

# *Boletim de Pesquisa 8 e Desenvolvimento*

ISSN 1806-3322  
Novembro, 2010

## **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**



**Embrapa**



ISSN 1806-3322  
Novembro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Monitoramento por Satélite  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8***

**Conceitos de fertilidade do solo e  
manejo adequado para as regiões  
tropicais**

Carlos Cesar Ronquim

Embrapa Monitoramento por Satélite  
Campinas, SP  
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP

Telefone: (19) 3211 6200

Fax: (19) 3211 6222

sac@cnpm.embrapa.br

www.cnpm.embrapa.br

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Cristina Criscuolo*

Secretária-Executiva: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Bibiana Teixeira de Almeida, Daniel de Castro Victoria, Davi de Oliveira Custódio, Graziella Galinari, Luciane Dourado, Vera Viana dos Santos*

Supervisão editorial: *Cristina Criscuolo*

Revisão de texto: *Graziella Galinari*

Normalização bibliográfica: *Vera Viana dos Santos*

Tratamento de ilustrações e editoração eletrônica: *Shirley Soares da Silva*

Foto(s) da capa e no documento: *Carlos Cesar Ronquim (autor)*

**1ª edição**

1ª impressão (2010): versão digital

**Todos os direitos reservados.**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

---

Ronquim, Carlos Cesar

Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

26 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

ISSN 1806-3322

1. Agricultura. 2. Cultivo de solo. 3. Produtividade. 4. Sensoriamento remoto. I. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas, SP). II. Título. III. Série.

CDD 631.4913

---

© Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

# Sumário

Resumo.....	5
Nutrientes minerais do solo.....	6
Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).....	8
Reação do solo .....	10
Expressão e interpretação da reação do solo.....	11
Correção do solo pela calagem.....	11
Utilização do gesso agrícola.....	14
O alumínio no solo.....	16
Importância da matéria orgânica no solo sob condições tropicais .....	17
Manutenção da fertilidade e produtividade do solo sob condições tropicais.....	19
Fertilidade do solo e o uso de geotecnologias.....	24
Referências.....	26



# Regiões tropicais

CONCEITOS DE FERTILIDADE E MANEJO ADEQUADO DO

**SOLO**

# Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais

---

*Carlos Cesar Ronquim<sup>1</sup>*

## Resumo

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2009) alertou para a necessidade de ampliar a produção mundial de alimentos em 70% até 2050 por conta do crescimento da população. No ano em questão, haverá 2,3 bilhões de pessoas a mais do que hoje para se alimentar. A FAO estima que mais de 120 milhões de hectares de terra serão necessários para suprir as necessidades, mas acredita que boa parte da produção de alimentos deverá ser por meio do aumento da produtividade das áreas já cultivadas, principalmente das regiões tropicais.

Solos cultivados são limitantes para a produção de alimentos, pois os cultivos seguidos tendem a diminuir a fertilidade. Nos trópicos, onde a pressão populacional é maior, a expansão agrícola dependerá essencialmente do cultivo de solos “velhos” (solos que ficaram muito tempo expostos à ação das chuvas e do sol e conseqüentemente são mais pobres em nutrientes), ácidos, de baixa fertilidade nutricional ou com problemas de deficit hídrico. Ante as peculiaridades da agricultura nas regiões tropicais, onde se insere o Brasil, torna-se necessário o conhecimento detalhado das características e propriedades químicas e físicas dos solos, objetivando seu manejo adequado, o uso mais apropriado de insumos e produções mais rentáveis.

A avaliação da fertilidade química dos solos é de utilidade para a definição das quantidades e tipos de fertilizantes, corretivos e manejo geral que devem ser aplicados ao solo visando à manutenção ou à recuperação de sua produtividade. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar os principais conceitos da fertilidade dos solos e relacioná-los às formas de manejo mais adequadas para as regiões tropicais.

Este trabalho compreende conceitos de fertilidade do solo e representa um texto básico para compreensão da relação entre produtividade agropecuária e aplicações de geotecnologias, tal como o uso de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

**Palavras-chave:** Agricultura, cultivo de solo, produtividade, sensoriamento remoto.

---

<sup>1</sup> Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, ronquim@cnpn.embrapa.br

## Nutrientes minerais do solo

Os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S (também chamados de nutrientes principais) são absorvidos pela planta em maior proporção que os micronutrientes B, Zn, Cu, Fe, Mo, Cl e Mn (também chamados de elementos traço). Ambos são constituintes dos minerais e da matéria orgânica do substrato onde a planta cresce e encontram-se também dissolvidos na solução do solo. Um ou vários nutrientes podem estar quase ausentes no solo ou em uma forma que as raízes não conseguem absorver. Para torná-los disponíveis, o solo deve ser bem manejado. Entretanto, quando os nutrientes estão ausentes é preciso repô-los. A Tabela 1 mostra o conteúdo médio dos elementos minerais no solo e na fitomassa de plantas terrestres.

**Tabela 1.** Conteúdo médio dos elementos minerais (em g kg<sup>-1</sup> de Matéria Seca)\* no solo e na fitomassa de plantas terrestres. Também é apresentada a necessidade média dos elementos minerais segundo Larcher (2004), baseada em vários autores.

Elemento	Concentração média no solo	Limites de concentração na planta	Necessidades
Si	330	0,2-10	
Al	70	0,04-0,5	
Fe	40	0,002-0,7	aprox. 0,1
Ca	15	0,4-15	3-15
K	14	1-70	5-20
Mg	5	0,7-9	1-3
Na	5	0,02-1,5	
N	2	12-75	15-25
Mn	1	0,003-1	0,03-0,05
P	0,8	0,1-10	1,5-3
S	0,7	0,6-9	2-3
Sr	0,25	0,003-0,4	
F	0,2	até 0,02	
Rb	0,15	até 0,05	
Cl	<0,1	0,2-10	> 0,1
Zn	0,09	0,001-0,4	0,01-0,05
Ni	0,05	até 0,005	
Cu	0,03	0,004-0,02	0,005-0,01
Pb	0,03	até 0,02	
B	0,02	0,008-0,2	0,01-0,04
Co	0,008	até 0,005	
Mo	0,003	até 0,001	< 0,0002

\* Para expressar os valores em porcentagem (%) na matéria seca, divida por 10 os dados apresentados.

A reposição dos nutrientes é feita com fertilizantes químicos minerais, matéria orgânica, minerais retirados de jazidas ou do ar (no caso da fixação biológica do nitrogênio). A matéria orgânica contém praticamente todos os macro e micronutrientes e, além disso, confere melhor estrutura ao terreno, aumentando sua fertilidade. Os fertilizantes minerais (ao contrário da matéria orgânica) apresentam nutrientes em alta concentração que são altamente solúveis, podendo ser absorvidos rapidamente pelas plantas e ou lixiviados<sup>2</sup> com maior facilidade.

Os fertilizantes minerais comercializados para a adubação das culturas podem ser simples (contêm um ou mais macroelementos) ou compostos (mistura de adubos simples). Os fertilizantes compostos são conhecidos por suas "fórmulas" pó (exemplo: 4-14-8, 10-10-10, 20-5-20). Esses números indicam a porcentagem de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K, respectivamente) no fertilizante químico. O importante no manejo dos nutrientes é que eles precisam estar em equilíbrio no solo; a adição de um deles, sem que se considere a situação dos outros e as características da cultura, pode levar a fracassos na colheita. Nas regiões tropicais, a matéria orgânica em quantidades suficientes no solo é fator decisivo para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes.

A Lei do "Fator Mínimo" de Liebig menciona que a substância mineral em menor concentração relativa determina o limite para o crescimento e rendimento. No entanto, o rendimento não é limitado somente por uma substância mineral. Para a planta atingir um metabolismo balanceado, uma alta produção de matéria seca e um desenvolvimento desimpedido, não somente os nutrientes principais e os elementos traço devem estar disponíveis em quantidades suficientes, mas também devem ser absorvidos em proporções balanceadas.

Em solos das zonas tropicais com poder tampão<sup>3</sup> reduzido ocorre facilmente um desequilíbrio pela adição de fertilizantes. Isso pode ser evitado com a manutenção de um nível adequado de matéria orgânica no solo. A matéria orgânica aumenta o poder tampão do solo e diminui os perigos de desequilíbrios minerais causados por uma adubação arbitrária.

---

<sup>2</sup> Lixiviação: processo de remoção de substâncias solúveis, através da água que drena o solo.

<sup>3</sup> Poder tampão: capacidade de resistência do solo a mudanças bruscas de pH, exigindo maiores doses de calcário para atingir os valores desejados de saturação por bases (V%) ou pH. Solos mais ricos em matéria orgânica e/ou com maior CTC apresentam maior tamponamento.

## Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%)

Em razão da superfície eletricamente carregada que apresentam as argilas coloidais<sup>4</sup>, as substâncias húmicas<sup>5</sup> e os sesquióxidos de ferro e alumínio<sup>6</sup> (principais componentes da fração mineral dos solos sob condições tropicais), os íons e moléculas polarizadas são atraídos ligando-se a estes componentes de forma reversível.

As argilas minerais, as substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio possuem determinada superfície de troca e são os principais coloides responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos sob condições tropicais (Tabela 2). Em razão do maior número de cargas negativas do que positivas desses coloides, a adsorção é principalmente de cátions. No entanto, há alguns sítios nestes coloides com cargas positivas que podem atrair ânions (principalmente nos óxidos de ferro e alumínio).

**Tabela 2.** Capacidade de troca de cátions (CTC) de alguns coloides do solo sob condições tropicais. Adaptada de Mello et al. (1983).

Coloide	CTC – mmolc dm <sup>-3</sup>
Caolinita*	50 - 150
Montmorilonita*	500 - 1.000
Ilita*	100 - 500
Vermiculita*	1.000 - 1.500
Alofana*	250 - 700
Óxidos de Fe e Al	20 - 50
Substâncias húmicas	1.500 - 5.000

\*Argilas minerais.

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$ ).

<sup>4</sup> Coloides: partículas do solo de reduzido tamanho (entre  $10^{-4}$  e  $10^{-7}$  cm). Apresentam cargas superficiais que podem reter nutrientes (íons) de forma trocável.

<sup>5</sup> Substâncias húmicas: substância com caráter coloidal que agregam o solo. São produzidas pela decomposição da palha, em condições aeróbias, por bactérias e fungos. Possuem poder agregante.

<sup>6</sup> Sesquióxidos de Fe e de Al: fazem parte da fração coloidal do solo. São materiais mal cristalizados, porém não amorfos.

No Estado de São Paulo os resultados são apresentados em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (milimols de carga por decímetro cúbico de solo) do material seco (RAIJ et al., 1996).

A capacidade de troca iônica dos solos representa, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes.

Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas. Por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  este será um solo pobre. Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável; nesse caso, não se devem fazer as adubações e as calagens em grandes quantidades de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação.

A CTC pode ser expressa como “CTC total” quando considerar todos os cátions permutáveis do solo ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ). No entanto, o  $\text{H}^+$  só é retirado da superfície de adsorção por reação direta com hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) originando água ( $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ). Quando a CTC é expressa sem considerar o íon  $\text{H}^+$  ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) a denominação é “CTC efetiva”. Um solo pode apresentar alto valor de CTC total (por exemplo,  $100 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), mas uma parcela significativa das cargas negativas do solo (por exemplo, 60%) está adsorvendo íons  $\text{H}^+$ , e a CTC efetiva será de apenas  $40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ).

Denomina-se saturação por bases (V%) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions:

$$V(\%) = 100 * SB \div CTC *$$

\*na fórmula utiliza-se o valor da “CTC total”

A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) =  $V\% \geq 50\%$ ; solos distróficos (pouco férteis) =  $V\% < 50\%$ . Alguns solos distróficos podem ser muito pobres em  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  e apresentar teor de alumínio trocável muito elevado, chegando a apresentar saturação em alumínio (m%) superior a 50% e nesse caso são classificados como solos álicos (muito pobres): Al trocável  $\geq 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $m\% \geq 50\%$ .

Um índice V% baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ . O solo nesse caso provavelmente será ácido, podendo até conter alumínio em nível tóxico às plantas. Essa situação pode ser comum para grandes áreas tropicais, como ocorre para os solos arenosos e lixiviados do Planalto Central brasileiro.

A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V% entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5.

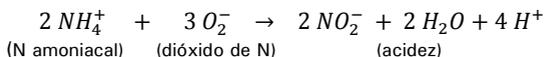
## Reação do solo

Reação do solo é o grau de acidez ou de alcalinidade de um solo. A reação do solo está ligada à sua fertilidade porque várias condições importantes, tais como estrutura, solubilidade de minerais, disponibilidade de nutrientes<sup>7</sup>, atividade de microrganismos e absorção de íons pela planta são influenciadas pela reação do solo.

A reação do solo depende da concentração de íons hidrogênio na solução do solo (acidez momentânea) e da concentração de íons  $\text{H}^+$  adsorvidos em substâncias de troca (acidez potencial). Solos ácidos são comuns nas regiões sob condições tropicais onde a grandeza da precipitação pluviométrica é tal que os elementos alcalinos, notadamente o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$ , são lixiviados das camadas superiores pelas águas contendo  $\text{CO}_2$ , sendo substituídos nos colóides pelos íons  $\text{H}^+$ .

A acidificação dos solos é um processo químico que ocorre naturalmente. Todos os solos "envelhecem" ou sofrem intemperismo, e a acidificação é parte deste envelhecimento natural. O Brasil, por estar sob clima tropical, em que a ação de chuvas e altas temperaturas é intensa o ano inteiro, possui solos mais velhos e, por isso, mais ácidos.

Nos solos cultivados, a acidificação pode ocorrer também através de adubação, especialmente através dos adubos nitrogenados. Por exemplo:



<sup>7</sup> Disponibilidade de nutrientes: nutrientes que podem ser absorvidos pelas raízes das plantas. Fração do teor total do nutriente do solo que se encontra na solução do solo ou em condições de passar rapidamente para a solução.

## Expressão e interpretação da reação do solo

O pH (potencial hidrogeniônico) indica a quantidade de íons hidrogênio ( $H^+$ ) que existe no solo. Logo, conclui-se que um solo é ácido quando possui muitos íons  $H^+$  e poucos íons cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e potássio ( $K^+$ ) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca.

O pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Solos com acidez elevada (baixos valores de pH) geralmente apresentam: pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente); elevado teor de alumínio tóxico; excesso de manganês; alta fixação de fósforo nos colóides do solo e deficiência de alguns micronutrientes. O pH do solo é o indicador de uma situação biológico-físico-química e como tal seria enganoso considerar somente os seus efeitos químicos diretos às raízes.

## Correção do solo pela calagem

A correção ou calagem<sup>8</sup> no solo tropical deve influir sobre a soma de bases (SB), conseqüentemente elevando a disponibilidade de nutrientes e aumentando o complexo de troca<sup>9</sup> para as plantas e o valor da CTC efetiva. A correção pela calagem também satura o complexo de troca com cálcio e magnésio e eleva o pH até um nível em que o Al se torne praticamente indisponível para as culturas.

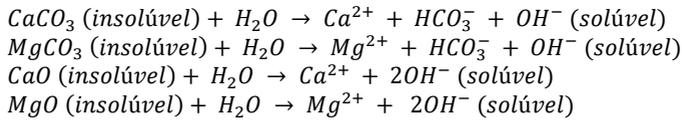
Para se corrigir a acidez do solo deve-se utilizar um elemento que libere ânion e que forme um ácido fraco com o hidrogênio e ainda forneça cálcio ou cálcio e magnésio para a planta. Os materiais empregados na correção da acidez do solo tropical (calcários) são encontrados na natureza em forma de rocha, que é moída e peneirada para ser aplicada ao solo. O calcário aplicado ao solo forma os íons  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $HCO_3^-$  (solubilização e dissociação). Este último reage com a água formando íons hidroxila ( $OH^-$ ), água e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). As hidroxilas reagem com os íons  $Al^{3+}$  e  $H^+$  adsorvidos formando hidróxido de alumínio insolúvel (etapa de neutralização) e água (etapa de imobilização do alumínio tóxico), liberando as cargas antes ocupadas por esses elementos. Tais cargas são, então, ocupadas pelos íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (MALAVOLTA, 1984):

---

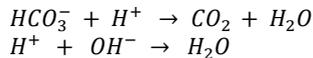
<sup>8</sup> Calagem: prática de aplicação de material corretivo (calcário) da acidez do solo.

<sup>9</sup> Complexo de trocas: cargas do solo utilizadas nos processos de troca iônica.

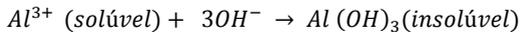
Solubilização e dissociação do calcário:



Neutralização de ácidos no solo:



Insolubilização do alumínio tóxico trocável no solo:

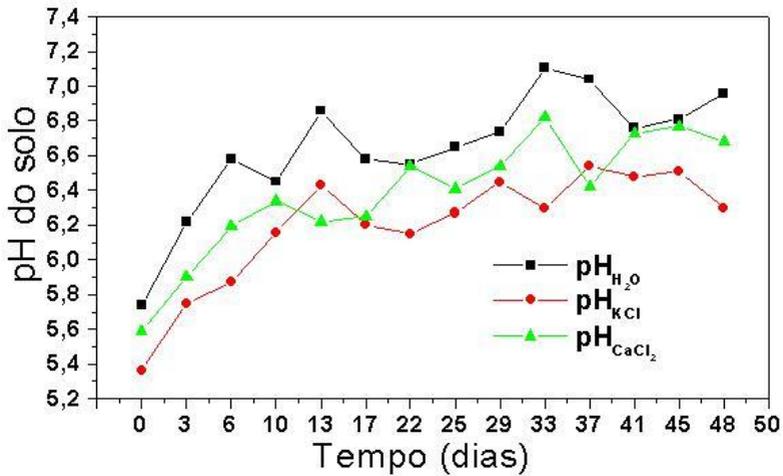


Portanto, após a aplicação do calcário ocorre a neutralização do alumínio trocável, aumentando a saturação por bases (V%). Com a neutralização de parte do hidrogênio adsorvido, ocorre elevação do pH do solo.

Para ocorrer a reação do calcário, este deve ser bem misturado com o substrato, ficando em contato com todas as partículas. O solo deve estar úmido para solubilizar o calcário.

A calagem proporcionará inúmeros benefícios, como aumento do pH e até melhoria de propriedades físicas de alguns solos, neutralização do alumínio e manganês tóxicos, aumento dos teores de cálcio e magnésio, aumento da disponibilidade de fósforo e molibdênio, aumento da atividade de microrganismos.

A maioria dos calcários comercializados no Brasil exige um período mínimo de três meses para reagir completamente. A Figura 1 mostra um experimento da reação de calcário em solo de Cerrado e a consequente elevação do pH com posterior estabilização, quarenta dias após a aplicação. Porém, o rápido efeito da reação do calcário neste experimento resultou das pequenas quantidades de solo e calcário envolvidas (facilitando a mistura) e ótimas condições de umidade. No campo, as condições ótimas são de difícil obtenção, por isso a estabilização do pH leva mais tempo para ocorrer.



**Figura 1.** Alteração nos valores de pH do solo, coletado a 20 cm de profundidade sob vegetação de Cerrado em São Carlos (SP) (latossolo álico), e medido em água e em solução de KCl e CaCl<sub>2</sub> após adição de calcário dolomítico na proporção de 1 g de calcário por kg de solo. Em pouco mais de um mês, os valores de pH aumentaram cerca de uma unidade, ou seja, a concentração hidrogeniônica na solução diminuiu em dez vezes. Segundo Prado, CHBA (comunicação pessoal).

O critério mais seguro para recomendar a dose de calcário é aquele em que se procura elevar a porcentagem de saturação em bases (V%) a um valor adequado para a cultura nos solos tropicais. A quantidade de calcário é calculada para aumentar a porcentagem de cátions que condicionam os valores de CTC, geralmente para 70% (Sul e Sudeste do Brasil) ou 50% (nos Cerrados brasileiros).

$$NC = T (V_2 - V_1) \div PNRT \div 10 * p$$

onde:

NC = necessidade de cal em tonelada de calcário ha<sup>-1</sup>.

T = CTC = capacidade de troca catiônica (mmolc dm<sup>-3</sup>).

V<sub>2</sub> = % de saturação em bases desejada (entre 50 a 70, dependendo da cultura).

V<sub>1</sub> = % de saturação em bases encontrada pela análise de solo.

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do calcário (fornecido pelo distribuidor do calcário). Variável em função dos teores de CaO e MgO e da granulometria do produto. Como a CTC foi utilizada em mmolc dm<sup>-3</sup>, o valor de PRNT deve ser dividido por 10 (como está na fórmula).

p = fator de profundidade de incorporação do calcário (1 para 0 – 20 cm ou 1,5 para 0 – 30 cm).

A determinação de pH em água foi, durante muito tempo, o método padrão nas análises voltadas à finalidade de fertilidade. No entanto, quando as amostras são colhidas úmidas (o que é comum) corre-se o risco de aumento na concentração de certos sais durante o tempo de transporte, armazenamento e preparo da amostra antes da análise. Quando isso acontece, a determinação do pH é afetada. Para evitar o problema, em São Paulo e em alguns outros estados, optou-se por fazer a leitura de pH em uma solução salina diluída ( $\text{CaCl}_2$ ) por permitir leituras mais estáveis. Esse método reduz ou evita a variação sazonal (na época mais seca, um mesmo solo pode apresentar pH em água mais baixo que na época chuvosa) e ainda reduz o efeito das aplicações de fertilizantes fortemente salinos nas leituras de pH.

A interpretação adotada para valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  é apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Limites de interpretação de classes para a acidez do solo. Segundo Tomé Júnior (1997).

Acidez	pH em solução de $\text{CaCl}_2$
Acidez Muito alta	< 4,3
Acidez Alta	4,4 – 5,0
Acidez Média	5,1 – 5,5
Acidez Baixa	5,6 – 6,0
Acidez Muito baixa	6,1 – 7,0
Neutro	7,0
Alcalino	> 7,0

Entretanto, para o agricultor de regiões carentes em laboratórios de análise química de solo, a determinação do pH em água é de grande valia, pois representa um método simples, prático e econômico. A Figura 1 mostra que o pH em água estabiliza-se praticamente no mesmo tempo que o pH em outras duas soluções. Esse fato valida e qualifica a determinação do pH em água e, principalmente, informa ao agricultor de maneira quase que precisa que o solo já apresenta condições de preparo para o plantio e/ou a utilização de fertilizantes.

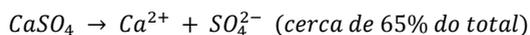
## Utilização do gesso agrícola

Quando se faz a calagem, o calcário geralmente não desce com facilidade no perfil do solo. Resulta daí que a acidez é corrigida somente na superfície e não em profundidade. Assim, as raízes encontram dificuldade para se desenvolver nas camadas situadas abaixo daquela em que o calcário foi incorporado. Como consequência, a planta é menos capaz de absorver os nutrientes do solo.

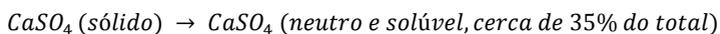
A utilização do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) controla esse problema, pois, graças ao íon acompanhante,  $\text{SO}_4^{2-}$ , o  $\text{Ca}^{2+}$  do gesso torna-se capaz de descer pelo perfil. Em consequência dessa descida, tem-se: maior participação do  $\text{Ca}^{2+}$  e menor do  $\text{Al}^{3+}$  no complexo de troca, neutralização do excesso de alumínio, maior desenvolvimento do sistema radicular em camadas mais profundas e conseqüente aumento na resistência à seca. Diferentemente do calcário, o gesso agrícola não altera o pH do solo.

Simplificadamente, tem-se o seguinte (PAVAN, 1981 citado por MALAVOLTA; KLIEMANN, 1985):

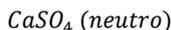
Dissociação parcial do gesso na superfície



Solubilização



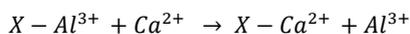
Lixiviação do gesso solúvel



Dissociação em profundidade



Neutralização do Al tóxico em profundidade



Recomenda-se a aplicação de gesso nas seguintes condições, nos solos tropicais: ocorrência nas camadas abaixo de 20 cm de teores de cálcio menores que  $5 \text{ mmolc dm}^{-3}$  e/ou saturação por alumínio (m%) superior a 40%.

A quantidade de gesso que deve ser aplicada é dada pela fórmula:

$$\text{NG} = (4 \text{ a } 6) * \text{teor de argila}$$

onde:

NG = necessidade de gesso ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Teor no solo de argila expresso em  $\text{g kg}^{-1}$ .

## O alumínio no solo

O solo possui tanto mais alumínio quanto maior for o teor em argila caolínica, uma vez que o alumínio é parte integrante e predominante dessa argila mineral 1:1<sup>10</sup>. Quando a argila se decompõe, ocorre liberação do  $Al^{+3}$  das camadas octaédricas. O  $Al^{+3}$  assim produzido pode permanecer na superfície em forma trocável (deslocando  $H^+$  dos sítios de adsorção do solo) ou passar para a solução do solo. Se o alumínio for absorvido, pode alterar a fisiologia e a morfologia da planta cultivada.

O alumínio no solo é considerado o inimigo número um de todas as culturas. No entanto, para as plantas nativas (especialmente as do Cerrado) o alumínio pode ser até essencial (JANSEN et al., 2003). O óxido de alumínio é um agente que contribui de maneira eficaz na estrutura do solo tropical, sendo, portanto, altamente benéfico. Se o alumínio trocável não ultrapassar determinada porcentagem dos cátions existentes na CTC efetiva (dependendo da textura do solo), possivelmente não será maléfico (Tabela 4).

**Tabela 4.** Interpretação dos valores de saturação de alumínio no solo (m%)\*. Segundo Osaki (1991).

m%	Classificação
< 5	Muito baixo (não prejudicial)
5-10	Baixo (pouco prejudicial)
10,1-20	Médio (medianamente prejudicial)
20,1- 45	Alto (prejudicial)
> 45	Muito alto (altamente prejudicial)

\*m% =  $[mmol_c(Al) dm^{-3} \times 100] / [mmol_c(CTC\ efetiva) dm^{-3}]$ . No Estado de São Paulo, determinam-se os valores de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  conjuntamente e não a saturação de  $Al^{3+}$  em relação aos valores de CTC (RAIJ et al., 1996).

Enquanto os cristais de argila estiverem intactos, haverá pouca possibilidade de aparecer Al trocável até níveis tóxicos. Quando, porém, ocorrerem condições anaeróbias no solo por causa de sua compactação e o valor de pH decrescer, ou subir muito, a argila será intemperizada, aumentando a liberação de alumínio (PRIMAVESI, 2006). Por isso, é importante o manejo do solo para que não se torne compacto ao longo dos cultivos. No entanto,

<sup>10</sup> Argila 1:1: argila do tipo duas camadas. Sua estrutura é em lâminas compostas de duas camadas de tetraedros de silício e uma central de octaedro de alumínio. Exemplos são a caolinita e haloisita. São argilas de carga superficial (capacidade de troca de cátions) baixa e dependente do pH. São as mais comuns em solos tropicais.

em solos sob clima quente e úmido como nas condições tropicais há uma rápida remoção das bases ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) e do silício dos minerais, permanecendo as argilas mais simples (caolinita) e óxidos de ferro e de alumínio. Esse processo intenso e prolongado de intemperismo libera íons  $\text{Al}^{3+}$  aumentando o valor m% dos solos sob condições tropicais.

A interpretação dos valores de Al (alto, médio, baixo) é útil, mas a interpretação de H+Al não faz muito sentido. Esta depende dos valores da CTC, os quais variam de solo para solo. Um valor alto de teor de alumínio em um solo arenoso pode ser desprezível em um argiloso. Para se avaliar corretamente a toxidez por alumínio deve-se calcular a saturação por Al (m%).

## **Importância da matéria orgânica no solo sob condições tropicais**

Em oposição aos solos sob matas, nos solos agrícolas sob condições tropicais predominam bactérias aeróbias com atividade intensa e a acumulação de húmus é difícil (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). A produção dirigida e periódica de substâncias agregantes intermediárias da decomposição completa da matéria orgânica<sup>11</sup> é, portanto, o único meio de manter a produtividade desses solos (PRIMAVESI, 2006).

Após alguns anos de cultivo, o teor de matéria orgânica se estabiliza em torno de 25 a 30 g dm<sup>-3</sup> em solos argilosos e valores mais baixos em solos de textura média ou arenosa. Sendo assim, um solo agrícola quando se apresenta rico em matéria orgânica provavelmente está localizado em região de clima frio e/ou grande altitude, ou apresenta excesso de água (deficiência de O<sub>2</sub>) ou é extremamente pobre em nutrientes. Estas três situações inibem a plena atividade dos microrganismos decompositores e a matéria orgânica se acumula.

A caolinita e os óxidos de ferro e alumínio, importantes componentes da fração mineral dos solos sob condições tropicais, podem contribuir pouco para a capacidade de troca de cátions, mas a matéria orgânica pode representar mais de 80% do valor total da CTC. Porém, as cargas negativas da matéria orgânica são provenientes da dissociação de íons H<sup>+</sup> de radicais

---

<sup>11</sup> Matéria orgânica do solo: toda substância morta no solo que provenha de resíduos animais e vegetais em diversos estágios de decomposição. Representa importante papel no solo, melhorando suas condições físicas e químicas e adicionando-lhe importantes propriedades físico-químicas, como por exemplo a capacidade de troca de cátions.

carboxílicos e fenólicos e, portanto, serão efetivas somente em valores elevados de pH (quando os íons  $H^+$  poderão ser neutralizados por hidroxilas).

Um solo rico em matéria orgânica apresentará altos valores de CTC total, mas, sendo ácido, poderá apresentar baixos valores de CTC efetiva. Se houver condições favoráveis à sobrevivência de bactérias e fungos, formam-se ácidos húmicos. Esses ácidos têm um importante papel na formação de grumos e macroporos responsáveis por tornar a terra fofa e facilitar a entrada de ar e água no solo.

A matéria orgânica não é, essencialmente, um adubo em forma orgânica, mas um condicionador biofísico do solo que recupera sua porosidade. Além disso, por possuir baixa densidade em relação aos minerais, reduz a densidade aparente<sup>12</sup> do solo.

Quando a matéria orgânica for humificada, trará mais benefícios, aumentando a capacidade de troca de cátions do solo (Tabela 5) e o poder tampão (importante para substratos quimicamente adubados). Entre os diversos tipos de substâncias orgânicas, somente o húmus consegue influir nas propriedades químicas do solo, embora a palha, durante sua decomposição, tenha influência maior sobre a física do solo. Porém, o efeito da matéria orgânica depende de seu manejo adequado e para isso é preciso que seja aplicada superficialmente e nunca enterrada.

**Tabela 5.** Influência da argila e da matéria orgânica (MO) sobre os valores totais de capacidade de troca catiônica (CTC). Segundo Primavesi (2006).

	pH	MO (g dm <sup>-3</sup> )	Argila %	CTC mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> (pH 7,0)
Solo 1	4,9	3	5	19
Solo 2	6,6	32	5	104
Solo 3	4,5	31	25	177

<sup>12</sup> Densidade aparente: corresponde à massa do solo seco por unidade de volume aparente, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo o espaço poroso. Um valor superior a 1,4 kg m<sup>-3</sup> geralmente indica adensamento ou compactação do solo, a não ser que se trate de um solo argiloso.

O cultivo do solo com adições frequentes de matéria orgânica é a forma mais racional e ecológica de manter e/ou aumentar a fertilidade do solo tropical, embora esta técnica seja muitas vezes inviável econômica e tecnicamente em grandes áreas. Em pequenas áreas é plenamente realizável e, ao contrário do que normalmente acontece no cultivo tradicional dos solos sob condições tropicais, com o passar do tempo as condições físicas, biológicas e as condições químicas melhoram significativamente (Tabela 6).

**Tabela 6.** Influência da matéria orgânica nas características químicas de um Latossolo (A) da região de São Carlos (SP) e o mesmo substrato após seis anos (B) de cultivos consecutivos com hortaliças sob estufa agrícola e fertilizado periodicamente com material orgânico: cinzas, estrume de gado, bagaço de cana decomposto por microrganismos fermentadores inoculados, cinza de madeira e palha de arroz utilizada como cobertura morta. Dados não publicados do autor.

Solo	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH (CaCl <sub>2</sub> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> mmolc. dm <sup>-3</sup>	H + Al	T = SB	CTC	V (%)
A	7	19	4,6	0,5	10	4	28	14	43	34
B	322	62	6,9	5,9	352	23	12	81	393	97

## Manutenção da fertilidade e produtividade do solo sob condições tropicais

A fertilidade do solo é apenas um entre vários fatores que determinam a magnitude do rendimento da cultura, interferindo na produtividade agrícola. É a partir das experiências de Liebig que a fertilidade do solo passou a ser tratada como o estoque de nutrientes nele contido, determinando a necessidade ou não de adição de produtos químicos, incorporando-se os principais elementos necessários ao desenvolvimento das plantas instaladas. Um solo fértil é aquele que contém, em quantidades suficientes e balanceadas, todos os nutrientes essenciais em forma assimilável. Esse solo deve estar razoavelmente livre de materiais tóxicos e possuir propriedades físicas e químicas que atendam a demanda dos vegetais. Um solo produtivo é aquele que, sendo fértil, deve estar localizado numa zona climática capaz de proporcionar suficiente umidade, nutriente e estrutura para o desenvolvimento das raízes e da planta nele cultivada.

O agravamento da perda de fertilidade do solo se acentua por seu manejo sob condições tropicais como se fosse um solo de clima temperado, somente mais pobre em nutrientes e situado em clima mais quente (Tabela 7). Mas a planta reage diferentemente em clima tropical e exige que também o solo seja manejado de outra maneira para uma alta produção de biomassa.

**Tabela 7.** Características físicas e químicas relativas de solos cultivados sob condições tropicais e condições temperadas. Adaptado de Primavesi (2006).

<b>Tropical</b> <b>(predomina argila caolinita)</b>	<b>Temperado</b> <b>(predomina argila montmorilonita)</b>
mais profundo	mais raso
mais intemperizado	menos intemperizado
baixa capacidade de troca de cátions (Ca, Mg, K, Na)	elevada capacidade de troca de cátions (Ca, Mg, K, Na)
mais pobre em sílica e mais rico em alumínio e ferro (óxidos)	mais rico em sílica e menos em ferro e alumínio
pouca fixação de K e NH <sub>4</sub>	elevada capacidade de fixar K e NH <sub>4</sub>
grande capacidade de imobilizar P	baixa capacidade de imobilizar P
maior capacidade de trocar ânions SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup>	menor capacidade de trocar ânions SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup>
mais ácido	menos ácido
friável	pegajoso
possui estrutura mais grumosa em estado nativo	possui estrutura menos grumosa
decompõe rapidamente a matéria orgânica e raramente acumula húmus	decompõe a matéria orgânica lentamente, podendo acumular húmus
possui microvida muito ativa, necessitando sua limitação	possui microvida pouco ativa, necessitando sua mobilização
sofre facilmente erosão por causa de chuvas torrenciais	raramente ocorre erosão, devido a chuvas fracas
sofre facilmente aquecimento, necessitando proteção da insolação	é muito frio, necessitando ser aquecido por insolação direta
baixa capacidade de retenção de água	alta capacidade de retenção de água

O solo tropical é um ecossistema diferente que, por natureza, se fundamenta em uma agregação muito boa graças à riqueza de sesquióxidos e à presença de matéria orgânica. Quando este solo é cultivado e perde a matéria orgânica, decrescem igualmente os valores de CTC. A aplicação de calcário desobstrui e gera novas cargas que são ocupadas então por Ca e Mg e outros nutrientes posteriormente adicionados pela fertilização mineral. No entanto, o uso agrícola prolongado, utilizando o revolvimento do solo e a incorporação dos resíduos vegetais, cria condições favoráveis à degradação da matéria orgânica e, conseqüentemente, destruição da bioestrutura<sup>13</sup>, reduzindo drasticamente o potencial produtivo do solo.

Para manutenção da fertilidade do solo sob condições tropicais, deve-se dar prioridade à conservação da bioestrutura, pois esses solos possuem mais agregados<sup>14</sup> em razão da riqueza em sesquióxidos, são mais granulados e mais profundos que os solos temperados. Esta última característica pode compensar a baixa capacidade de reabastecimento da solução do solo tropical com nutrientes. Seu complexo de troca é reduzido e baseado em argilas caolíníticas 1:1 com baixa capacidade de troca, e o solo sob condições temperadas possui argilas montmoriloníticas 2:1<sup>15</sup> com mais elevada capacidade de troca.

Dessa forma, as técnicas de cultivo a serem empregadas no solo sob condições tropicais devem ser diferentes das empregadas em solo sob condições temperadas. Na agricultura sob condições tropicais a adoção de sistemas conservacionistas, como o plantio direto<sup>16</sup>, tem demonstrado reverter o processo de degradação química, física e biológica dos solos ácidos tropicais, pois esta é uma técnica completa que pretende conservar a estrutura grumosa do solo em sua superfície. Isso ocorre porque a principal consequência da adoção do sistema de plantio direto em relação ao convencional é o aumento do teor de matéria orgânica do solo (devido ao

---

<sup>13</sup> Bioestrutura: sistema de grumos e poros produzidos pela microvida em presença de matéria orgânica e água.

<sup>14</sup> Agregados: disposição das partículas do solo (areia, silte e argila) aderidas de tal modo que se comportam mecanicamente como uma só unidade.

<sup>15</sup> Argila 2:1: argila do tipo três camadas. Sua estrutura é em lâminas compostas de duas camadas de tetraedros de silício e uma central de octaedro de alumínio. Exemplos são a montmorilonita, illita e vermiculita. Possuem carga superficial elevada e fixa (não dependente de pH). São comuns em solos pouco intemperizados.

<sup>16</sup> Plantio direto: compreende um conjunto de técnicas integradas que visa melhorar as condições ambientais (água, solo, clima) para explorar da melhor forma possível o potencial genético de produção das culturas. Respeitando-se três requisitos mínimos – não revolvimento do solo, rotação de culturas e uso de culturas de cobertura para formação de palhada, associada ao manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.

ambiente menos oxidativo e ao menor contato dos resíduos vegetais com o solo), o não revolvimento do solo e a proteção da superfície do solo contra o impacto das chuvas e a insolação (Figura 2).

A manutenção da palha na superfície do solo, somada à ausência de revolvimento do solo, ajudam a reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Além disso, o plantio direto diminui o risco e o custo da produção agrícola pelo menor uso de fertilizantes, de pesticidas e de combustível (MACHADO; SILVA, 2001), o que também resulta em menor emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera.

A utilização do plantio direto é uma tecnologia crescente, sendo que em 2003, na região dos Cerrados, já representava 40,78% dos sistemas de plantio. Em 2009 esse porcentual já havia ultrapassado os 65% (MACEDO, 2009).

Bernoux e Volkoff (2006), em extensa revisão de literatura das alterações dos estoques de carbono da matéria orgânica do solo, entre plantio direto e cultivo convencional, observaram taxas de acúmulo de C variando de 0,4 a 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a região do Cerrado, quando avaliaram até a camada de 40 cm de solo. A Tabela 8 mostra que a adoção do plantio direto na região do Cerrado foi o sistema que mais aumentou o estoque de carbono no solo até 1 m de profundidade em relação ao solo sob vegetação nativa do Cerrado.

**Tabela 8.** Estoques de C, taxas de acúmulo e perdas na camada de 1 m de profundidade no solo sob Cerrado e sob outros usos e manejo da terra. Adaptado de Carvalho et al. (2010) modificado de Corazza et al. (1999).

Sistema de uso	Estoque de C no solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	Variação em relação ao Cerrado nativo		
		Estoque de C no solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tempo (Ano)	Taxa de acúmulo ou perda (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Cerrado	133	-		
Eucalipto	148	+ 15	12	+ 1,25
Pastagem cultivada	150	+ 17	18	+ 0,94
Grade pesada	125	- 8	12	- 0,67
Arado de disco	128	- 5	15	- 0,33
Plantio direto	155	+ 22	15	+ 1,47

Outra importante característica do plantio direto é o menor uso de maquinário agrícola. No sistema convencional, o uso inadequado ou excessivo de implementos pulveriza e desestabiliza os agregados do solo, resultando em um aumento da macroporosidade temporária na camada mobilizada e uma compactação ou adensamento do solo imediatamente abaixo dessa camada devido ao excesso de tráfego de máquinas e equipamentos, que diminui o crescimento radicular nessa camada e a condutividade hidráulica, aumentando os riscos de erosão. A macroporosidade temporária proporcionada pelos preparos do solo é rapidamente perdida pela acomodação das partículas de solo desagregadas em virtude das chuvas, diminuindo por consequência as trocas gasosas (oxigênio) e o crescimento das raízes das plantas (TREIN et al., 2009).



**Figura 2.** Cultura de soja sendo colhida para o plantio em seguida da cultura do milho safrinha. A palha é deixada sobre o solo, que não é revolvido no plantio posterior.

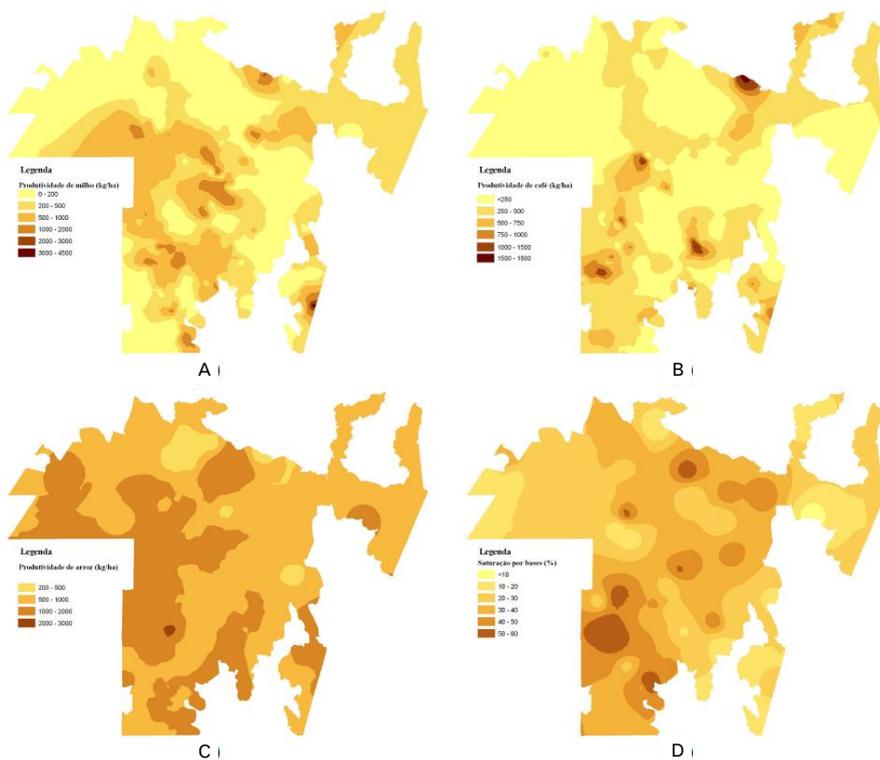
Outra forma de produção sustentável tropical é o sistema Lavoura-Pecuária-Floresta, que possibilita a produção de grãos, madeira e na mesma área a ocupação com a pecuária. Esse sistema garante uma diversificação e a manutenção do solo sempre vegetado, proporcionando o controle da erosão e aumento da produtividade, o que reduz a pressão pela abertura de novas áreas naturais.

A implantação de fábricas de papel e celulose em solos de baixa fertilidade, onde preponderava a pecuária de corte no nordeste do Estado de Mato Grosso do Sul, e outras iniciativas no Paraná e em Minas Gerais, tem incentivado o plantio de árvores em fileiras duplas ou triplas, espaçadas de 8 a 14 metros, dependendo do interesse do proprietário, aumentando a possibilidade de integração com a agricultura e a pecuária, e a diversificação de renda do produtor rural (MACEDO, 2009). De acordo com o mesmo autor, as estatísticas sobre áreas utilizadas com o sistema Lavoura-Pecuária-Floresta são precárias e não se tem a dimensão correta de sua extensão. Estima-se que cerca de 5% da área de culturas anuais já pratique em algum grau essa tecnologia.

### **Fertilidade do solo e o uso de geotecnologias**

O conhecimento das distintas variáveis da fertilidade do solo auxilia como importante ferramenta para o desenvolvimento de projetos relacionados a métodos de interpolação e metodologias estatísticas para validar a correlação entre as características referentes aos solos (potencial hidrogeniônico, capacidade de troca de cátions, soma de bases, saturação por bases e nutrientes minerais do solo) e a intersecção dos planos de informação relacionado ao desenvolvimento das culturas, bem como a produtividade agropecuária. Além disso, a integração entre resultados de modelos de pesquisa operacional, que avaliem eficiência e sustentabilidade agrícola, e mapas de fertilidade de solo de áreas onde predominam solos de elevada ou baixa fertilidade e as produtividades das culturas são igualmente interessantes e podem resultar em informações que auxiliem os agricultores em suas tomadas de decisão.

A Figura 3 ilustra um claro exemplo da correlação entre os conceitos de fertilidade do solo e o emprego de geotecnologias, tal como o uso de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. A Figura 3 elaborada por Mangabeira et al. (2005) mostra por meios de mapas confeccionados a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento que as menores produtividades das culturas encontram-se em solos de menor fertilidade nutricional. Este trabalho, de uma equipe de pesquisadores da Embrapa Monitoramento por Satélite, está inserido em um amplo projeto realizado em um assentamento de pequenos produtores rurais de Machadinho d'Oeste, RO, desde 1986.



**Figura 3.** Interpolação dos valores de produtividade das culturas de milho (A), café (B) e arroz (C) e do percentual de saturação por bases (D). Elaborada por Mangabeira et al. (2005).

## Referências

ALVES, F. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 90-8, 2006.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. Soil carbon stock in soil ecoregions of Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. (Ed.). **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth, 2006. p. 65-75.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELO, C. R. de.; CERRI, C. E. P. Potencial de seqüestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E. D.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

FAO. Food and Agriculture Organization. **The state of food insecurity in the world: economic crises – impacts and lessons learned**. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0876e/i0876e00.htm>>. Acesso em: 14 set. 2010.

JANSEN, S.; SMETS, E.; HARIDASAN, M. Aluminum accumulation in flowering plants. In: BLUMEL, D. D.; RAPPAPORT, A. (Ed). **Mc-Graw Hill Yearbook of Science and Technology**. New York: McGraw-Hill, 2003. p. 11-13.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2004. 531 p.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009. (supl. especial).

MACHADO, P. O. L. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 119-130, 2001.

MALAVOLTA, E. **A prática da calagem**. 3. ed. Sorocaba: Indústria Mineradora Pagliato Ltda, 1984. (Boletim Técnico, 2).

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN H. D. **Desordens nutricionais no Cerrado**. Piracicaba: Potafos, 1985. 136 p.

MANGABEIRA, J. A. de C.; VALLADARES, G. S.; BATISTELLA, M.; GOMES, E. G. Relação espacial entre produtividade agrícola e fertilidade do solo com uso de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBSR, 2005. p. 193-195.

MELLO, F. de A.; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. 18. ed. São Paulo: Nobel, 2006. 549 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

SIQUEIRA, J.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Ciências agrárias nos trópicos brasileiros. Brasília, DF: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 235 p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba, SP: Agropecuária, 1997. 274 p.

TREIN, C. R.; MACHADO, A. P.; LEVIEN, R. Compactação do solo por rodados: podemos evitá-la? **Revista Plantio Direto**, v. 114, p. 28, 2009.



---

*Monitoramento por Satélite*

**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

