 (51): 347-351.
- & COMBEAU, A. Etude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de la République Centrafricaine. *Sols Africains*, s.l., 5 (1): 6-42, 1960.
- BRAUD, M. La détermination des déficiences minérales dans la nutrition du cotonnier. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 198-210.
- . La détermination des formules d'engrais en culture cotonnière. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 755-767.
- . L'expérimentation sur les formes de phosphate en culture cotonnière. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 862-873.
- . La fertilisation du cotonnier en Afrique Tropicale et à Madagascar. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 22 (2): 246-274, 1966.
- . La fertilisation minérale du cotonnier en République Centrafricaine. —, s.l., 17 (1): 11-22, 1962.
- . Le soufre dans la fertilisation minérale du cotonnier. —, s.l., 19 (3): 357-362, 1964.
- & RICHEL, F. Sur des pulvérisations foliaires d'urée en culture cotonnière. —, s.l., 18 (3): 281-283, 1963.
- et alii. Sur la déficience en bore du cotonnier. Observations préliminaires. —, s.l., 24: 465-467, 1969.
- BRUGIERE, J. M. *Etudes des sols à caféiers du 2^{ème} secteur du Moyen Congo*. Brazzaville, 1956.
- . Le problème de l'humus dans l'utilisation rationnelle des sols de la vallée du Niari en agriculture mécanisée (Moyen Congo). In: CONFÉRENCE INTERAFRICAIN DES SOLS, 2^{ème}, Leopoldville, 1954. 2: 1223-1231.
- BRUNIN, C. Phosphore et cocoteraie adulte. *Oléagineux*, s.l., 23 (5): 307-309, 1962.
- BUSCH, J. Etude sur la nutrition minérale du caféier Robusta dans le Centre et l'Ouest Oubangui. *Agronomie Tropicale*, s.l., 13 (6): 732-760, 1957.
- CALVET, H. Carences minérales. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. s.l., 2: 176-182.
- CASTAGNOL, L. Problèmes des engrais minéraux dans les terres hautes tropicales. *Agronomie Tropicale*, s.l., 3 (4): 184-186, 1950.
- CATHERINET, M. Note sur la culture du macabo et du taro au Cameroun. —, s.l., 20 (8): 717-724, 1965.

- CHABROLIN, P. Les recherches agronomiques confiées à l'IRAT en matière de riziculture tropicale. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (1): 7-18, 1966.
- Utilisation des engrais en rizière à Madagascar. —, s.l., 22 (4): 387-405, 1967.
- CHAMINADE, R. Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation. Mise au point technique. Résultats. —, s.l., 20 (10): 1162-1801, 1965.
- L'élévation du niveau de fertilité des sols tropicaux, condition de l'établissement de systèmes de culture intensifs. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 18-24.
- Recherches sur la fertilité et la fertilisation des sols tropicaux. Principes de bases et techniques. *Agronomie Tropicale*, s.l., 20 (10): 1014-1017, 1965.
- CHAMPION, J. *Le Bananier*. Paris, Maisonneuve et Larose, 1963. 263 p.
- Quelques indications sur les besoins en eau du bananier nain. *Fruits*, s.l., 15 (9): 387-400, 1966.
- & PY, C. Particularités de la fertilisation et de la nutrition minérale pour certaines cultures fruitières tropicales (bananes et ananas) et conséquence sur les méthodes de recherches. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1958. 1: 592-598.
- et alii. Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée Française. *Fruits*, s.l., 13 (9-10): 415-462, 1958.
- CHARPENTIER, J. M. & MARTIN-PREVEL, P. Carences atténuées ou temporaires en éléments majeurs. Carences en oligo-éléments chez le bananier. —, s.l., 20 (10): 551-557, 1965.
- Les carences minérales du bananier. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 286-293.
- CHARREAU, C. Rapport de synthèse du groupe d'étude II-2. Compte rendu des débats. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1263.
- & FAUCK, R. *Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa (Casamance)*. IRAT-ORSTOM, Documento interno. 1969. A ser publicado em *Agronomie Tropicale*, 25 (2), 1970.
- & POULAIN, J. F. La fertilisation des mils et sorghos. In: COLLOQUE CCTA/FAO SUR LES CÉRÉALES DES ZONES DE SAVANE, Dakar, 29 août.-4 sept. 1962. *Agronomie Tropicale*, s.l., 18 (1): 53-64, 1963.
- La fertilisation des mils et sorghos. *Sols Africains*, s.l., 9 (2): 161-175, 1964.
- & VIDAL, P. Facteurs pédologiques influant sur la croissance et la nutrition des doliques. *Agronomie Tropicale*, s.l., 17 (9): 765-775, 1962.
- Influence de l'*Acacia albida* (Del) sur le sol. Nutrition minérale et rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal. —, s.l., 20 (6-7): 600-626, 1965.

CHAUVEL, A. Comunicação pessoal.

— & MONNIER, A. Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie — Examen des problèmes posés par la caractérisation de la structure de certains sols tropicaux. *Académie des Sciences*, 124: 1969-1970, 1967.

CHEVERRY, C. Etude préliminaire des processus d'hydromorphie et d'halomorphie dans les sols des Polders de la région de Bol (rive du Lac Tchad). *Cahiers ORSTOM*, s.l., 4 (3): 63-96, 1966. Série pédologie.

— Note sur la fertilité des sols de Polder de Bol après dix années de mise en culture. —, s.l., 5 (2): 117-135, 1967. Série pédologie.

CHOMBART DE LAUWE. Rapport de synthèse du groupe d'étude II-2. Compte rendu de débats. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive. 19-25 nov. 1967. 2: 1265.

COINTEPAS, J. P. Premiers résultats des mesures d'érosion en Moyenne Casamance (Sénégal). In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 6 (15): 569-576.

COLLOT, L. Deuxième contribution à l'étude des oligo-éléments sur l'arachide. *Bull. Agro.*, s.l., 18, 1952. Annales CRA Bamby, 1952.

— Troisième contribution à l'étude des oligo-éléments sur l'arachide. Inédit.

COLONNA, J. P. Contribution à l'étude du diagnostic foliaire du caféier Excelsa. *Café, Cacao, Thé*, s.l., 7 (4): 264-274, 1964.

— Recherches sur la fertilisation minérale du riz en culture pluviale en République Centrafricaine. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 709-719.

— Le réseau d'expérimentation multilocale de l'IRAT en République Centrafricaine. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 613-623.

— Le riz et sa culture en République Centrafricaine. *Agronomie Tropicale*, s.l., 23 (1): 11-23, 1968.

COMBEAU, A. & QUANTIN, P. Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapport avec les courbes pF humidité. *Science du Sol*, s.l., 1: 5-11, 1963.

— Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 3: 17-26, 1963. Série pédologie.

— et alii. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrallitiques. *Fertilité*, s.l., juil.-août: 27-40, 1961.

COPE, F. & HUNTER, J. G. Interaction de l'azote et du phosphore. Phosphore et agriculture. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (1): 34-46, fév. 1967.

COUEY, M. et alii. Réponse du riz à la fumure dans la région du fleuve Sénégal. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967 [s.n.t.]

- COYAUD, Y. La culture du riz à l'Office du Niger. *Riz et Riziculture*, s.l., 4: 275-284, 1956.
- & LIENART, J. M. La recherche rizicole au Niger. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (1): 56-64, 1966.
- CRETENET, S. La fumure du cotonnier en culture de décrue au Nord Ouest de Madagascar. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1010-1018.
- DABIN, B. Alimentation minérale du riz — Interpretation d'un essai d'engrais réalisé à l'Office du Niger. *Agronomie Tropicale*, s.l., 6 (9-10): 507-513, 1951.
- Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 1: 29-40, 1964. Série pédologie.
- Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. —, s.l., 27-42, 1963. Série pédologie.
- Compte rendu des débats du point I. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. *Agronomie Tropicale*, s.l., 184-190, 1968.
- Considération sur l'interprétation agronomique des analyses des sols en pays tropicaux. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 4 (58): 403-409.
- Contribution à l'étude des sols du delta central Nigérien. *Agronomie Tropicale*, s.l., 6 (12): 606-637, 1951.
- Etude générale des conditions d'utilisation des sols de la cuvette Tchadienne. s.l., ORSTOM, 1969. 199 p. Travaux et documents ORSTOM.
- Etude pour la reconversion des cultures de caféier dans la République de Côte d'Ivoire. In: CÔTE D'IVOIRE. Ministère de l'Agriculture. Publication Bureau pour le développement de la production agricole. *Annexe Pédologie*. s.l., 1-2: 310, 1965.
- Etudes des formes du phosphore dans quelques sols des Antilles. Action sur l'alimentation phosphatée de la canne à sucre. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 1: 5-11, 1964. Série pédologie.
- Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. *Bull. Spécial AFES*, s.l., 108-130, 1961.
- Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. *Coton et Fibres Tropicales*, 1970. A ser publica do.
- Premières notions sur la flore microbienne utile dans les sols du delta central du Niger. *Archives de l'Office du Niger*, s.l., 1, 1953.
- Les problèmes de l'utilisation des sols à l'Office du Niger. In: CONFÉRENCE INTERAFRICAINNE DES SOLS, 2^{ème}. Leopold ville, 1954. 2 (92): 1162-1176.
- Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. *Ann. Agro.*, s.l., 13 (2): 111-

- 140, 1962.
- DABIN, B. Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 99-115.
- La teneur en soufre des sols tropicaux. In: COLLOQUE SUR LE SOUFRE DANS LES SOLS. Paris, dec. 1970. Organisé par l'INRA-AFES. A ser publicado.
- & LENEUF, N. Les sols de bananeraie en Côte d'Ivoire. *Fruits*, s.l., 15 (3): 117-127, 1960.
- DAGG, M. Principaux problèmes à étudier en matière d'exploitation des sols tropicaux. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. t. 1-2.
- DANCETTE, C. & POULAIN, J. F. Influence de l'*Acacia albida* sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures. *Sols Africains*, s.l., 13 (3): 197-239, 1968.
- DELBOSC, G. Etude sur la régénération de la fertilité du sol dans la zone arachidière du Sénégal. *Oléagineux*, s.l., 23 (1): 27-33, 1968.
- DELHUMEAU, M. Notes de pédologie gabonaise. 4. Les sols ferrallitiques jaunes formés sur le socle Granito-gneissique. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 3 (3): 207-221, 1965. Série pédologie.
- DELORME, M. Le cocotier au Dahomey. *Oléagineux*, s.l., 21(1): 1-4, 1966.
- DENARIE, J. L'inoculation des légumineuses à Madagascar. Résultats de l'expérimentation de la campagne 1966-1967. *Agro nomie Tropicale*, s.l., 23 (9): 925-966, 1968.
- Orientation des programmes de recherches de microbiologie des sols de Madagascar. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 2188-2200.
- Résultats expérimentaux obtenus par inoculation des graines de légumineuses à Madagascar. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1615-1626.
- DEUSS, J. Influence du mode d'ouverture de plantation, avec ou sans brulis, sur la fertilité du sol et la productivité des caféiers Robusta en zone forestière Centrafricaine. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 13 (4): 283-288, 1969.
- Protection de la fertilité du sol et modes de couverture utilisés en culture caféière en République Centrafricaine. —, Paris, 11 (4): 312-320, 1967.
- Rentabilité de la fumure du caféier Robusta d'après les résultats de douze années d'expérimentation au centre de recherches agronomiques de Boukoko (République Centrafricaine). In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 812-825.
- DEUXIÈME producteur d'arachides dans le Monde, le Sénégal fait le point. *Oléagineux*, s.l., 20 (5): 283-286, 1965. (Anónimo).
- D'HOORE, J. L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux. *Publication INEAC*, s.l., 62, 1964. Série scientifique.

- D'HOORE, J. Influence de la mise en culture sur l'évolution des sols dans la zone de la forêt dense de basse et moyenne altitude. *Sols Africains*, s.l., 13 (2): 155-168, 1968.
- DJIBRIL, A. W. La riziculture dans le delta central Nigérien en République du Mali — Office du Niger. In: COLLOQUE CCTA SUR LE RIZ EN AFRIQUE TROPICALE, Conakry, 16-22 Juin 1963.
- DOBELMANN, J. P. & FALAISE, M. *La culture du riz dans le Nord Ouest de Madagascar* |s.n.t.|
- DOMMERGUES, Y. Action d'amendements calciques et de phosphate sur l'activité biologique de deux sols du Sénégal. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 3 (64): 381-387, 1956.
- L'analyse microbiologique des sols tropicaux acides. *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar*, s.l., 4(2): 169-181, 1952. Série D.
- A propos de l'*Azotobacter indicum*. —, s.l., 5: 353-356, 1953. Série D.
- Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. *Ann. Agro.*, s.l., 13 (4): 265-324, 1962.
- Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. —, s.l., 13 (5): 379-569, 1962.
- Un exemple d'utilisation des techniques biologiques dans la caractérisation des types pédologiques. *Agronomie Tropicale*, s.l., 15 (1): 60-72, 1960.
- Influence du rayonnement infra-rouge et du rayonnement solaire sur la teneur en azote minéral et sur quelques caractéristiques biologiques des sols. —, s.l., 15(4): 377-389, 1960.
- Influence de l'engrais vert sur les microorganismes du sol. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 3 (65): 389-392, 1956.
- Minéralisation de l'azote aux faibles humidités. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7th, Madison, Wisc. USA, 1960. 3: 672-678, 1960.
- Note précisant la biologie de l'*Azotobacter indicum* ainsi que sa répartition à Madagascar. *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar*, 5: 327-335, 1953. Série D.
- Nouvelles possibilités d'étude et d'amélioration de la fertilité des sols tropicaux offertes par les techniques biologiques. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1627-1635.
- DROUINEAU, G. et alii. De l'influence du carbonate de calcium sur la nutrition potassique des végétaux. *Compte rendu Séances. Acad. Sciences*, 31 mar. 1950. 230: 1966, 1950.
- DUCHAUFOUR, P. *Précis de Pédologie*. Paris, Masson, 1965. 481 p.
- DUGAIN, F. Les analyses de sol et le "Bleu" du bananier. In:

- REUNION INTERNATIONALE BANON FAO ET CCTA, 1^{ère}, Abidjan, 1960.
- DUGAIN, F. Etude sur la fertilité des sols de la plaine bananière du Cameroun. *Fruits*, s.l., 15 (4): 153-170, 1960.
- . Le sulfate d'ammoniac dans le sol en culture bananière de bas fonds. —, s.l., 14 (4): 163-169, 1959.
- DUMONT, C. Les recherches rizicoles en Haute-Volta. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (4): 520-557, 1966.
- DUPONT DE DINECHIN, B. La fumure potassique des cultures vivrières en Haute-Volta. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 669-679.
- . Observations sur l'intérêt des phosphates naturels pour la fumure des céréales en Haute-Volta. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 657-668.
- . Observations sur la priorité à accorder en vulgarisation à la fumure des céréales de culture sèche en Haute-Volta. —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1100.
- . Résultats relatifs au metaphosphate de potasse. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 858-861.
- FAUCK, R. Etude pédologique de la région de Sédhiou, Moyenne Casamance. *Agronomie Tropicale*, s.l., 10 (6): 752-793, 1955.
- . L'évolution du sol sous culture mécanisée. Le problème du pH et sa correction. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 4 (55): 379-382.
- . Prospection, cartographie pédologique et mise en valeur. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 33-40.
- . Le riz de culture sèche et l'évolution des sols. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 12: 549-553, 1956.
- et alii, Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après 15 années de culture continue. *Agronomie Tropicale*, s.l., 3: 263-301, 1969.
- FAUCONNIER, R. Aperçu sur quelques problèmes posés à la production de cannes à sucre dans la vallée du fleuve Sénégal et méthode expérimentale proposés. —, s.l., 17 (7-8): 472-491, 1962.
- FAURE, J. & GINOUVES, J. Note sur une méthode de détermination rapide des besoins en potasse de l'arachide par l'analyse des sols. *Bull. Agro.*, s.l., 15: 88-91, 1955.
- FORESTIER, J. Aspects nouveaux de l'emploi des engrais sur *Coffea robusta* au Centre de Recherches de Boukoko (République Centrafricaine). *Café, Cacao, Thé*, Paris, 10 (2): 126-132, 1966.
- . Fertilité des sols de caféières en République Centrafricaine. *Agronomie Tropicale*, s.l., 19 (3): 306-348, 1959.
- . Fertilité des sols de caféières en République Centrafricaine. 3. Etude des sols des caféières de la Lobaye. —, s.l., 15 (1): 9-37, 1960.
- . Relations entre l'alimentation du *Coffea robusta* et les

- caractéristiques analytiques des sols. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 8 (2): 89-112, 1964.
- FORESTIER, J. & BELEY, J. Teneurs en soufre et en oligo-éléments des feuilles du caféier Robusta en Lobaye. —, Paris, 10: 17-27, 1966.
- . Variabilité de la nutrition minérale et de la production des clones de caféiers Robusta. —, Paris, 13 (4): 290-295, 1969.
- FRANQUIN, P. L'estimation du manganèse du sol en rapport avec le phénomène de toxicité. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 13 (3): 1-16, 1958.
- & MARTIN, G. Bilan d'eau et conservation du sol au Niari, République du Congo. —, s.l., 17 (3): 345-356, 1962.
- FREMOND, Y. Contribution de l'IRHO à l'étude de la nutrition minérale du cocotier. *Oléagineux*, s.l., 20 (2): 85-95, 1965.
- & BRUNIN, C. Cocotier et couverture du sol. —, s.l., 21 (6): 361-364, 1966.
- & LAMOTHE, M. N. Nutrition minérale du cocotier. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 480-492.
- & VILLEMAIN, G. Fumure minérale sur cocoteraie âgée en Côte d'Ivoire. *Oléagineux*, s.l., 19 (6): 403-409, 1964.
- FRITZ, J. Essai de fertilisation azotée sur Chloris Gayana aux Colimaçons. Ile de la Réunion. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1035-1045.
- GADET, R. Minéralisation de l'azote dans quelques sols tropicaux. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967: 505-509.
- & SOUBIES, L. Les mouvements de l'azote minéral dans les sols et leurs conséquences pour la production agricole. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967: 509-512.
- GASTUCHE, M. C. et alii. La cinétique des réactions hétérogènes. Attaque du réseau silico-aluminique des kaolinites par l'acide chlorhydrique. *Bull. Soc. Chim. Fr.*, s.l., 1: 60-70, 1960.
- GAUDEFROY-DEMONBYNES, P. & CHARREAU, C. Possibilité de conservation de l'humidité dans les sols pendant la saison sèche. Influence corrélatrice sur le degré d'ameublissement du sol. *Agronomie Tropicale*, s.l., 16 (3): 233-254, 1961.
- GAUTREAU, J. Influence du régime des eaux sur l'efficacité des engrais dans la culture de l'arachide au Sénégal. *Oléagineux*, s.l., 21 (4): 217-227, 1966.
- GILLIER, P. L'arachide et la fumure organique. —, s.l., 22 (2): 89-93, 1967.
- . Les coques d'arachides. Leur utilisation en agriculture. —, s.l., 19 (7): 473-555, 1964.
- . Fumures minérales de l'arachide au Sénégal. —, s.l., 15 (2): 783-791, 1960.
- . La reconstitution et le maintien de la fertilité des sols du Sénégal et le problème des jachères. —, s.l., 15

(8-9): 637-643, 1960.

GILLIER, P. La reconstitution et le maintien de la fertilité des sols du Sénégal et le problème des jachères. *Oléagineux*, s.l., 15 (10): 699-704, 1960.

GOARIN, P. & SAINT AMAND, R. Didier de. *Influence des herbicides sur la vie microbienne d'une rizière*. s.l., s. ed., 1967.

GODEFROY, J. Action des plantes améliorantes en culture d'ananas. 3. Bilan pédologique. *Fruits*, s.l., 24 (7-8): 380-386, 1969.

— L'amendement des sols de bananeraies en Côte d'Ivoire. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1007-1009.

— Le développement des racines de bananier dans divers sols: relation avec la fertilité. *Fruits*, s.l., 24 (2): 101-104, 1969.

— *Relations entre la fertilité du bananier et les caractéristiques structurales dans les sols de la station d'Ivohy — Madagascar* |s.n.t.|

— & LOSSOIS, P. Variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques d'un sol volcanique au Cameroun. *Fruits*, s.l., 21 (10): 535-545, 1966.

— et alii. Action de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques et structurales d'un sol de bananeraie. —, s.l., 24 (1): 21-42, 1969.

— et alii. Evolution des caractéristiques chimiques et structurales d'un sol volcanique sous culture bananière. —, s.l., 24 (5): 257-271, 1969.

GROULEZ, J. Essais agronomiques d'engrais sur diverses espèces d'eucalyptus à Pointe Noire. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1203-1208.

— Note sur un essai de fertilisation sur eucalyptus à Pointe Noire. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1209-1219.

GUILLAUME, M. Aperçu sur les possibilités de développement de la production de sucre au Mali. *Agronomie Tropicale*, s.l., 17 (7-8): 498-503, 1962.

— Possibilités techniques et économiques de la production de sucre en Côte d'Ivoire. —, s.l., 17 (7-8): 504-530, 1962.

GUILLEMOT, J. Les variations de l'azote minéral dans le sol et la morphologie des bananes. *Fruits*, s.l., 20 (9): 483-504, 1965.

HADDAD, G. Résultats expérimentaux sur l'alimentation hydrique du riz pluvial à Séfa, Casamance, Sénégal. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1586.

HAUCK, F. W. Travaux d'expérimentation en vue de l'établissement des recommandations sur les engrais en Afrique Occi-

- dentale. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1:1220-1235.
- HERVIEU, J. & NALOVIC, L. Dosage des éléments cobalt, nickel, cuivre et zinc et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 3 (3): 237-267, 1965. Série pédologie.
- HILGER, F. Comportement des bactéries fixatrices d'azote du genre *Beijerinckia* à l'égard du pH et du calcium. *Ann.Inst. Pasteur*, s.l., 166 (2): 279-291, 1964.
- HOMES, M. V. Les interactions du soufre dans le sol et dans la plante. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL AGROCHIMICA, 5^e. Le soufre en agriculture. Palerme-Catane, 16-21 mar. 1964 [s.n.t.]
- I.R.A.T. Les céréales en Afrique. Situation actuelle et perspectives de développement économique. *Agronomie Tropicale*, s.l., 23 (8): 878-910, 1968.
- & I.R.A.M. Recherche rizicole à Madagascar. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 171-174.
- I.R.C.T. Activité de l'I.R.C.T. en 1967-1968. Station centrale de Bambari. Nature des engrais phosphatés. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 24 (1): 35-36, 1969.
- Contribution des stations de Kogoni et N'Tarla-M'Pesoba à la recherche d'une agriculture intensive. Bilan de cinq années d'activité, 1962-1966. —, s.l., 22 (4): 455-462, 1967.
- I.R.H.O. DEPARTEMENT PALMIER. Les symptômes de carence en azote chez le palmier à huile. *Oléagineux*, s.l., 23(1):648, 1968.
- Les symptômes de carence en potasse chez le palmier à huile. —, s.l., 23 (12): 713-714, 1968.
- JACQUEMIN, H. & BERLIER, Y. Evolution du pouvoir nitrifiant d'un sol de Basse Côte d'Ivoire sous l'action du climat et de la végétation. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 3 (58): 343-347.
- JACQUINOT, L. Contribution à l'étude de la nutrition minérale du sorgho Congossane (*Sorghum vulgare*, var. Guineense). *Agronomie Tropicale*, s.l., 19 (8-9): 669-722, 1964.
- Croissance et alimentation minérale comparées de quatre variétés de niébe. *Vigna unguiculata*. —, s.l., 22(6-7): 575-640, 1967.
- Fixation des phosphates par les sols de culture de céréale dans la région de Kaédi. Etude au moyen de 32P. —, s.l., 20 (6-7): 593-599, 1965.
- & NICOU, R. La nutrition minérale du sorgho en différentes conditions de fertilité, contrôle par diagnostic foliaire. In: SYMPOSIUM ON THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khartoum, 1965: 494-506.
- JARRET, H. O. Pédologie, amélioration des sols facteur de développement économique de l'agriculture en Afrique Tropicale. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 25-31.

- JAUBERT, P. Deuxième étude sur la symbiose bactérienne des légumineuses du Sénégal, Casamance comprise. *Bull. Agro.*, s.l., 8: 155-161, 1952. *Annales CRA Bambe*, 1952.
- Symbiose bactérienne de l'arachide au Sénégal. In: COMPTE RENDU DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MICROBIOLOGIE, 6^e, Rome, 5-13 sept., 1953. *Agronomie Tropicale*, s.l., 8 (5):509, 1953.
- JENNY, Y. Y. Sols et problèmes de fertilité en Haute-Volta. —, s.l., 20 (2): 220-247, 1965.
- JULIA, H. Observations concernant l'incidence de la couverture du sol sur le maintien de la fertilité des terres cultivées dans la vallée du Niari. *Oléagineux*, s.l., 8 (7):489-492, 1953.
- La station de Sibiti. —, s.l., 17 (4): 356-360, 1962.
- JURION, F. & HENRY, J. *De l'agriculture itinérante à l'agriculture intensifiée*. Bruxelles, I.N.E.A.C., 1967. 498 p.
- KAUFFMANN, J. *Contribution à l'étude physiologique de quelques germes oligonitrophiles du sol*. s.l., Librairie Générale de l'Enseignement Editeur, 1951.
- et alii. Sur le pouvoir fixateur de l'azote atmosphérique des régions tropicales. *Ann. Inst. Pasteur*, s.l., 83 (5): 713-718, 1952.
- et alii. Sur le rapport entre le pouvoir cellulolytique fixateur de l'azote atmosphérique ammonificateur et nitrificateur des terres. Essais d'application à la classification biologique des sols. *Agronomie Tropicale*, s.l., 11(1): 93-102, 1956.
- KILIAN, J. Comunicação pessoal. 1970.
- Etude pédologique des Baibos de la Bemarivo. *Agronomie Tropicale*, s.l., 19 (2): 998-1017, 1964.
- Etude des sols tourbeux et semi-tourbeux utilisés en culture bananière dans la région de Tamatave. *Fruits*, s.l., 25 (1): 35-45, 1970.
- KLAVER, H. Evapotranspiration et économie de l'eau des cultures. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 22 (2):275-295, 1967.
- LACHOVER, D. La réponse de l'arachide de bouche en culture irriguée à l'apport de produits calciques. *Oléagineux*, s.l., 21 (2): 83-89, 1966.
- & ARNON, J. Apparition de la rouille du cotonnier sur certains sols d'Israël souffrant d'une carence en potassium et méthode de diagnostics. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 19 (2): 279-292, 1964.
- Influence sur l'arachide du manque de potassium de certains sols. Détermination de la déficience. *Oléagineux*, s.l., 19 (1): 11-17, 1964.
- et alii. Influence d'engrais verts et d'engrais azotés sur le rendement et la qualité des arachides. —, s.l., 18 (3): 153-156, 1963.
- LAMOUREUX, M. Etude de la fertilité et de l'utilisation des

- sols ferrugineux tropicaux du Moyen-Togo. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 4(61):423-426.
- LATHAM, M. *Contribution à l'étude du facteur sol sur le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire*. ORSTOM, 1969. 62p. Relatário interno inédito.
- LAUDELOUT, H. Etude sur l'apport d'éléments minéraux résultant de l'incinération d'une jachère forestière. In: CONFÉRENCE INTERAFRICAINNE DES SOLS, 2^{ème}, Leopoldville, 1954. 1: 383-388.
- & MEYER, J. Les cycles minéraux et de matière organique en forêt équatoriale congolaise. In: CONGRÈS INTERAFRICAINNE DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Leopoldville, 1954. 2(67):267-272.
- LE BUANE. Comunicação pessoal. 1970.
- LENEUF, N. *L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés*. s.l., ORSTOM, 1959. 210 p.
- LEVEQUE, L. A. & BELEY, J. Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'arachide (*Arachis hypogaea*). Effets des toxicités borique et manganique. *Agronomie Tropicale*, s.l., 14 (6): 657, 1959.
- LIENART, J. M. & NABOS, J. Les recherches sur la fertilisation de l'arachide et l'amélioration foncière des sols au Niger. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1046-1057.
- LOUE, A. Communication sur la fertilisation du maïs. 3. Pratique de la fumure minérale de base. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1154-1163.
- . Etude des carences et déficiences en potassium, calcium et magnésium chez le caféier Robusta. *Bull. IFCC*, Paris, 4: 48, 1962.
- . Etude des carences et des déficiences minérales sur le cacaoyer. —, Paris, 1 avr. 1961.
- . La nutrition minérale du caféier en Côte d'Ivoire. *Bulletin du Centre de Recherches de Bingerville*, 1957.
- . Nouvelles observations sur les oligo-éléments dans la nutrition minérale du caféier (*Coffea canephora* Pierre). *Café, Cacao, Thé*, Paris, 4 (3): 133-149, 1960.
- MAIGNIEN, R. Sols à bananiers de la région de Kindia. *Agronomie Tropicale*, s.l., 10 (1): 60-78, 1955.
- MAISTRE, J. Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'arachide (*Arachis hypogaea*). La carence borique et ses effets. —, s.l., 11 (3): 310-360, 1956.
- MARQUETTE, J. L'arachide de bouche en Israël. —, s.l., 21 (10): 1148-1154, 1966.
- MARTIN, D. Les sols hydromorphes à pseudo-gley lithomorphes du Nord Cameroun (2^{ème} partie). *Cahiers ORSTOM*, s.l., 7 (3): 311-343, 1969. Série pédologie.

- MARTIN, D. & SIEFFERMANN, G. Le département du Mungo (Ouest Cameroun). Etude des sols et leur utilisation. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 4 (1): 27-49, 1966. Série pédologie.
- . Les sols rouges du Nord Cameroun. —, s.l., 4 (3): 3, 1966. Série pédologie.
- MARTIN, G. La décalcification des terres au Niari. Action des amendements calcaires. *Oléagineux*, s.l., 14: 213-220, 1959.
- . Dégénération de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 2: 8-14, 1963. Série pédologie.
- . *Essai d'appréciation des parties en calcium et magnésium après un apport d'amendement calcaire dans les sols de la vallée du Niari*. s.l., ORSTOM, 1961. Relatário inédito.
- . Les études agropédologiques du Centre ORSTOM de Brazzaville. L'évolution des sols sous culture. In: Ministère de la coopération, éd. *Quinze ans de travaux et de recherches dans le Pays du Niari 1949-1964*. Paris, 1964. Partie 3, cap. 2, p. 131-138.
- . Quelques symptômes de carences en bore chez le palmier à huile. *Oléagineux*, s.l., 24 (2): 613-614, 1969.
- & FOURRIER, P. Les oligo-éléments dans la culture de l'arachide du Nord du Sénégal. —, s.l., 20 (5): 287-291, 1965.
- & IRHO. La fumure de l'arachide dans le monde. —, s.l., 19 (3): 161-167, 1964.
- & PELLOUX, P. Comunicação pessoal. 1970.
- MARTIN-PREVEL, P. *Le bilan minéral: bases d'interprétation du diagnostic foliaire*. Paris, IFAC Journées d'étude sur la nutrition minérale des plantes fruitières tropicales et subtropicales, 1963. p. 67-85.
- . Carences en potassium sur ananas en Guinée. *Fruits*, s.l., 14 (7): 285-289, 1959.
- . Conception des études agrophysiologiques de nutrition minérale à l'IFAC. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 260-267.
- . Un essai sur variations systématiques sur bananier. *Fruits*, s.l., 24 (4): 193-215, 1969.
- . Influence de doses massives d'engrais sur la composition minérale du régime de bananes. —, s.l., 21 (4): 175-185, 1966.
- . Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée. 2. Influence sur le rendement commercialisable. —, s.l., 16 (3): 113-123, 1961.
- MARTINE, P. Recherche d'un assolement à Richard Toll. Rapport du casier expérimental de Richard Toll. *Agronomie Tropicale*, s.l., 22 (10): 934-936, 1967.
- & BOUYER, S. La fumure des rizières à Richard Toll. —, s.l., 6 (7-8): 370-383, 1951.
- MAUBOUSSIN, J. C. Problèmes agronomiques posés par la culture de l'arachide en zone de savane. Résultats acquis, recher-

- ches en cours, objectifs. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 237-252.
- MAYMARD, J. Comunicação pessoal. 1970.
- . *Etude expérimentale des facteurs naturels influant sur les cultures de décrue*. Essai de Guedé 1956-1957. ORSTOM, 1957. Relat6rio in6dito. Fasc. A.
- . *Rapport annuel Richard Toll*. s.l., IRAT, 1969.
- . *R6gion du Sud-est. Etude socio-6conomique et agriculture*. s.l., Minist6re du Plan C6te d'Ivoire, 1967.
- & COMBEAU, A. Effet r6siduel de la submersion sur la structure du sol. *Sols Africains*, s.l., 5 (2): 123-140, 1960.
- MEGIE, G. Facteur structure et comportement du cotonnier sur les argiles r6centes du Logone au casier au Nord-Bongor. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 25 (3): 383-387, 1960.
- . R6le du pH dans l'effet toxique de l'azote ammoniacal sur le cotonnier. —, s.l., 21 (2): 204-208, 1966.
- et alii. Note sur l'action des fumures sur les rendements en culture continue coton-sorgho. In: COLLOQUE SUR LA FERTILIT6 DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1095-1099.
- MERIAUX, S. Stabilit6 structurale et composition des sols. *C.R. Acad. Agri.*, s.l., 16: 799-803, nov. 1958.
- MEYER, J. A. Fluctuations de l'azote min6ral dans les sols sous cultures vivri6res. In: CONF6RENCE INTERAFRICAINNE DES SOLS, 36me. Dalaba, 1959.
- MIGUET. Rapport de synth6se du groupe d'6tude. 2. Compte rendu des d6bats. In: COLLOQUE SUR LA FERTILIT6 DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1264.
- MOITY, M. La carence en cuivre des tourbi6res du Niekv, C6te d'Ivoire. *Fruits*, s.l., 16 (8): 399-401, 1961.
- . La carence en zinc sur bananier. —, s.l., 9 (8): 354, 1954.
- MONTAGUT, G. Evolution des engrais azot6s dans le sol. R6sultats d'un essai sur sol nu en Martinique. —, s.l., 18 (3): 141-144, 1963.
- & MARTIN-PREVEL, P. Besoins en engrais des bananeraies antillaises. —, s.l., 20 (3): 265-273, 1965.
- MOULINIER. Contribution 6 l'6tude agronomique des sols de Bas e C6te d'Ivoire. *Bull. Inst. Fran7ais du Caf6 et du Cacao*, s.l., 3, mar. 1962.
- MOUREAUX, C. L'activit6 microbiologique et ses variations dans l'ann6e en divers sols des hauts plateaux malgaches. *M6moires Inst. Sci. de Madagascar*, s.l., 9: 121-199, 1954. S6rie D.
- . Glycolyse et activit6 microbiologique globale en divers sols Ouest-Africains. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 3 (1): 43-78, 1965. S6rie p6dologie.
- . Influence de la temp6rature et de l'humidit6 sur les activit6s biologiques de quelques sols Ouest-Africains. —, s.l., 5 (4): 393-420, 1967. S6rie p6dologie.

- MOUREAUX, C. Les tests biochimiques de l'activité de quelques sols margachés. *Mémoires IRSM*, s.l.: 225-241, 1957. Série D.
- & FAUCK, R. Influence d'un excès d'humidité temporaire sur quelques sols de l'Ouest-Africain. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 5 (1): 103-113, 1967. Série pédologie.
- NABOS, J. Etat actuel des recherches d'amélioration variétale et de technique culturale sur le mil et le sorgho au Niger. *Sols Africains*, s.l., 11 (1-2): 347-363, 1966.
- NGO-CHAN-BANG. Etude de l'azote minéralisable dans les sols de rizières. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 86-98.
- . Méthode et appareil pour l'étude dynamique de la structure des sols. Application à divers cas agronomiques de Madagascar. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 51-68.
- . Proposition de nouveaux indices pour caractériser la structure d'un sol. Application à quelques cas agronomiques. *Agronomie Tropicale*, s.l., 23 (12): 1309-1327, 1968.
- NICOU, R. Note sur l'intensification de l'agriculture tropicale sèche. In: SYMPOSIUM ON THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khartoum, 1965. p. 232-237.
- & POULAIN, J. F. La fumure minérale du Niébé au Sénégal. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 731-754.
- NOURISSAT, P. Problèmes posés par l'implantation des prairies temporaires au Sénégal. Premiers résultats. *Agronomie Tropicale*, s.l., 20 (5): 495-511, 1965.
- OCHS, R. L'aménagement des sols et des eaux pour la culture du palmier à huile. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 2: 41-49, 1968.
- . Contribution à l'étude de la fumure potassique du palmier à huile. *Oléagineux*, s.l., 20 (6): 321-365, 1965.
- . Contribution à l'étude de la fumure potassique du palmier à huile. —, s.l., 20 (8-9): 497-501, 1965.
- . Principaux problèmes de la nutrition du palmier à huile. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 2: 420-436, 1968.
- . Recherches de pédologie et de physiologie pour l'étude du problème de l'eau dans la culture du palmier à huile. *Oléagineux*, s.l., 18 (4): 231-238, 1963.
- & OLIVIN, J. Reserve en eau d'une palmeraie adulte. —, s.l., 20 (4): 231-235, 1965.
- OLLAGNIER, M. & PREVOT, P. Comparaison du diagnostic foliaire et de l'analyse des sols pour la détermination des besoins en engrais de l'arachide. Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales. Paris, IRHO, 1956. p. 262-271.
- . L'organisation des recherches sur la fertilisation à l'IRHO. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 128-149.
- OLLAT, C. & COMBEAU, A. Méthode de détermination de la capacité d'échange et du pH d'un sol. Relation entre le complexe

- xe absorbant et le pH. *Sols Africains*, s.l., 5 (3): 343-380, 1960.
- PEREIRA-BARRETO, S. *Reconnaissance pédologique du Ferlo-Sud*. s.l., ORSTOM, 1964. Centre Pêdo. Hann. Rap. Mission, 1964.
- PIERI, C. Bilan des recherches sur la fumure phosphatée au Mali. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1139-1148.
- . Etude de l'érosion et du ruissellement à Sêfa au cours de l'année, 1965. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1302-1315.
- PINTA, M. *Recherches et dosage des éléments traces*. Paris, Dunod éd., 1962. 726 p.
- PORTERES, R. *Aménagement de l'économie agricole et rurale du Sénégal*. 1952. Relatório inédito.
- . Projet de l'aménagement de l'économie agricole du Sénégal. *Sols Africains*, s.l., 3 (2): 182-235, 1955.
- & FAUCK, R. *L'engrais vert à Sêfa*. 1963. 33p. Relatório inédito.
- . *Etude d'économie agricole et rurale en Casamance, possibilités d'implantation d'une agriculture modernisée sur les plateaux de la moyenne Casamance*. Dakar, Ministère de l'Economie Rurale, mar. 1961. 89 p.
- POULAIN, J. F. *Bilan de l'essai: forme du phosphate de fond Bambeï*. CRA Bambeï, 1969. Documento interno inédito.
- . *Comparaison du phosphat et du phosphate de Taïba en fumure de fond*. CRA BAMBEÏ, 1970. Documento interno inédito.
- . Compte rendu des débats du groupe II-I. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 461.
- . Comunicação pessoal. 1970.
- . Contribution à l'étude des mécanismes d'action de la fumure. Effet sur le sol et les rendements des cultures. In: SYMPOSIUM ON THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khartoum, 1965. p. 131-148.
- . Intérêt et limites des analyses physico-chimiques dans l'établissement du diagnostic de la fertilisation. Exemple de la fumure annuelle à doses faibles. Proposition pour une meilleure efficacité des analyses de sol dans les études d'évolution des sols sous culture. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 116-127.
- . *Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (Sol Dior)*. Les principaux facteurs de leur fertilité. ORSTOM, 1960. Relatório inédito.
- . *Premier bilan des essais sulfate-urée CRA Bambeï. Résultats agronomiques de 4 années 1966-1969*. CRA Bambeï, 1970. Documento interno inédito.
- . *Premier bilan: essai phosphore-soufre. Sinthiou-Malène; 1ère rotation*. CRA Bambeï, 1970. Documento interno inédito.

- POULAIN, J. F. Résultats obtenus avec les engrais et les amendements calciques. Acidification des sols et correction. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 469-489.
- PREVOT, P. A propos de la fertilité des sols du Sénégal. *Oléagineux*, s.l., 19 (2): 65-71, 1964.
- & MARTIN, G. Comparaison des fumures organiques et minérales pour l'arachide en Haute-Volta. —, s.l., 19 (8-9): 533-537, 1964.
- . Carences en soufre de l'arachide en Afrique. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL AGROCHIMICA, 5^e: Le soufre en agriculture, Palerme-Catane, 16-21 mar. 1964.
- & OLLAGNIER, M. Epuisement du sol et effet des fumures minérales dans un assolement continu arachides-mil. *Oléagineux*, s.l., 14: 423-431, 1959.
- et alii. Dégradation du sol et toxicité manganique. —, s.l., 10 (4): 239-243, 1955.
- PY, C. Comparaison de l'urée et du sulfate d'ammoniac pour la fumure de l'ananas en Guinée. *Fruits*, s.l., 17 (2): 95-97, 1962.
- . La fumure de l'ananas en Guinée. —, s.l., 19(9): 529-539, 1964.
- . Recherches sur la fumure de l'ananas. In: JOURNÉE D'ETUDE SUR LA NUTRITION MINÉRALE DES PLANTES FRUITIÈRES TROPICALES ET SUBTROPICALES, Paris, 3-4 oct. 1963. —, s.l., 18 (1): 459-460, 1963.
- QUILLON. Compte rendu des débats du groupe II-I. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 41.
- RAMBERT, J. & SEGALA. *Compte rendu des travaux de la station expérimentale de l'arachide, 1922-1926*. Saint-Louis, 1927. 20 p.
- RAPPORT de Synthèse, Groupe I-II. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 429-458.
- RICHARD, L. Les études de nutrition minérale chez les végétaux; contribution à leur méthodologie. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 21 (3): 291-328, 1966.
- . Evolution de la fertilité en culture cotonnière. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1437-1471.
- . Evolution de la fertilité en culture cotonnière intensive. *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 22 (3): 357-391, 1967.
- RINGUELET, R. Une étude d'un ingénieur sur le riz et le sol. *La Terre Marocaine*, Rabat, 321: 252-255, 1956.
- RIQUIER, J. Les effets du krillium sur la structure de deux types de sol tropicaux. *Sols Africains*, s.l., 3 (2): 238-249, 1955.
- ROBIN, J. Premiers essais de fumure minérale et de fumure or

- ganique sur bananiers à la station de l'Ivoloïna. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1195-1202.
- ROCHE, P. Contribution à l'étude du statut phosphorique des sols de Madagascar. Influence sur les problèmes de fertilité. *Agronomie Tropicale*, s.l., 22 (3): 249-306, 1967.
- & VELY, J. Efficacité des cultures d'engrais vert dans le maintien de la fertilité de quelques types de sols de Madagascar. —, s.l., 16 (1): 7-51, 1961.
- Etude de l'évolution des éléments fertilisants apportés sur les principaux types de sols du Lac Alaotra. —, s.l., 17 (10): 841-880, 1962.
- Etude de quelques rotations culturales en rizières sur divers types de sol à Madagascar. —, s.l., 16 (5): 481-503, 1961.
- et alii. Cheminement expérimental, méthode suivie pour l'étude du redressement de fertilité en rizière et en culture sèche à Madagascar. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. p. 331-397.
- et alii. Comparaison des diverses natures d'engrais azotés et phosphatés en rizière. —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1122-1126.
- et alii. Essai de détermination des seuils de carences en potasse dans le sol et dans les plantes. Observations réalisées à la station agronomique de Lac Alaotra, Madagascar. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA SCIENCE DU SOL, 6^e, Paris, 1956. 4 (4): 23-30.
- et alii. Fertilisation en rizière et en culture sèche à Madagascar. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1109-1121.
- et alii. Utilisation du diagnostic foliaire de l'arachide dans le secteur de conservation des sols, vallée-témoin, Lac Alaotra. Essai d'interprétation des analyses foliaires effectuées sur arachides de 1953 à 1957. *Agronomie Tropicale*, s.l., 14 (2): 165-197, 1959.
- ROGER & JUNG. Comunicação pessoal. 1970.
- RONDELET, J. A. Caractérisation des différentes formes d'aluminium et du fer dans les sols tropicaux. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES SOLS, 3^{ème}, Dalaba, 1959.
- ROOSE, E. Comunicação pessoal. 1970.
- Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour la conservation des sols. Etudes expérimentales et observations sur le terrain. Abidjan, ORSTOM, 1967. 19 p. Relatório inédito.
- Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agronomie Tropicale*, s.l., 22 (2): 1.
- Erosion, ruissellement et drainage oblique sur un sol à Casao de Moyenne Côte d'Ivoire. Station IFCC, près de Diavo. ORSTOM, 1969. Documento provisório a ser publicado.
- Erosion, ruissellement et lessivage oblique sous une

- plantation d'hevea en Basse Côte d'Ivoire. ORSTOM, 1967. Documento interno inédito.
- . Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1385-1404.
- & CHEROUX, M. Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 4 (2): 51-92, 1966. Série pédologie.
- & GODEFROY, J. Lessivage des éléments fertilisants en bananeraie. *Fruits*, s.l., 23 (2): 580-584, 1968.
- & JADIN, P. Érosion, ruissellement et drainage oblique sur un sol à cacao de Moyenne Côte d'Ivoire. Station IFCC près de Divo. ORSTOM, 1969. Documento provisório a ser publicado.
- et alii. Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de Basse Côte d'Ivoire. 1970. Documento provisório a ser publicado.
- ROUZAUD, H. La canne à sucre au Congo. *Agronomie Tropicale*, s.l., 17 (7-8): 531-542, 1962.
- SAG, G. Influence de l'aluminium sur le développement de l'arachide. *Oléagineux*, s.l., 2 (5): 315-322, 1956.
- SAGOT, M. & BOUFFIL, F. Engrais et amendement sur l'arachide de 1945. 23 p. datilogr. Inédito.
- SAUGER, L. & GENUYT, G. Un essai de fumure d'arachide. Formule et dose d'engrais NPK. *Agronomie Tropicale*, s.l., 4 (5-6): 301-310, 1949.
- SEEGER, J. R. Effets d'une fumure azotée sur le rendement et la notation de l'arachide. *Bulletin de L'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux*. Gembloux, 29 (2): 197-218, 1961.
- SEGALEN, P. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 6 (1): 105-126, 1968. Série pédologie.
- . Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. —, s.l., 3 (2): 149-176, 1965. Série pédologie.
- . Les sols de la vallée du Noun. —, s.l., 5 (3): 287-349, 1967. Série pédologie.
- . Les sols de la zone intertropicale humide et la genèse des produits alumineux. —, s.l., 3 (3): 179, 1965. Série pédologie.
- & SILVA, J. N. L. Le fer, le manganèse, l'aluminium et la silice facilement extractible dans les sols tropicaux à sesquioxides. —, s.l., 7 (3): 287-310, 1964. Série pédologie.
- SEMENT, G. Economie de l'eau du cotonnier et irrigation à l'Office du Niger (Mali). *Coton et Fibres Tropicales*, s.l., 20 (4): 481-516, 1965.

- SILVESTRE, P. Monographie des recherches conduites à Bambeï sur l'arachide. *Agronomie Tropicale*, s.l., 16 (6): 617-738, 1961.
- Recherches agronomiques relatives aux légumineuses à graines alimentaires. In: COLLOQUE D'ABIDJAN, 1968. 2: 230-236.
- Recherches sur les plantes à tubercules. In: —, 1968. 2: 370-375.
- & SOITOUT, M. Première réunion technique sur l'amélioration des légumes et des légumineuses à graines en Afrique. *Agronomie Tropicale*, s.l., 20 (8): 747-772, 1965.
- SNOECK, J. Ombrage et engrais dans les caféiers Canephora de la Côte Est Malgache. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1164-1177.
- Premiers résultats d'essais d'engrais minéraux sur caféiers Canephora à Madagascar. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1178-1194.
- SOUBIES, L. et alii. Recherches sur l'évolution de l'urée dans les sols et son utilisation comme engrais azoté. *Ann. Agro.*, s.l., 6, 1955.
- SOURDAT. Rapport de synthèse du groupe d'étude II-2. Compte rendu des débats. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 1264-1265.
- TALINEAU. Comunicação pessoal. 1970.
- TARDIEU, M. & SENE, D. Le haricot niebê (*Vigna unguiculata*) au Sénégal. *Agronomie Tropicale*, s.l., 21 (8): 927-933, 1966.
- THEVENIN, L. & FAUCHE, J. L'engrais vert au Sénégal en zone Soudano-sahélienne. In: CONFÉRENCE ARACHIDE-MIL, 5-13 sept. 1954. *Bull. Agro.*, s.l., 12: 86-89, 1954.
- THOMANN, C. Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest africain. *Cahiers ORSTOM*, s.l., 2 (3): 43-79, 1964.
- Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. Méthode au pyrophosphate de sodium. —, s.l., 2 (3): 43-72, 1963.
- THORNTON, I. Quelques observations sur la nodulation de l'arachide en Gambie. *Oléagineux*, s.l., 12: 781-783.
- TINTIGNAC, J. P. L'emploi des phosphates de Thiès dans la production d'arachide au Sénégal. —, s.l., 21 (8-9): 525-530, 1966.
- TISSEAU, M. A. La déficience en cuivre et en zinc chez l'ananas: le crook-neck. *Fruits*, s.l., 14 (9): 363-367, 1959.
- TOURTE, R. Les recherches sur le travail profond des sols en zone tropicale sèche. *Agronomie Tropicale*, s.l., 20 (10): 1034-1037, 1965.
- et alii. Bilan d'une rotation quadriennale sur sols de régénération au Sénégal. —, s.l., 19 (12): 1033-1072, 1964.
- et alii. La fumure minérale "étalée" au Sénégal. Comparai

- son avec la fumure annuelle. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 1058-1075.
- TURC, L. *Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement*. Paris, INRA, 1953. Tese.
- VALET, S. Principes d'organisation des régions naturelles en strates homogènes et son application à l'ouest du Cameroun. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 357.
- Recherches des carences minérales des sols de l'ouest Cameroun en vases de végétation. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 341-356.
- VELLY, J. Influence de la localisation de l'azote et phosphore en rizière sur leur absorption étudiée avec les isotopes ^{15}N et ^{32}P . *Agronomie Tropicale*, s.l., 22 (4): 364-376, 1967.
- & LATRILLE, E. Influence de la date d'apport de l'azote et du phosphore en rizière. —, s.l., 22 (4): 351-363, 1967.
- et alii. Fertilisation de fond en rizière de Madagascar. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 916-991.
- et alii. Fertilisation de redressement après diagnostic des carences minérales sur les sols de culture sèche de Madagascar. 1. Sols ferrallitiques acides. In: —, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 2: 874-888.
- VERLIERE, G. Effet de trois sources d'azote sur l'évolution du sol, la nutrition minérale et le rendement du caféier. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 11 (2): 139-156, 1967.
- Un essai d'engrais sur cacaoyers en Côte d'Ivoire. —, Paris, 13 (1): 11-33, 1969.
- Evolution de la recherche sur la fertilisation en caféier culture en Côte d'Ivoire. In: COLLOQUE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, Tananarive, 19-25 nov. 1967. 1: 803-811.
- Valeur fertilisante de deux plantes utilisées dans les essais de paillage du caféier: *Tithonia diversifolia* et *Flemingia congesta*. *Café, Cacao, Thé*, Paris, 10 (3): 228-236, 1966.
- VERNEY, R. & WILLAIME, P. Résultats des études d'érosion sur parcelles expérimentales entreprises au Dahomey. In: SYMPOSIUM ON THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY, Khartoum, 1965. p. 43-53.
- VIDAL, P. & FAUCHE, J. Quelques aspects de la dynamique des éléments minéraux d'un sol Dior soumis à différentes jachères. *Agronomie Tropicale*, s.l., 17 (10): 828-840, 1962.
- et alii. Influence des fumures organiques et minérales sur la production des sorghos et la qualité des récoltes. —, s.l., 17 (6): 383-388, 1962.
- VIELLEFON, J. Étude des variations du pH et du rH dans les sols de Mangrove de Basse Casamance. In: CONFÉRENCE BIENNALE, 6ème, Association Scientifique de l'Ouest Africain,

Abidjan, 8-13 avr. 1968. Section science de la terre. *Communication*, 11.

VIZIER. *Etude agropédologique d'emplacements cotonniers au Mayo-Kebi, République du Tchad.* s.l., ORSTOM-CFDT, 1965. 63 p. Relatório interno citado por DABIN, 1969.

WINOGRADSKY, S. *Microbiologie du sol. Problèmes et méthodes.* Paris, 1949. 861 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

PROGRAMA DE TEXTOS DIDÁTICOS

Trabalhos publicados em 1970

- ABRAMO, Perseu. *Pesquisa em ciências sociais; um guia para estudantes*. Mestrado em Ciências Humanas. (Pub. 8).
- BRANDÃO, Maria de Azevedo. *Teoria da investigação e ciências do homem; textos de metodologia das ciências sociais*. Departamento de Sociologia. (Pub. 13).
- *O raciocínio experimental; textos de metodologia das ciências sociais*. Departamento de Sociologia. (Pub. 14).
- CARVALHO, J.P. Penna de. *Compressibilidade e adensamento dos solos*. Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais. (Pub. 4).
- *Distribuição das pressões nos solos*. Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais. (Pub. 5).
- *Noções sobre o escoamento de água através dos solos*. Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais. (Pub. 6).
- COSTA, Carlos. *O problema da sociologia como ciência*. Departamento de Sociologia. (Pub. 1).
- FUJIMORI, Shigueme & FERREIRA, Yêda de Andrade. *Introdução ao uso do microscópio petrográfico*. Departamento-03 (Geologia). (Pub. 10).
- GALINDO, Valdimiro Nascimento. *Textos de economia brasileira*. Departamento de Economia. (Pub. 15).
- JANCOSÓ István & CASARI, Regina R. *Introdução ao estudo da história; história e historiografia*. Departamento de História. (Pub. 11).
- & TEYSSEIRE, Daniel. *Introdução ao estudo da história; história da historiografia (momentos)*. Departamento de História. (Pub. 12).
- MACHADO NETO, A.L. *Formação e temática da sociologia do conhecimento*. Mestrado em Ciências Humanas. (Pub. 9).
- MAFFI, Carlo. *Interpretação fotogeológica*. Departamento-03 (Geologia). (Pub. 18).
- MATTOS, M.A. *Seleção de textos destinados ao curso de didática*. Departamento de Teoria e Prática de Ensino das Ciências Humanas e Letras. (Pub. 3).
- NASCIMENTO, Iracema A. & SAMPAIO, Maria da Glória. *Rotatórios de prática de fisiologia animal*. Departamento de Zoologia. (Pub. 2).
- RÊGO, Fernando. *Textos básicos para seminários de lógica*. Departamento de Filosofia. (Pub. 16).
- SOUZA, Judith Endraos de. *A atividade experimental no ensino de biologia*. Departamento de Teoria e Prática de Ensino de Matemática e Ciências Experimentais. (Pub. 17). Parte I e II.
- TAVARES, Luís Henrique Dias. *Seleção de textos destinados ao curso de História do Brasil*. Departamento de História. (Pub. 7).

- PASSOS, José Joaquim C. de. *Ação de despejo*. Salvador, Departamento IV, Faculdade de Direito, 1971. 17 p. (U.F.Ba., P.T.D., 30)
- PINHEIRO, Délio José F. *Evolução das encostas nas regiões tropicais úmidas*. Salvador, Departamento I, Instituto de Geociências, 1971. 28 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 35)
- RAMOS, Eduardo Lacerda. *Economia rural; princípios de administração*. Salvador, Departamento V, Economia Agrícola e Extensão, Escola de Agronomia, 1971. 187 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 34)
- REGO, Fernando. *Elementos da lógica clássica*. Salvador, Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, 1971. 39 p. (U.F.Ba., P.T.D., 32)
- ROBATO FILHO, Alexandre. *Técnica de angulação para radiografias periapicais*. Salvador, Departamento I, Medicina Oral e Clínica, Faculdade de Odontologia, 1971. 17 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 38)
- ROCHA, Zélia Maria M. da & SILVA, Carlinda Pereira da. *Manual de anatomia e organografia de vegetais superiores*. Salvador, Departamento II, Botânica, Instituto de Biologia, 1971. 78 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 24)
- TABACOF, Germano. *Princípios gerais do preparo de cavidades*. Salvador, Departamento I, Medicina Oral e Clínica, Faculdade de Odontologia, 1971. 70 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 22)
- TAVARES, José Augusto Teixeira, comp. *Da ciência à filosofia; textos básicos de cosmologia*. Salvador, Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, 1971. 273 p. (U.F.Ba., P.T.D., 25)
- VARIAÇÕES pedológicas e geomorfológicas na região de Maragogipe por Adelaide M. Santos e outros. Salvador, Departamento I, Instituto de Geociências, 1971. 15 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 21)
- VICTAL, Carlos Gentil M. *Do Ponto, da reta e do plano*. Salvador, Departamento I, Faculdade de Arquitetura. 1971. 152 p. il. (U.F.Ba., P.T.D., 33)