

Capítulo 1

Amostragem de solo para análises de fertilidade, de manejo e de contaminação

José Carlos Chitolina
Fábio Prata
Fábio Cesar da Silva
Antonio Marcos Coelho
Dorothy C. Pinatti Casarini
Takashi Muraoka
André César Vitti
Antônio Enedi Boaretto



1. Introdução

A história da análise de solo, de acordo com Boaretto et al. (1988), pode ser assim resumida:

“A análise de solo provavelmente começou quando o homem interessou-se por saber como as plantas crescem. Pode-se dizer que foi Justus Von Liebig (1840) o primeiro a fazer a análise de solo. Desde aquela época até o início da década de 1920, pouco progresso foi feito, ainda que Dyer (1894), Hilgard (1911) e Burd (1918) tenham dado significativas contribuições para a química de solo. No final da década de 1920 e no início da de 1930, porém, importantes contribuições foram feitas por Bray (1929), Herster (1934), Morgan (1932), Spurway (1933) e Truog (1930). Desde então, a análise do solo tem sido largamente aceita como fator essencial à formulação de um programa de adubação e calagem (MELSTED; PECK, 1973; CATANI; JACINTO, 1974)”.

A análise química do solo é o instrumento básico para a transferência de informações, sobre calagem e adubação, da pesquisa para o agricultor. É possível, por meio de uma análise de solo bem feita, avaliar o grau de deficiência de nutrientes e determinar as quantidades a serem aplicadas nas adubações (RAIJ et al., 1985). Por esse conceito, pode-se concluir que a análise de solo, para avaliação de fertilidade, tem como objetivo conhecer o grau de fertilidade para uma adequada recomendação de corretivos e fertilizantes, com vista à produção, sendo atualmente de constante emprego, e, mais recentemente, é utilizada também para monitoramento de poluição de solos.

Em síntese, a coleta de amostras representativas de solo é essencial para a avaliação precisa das necessidades de corretivos e de fertilizantes, o que possibilita a obtenção de rendimentos econômicos. A amostra representativa é aquela que melhor reflete as condições de fertilidade de uma área específica.

Para que os objetivos sejam atingidos, é necessária a realização de várias atividades, que vão desde a amostragem do solo até a recomendação do corretivo ou do adubo. De fato, correspondem às seguintes etapas (Fig. 1): amostragem do solo, envio ao laboratório, preparo da amostra e análise química (extração e quantificação dos nutrientes), interpretação dos resultados das análises, recomendação propriamente dita e confirmação de procedimentos (CHITOLINA, 1982; BOARETTO et al., 1988).

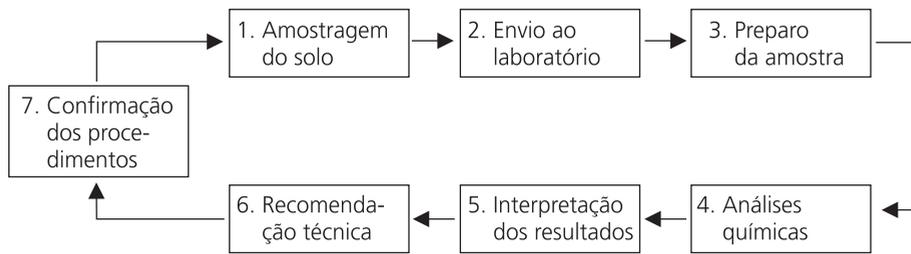


Fig. 1. Diagrama ilustrativo das etapas do programa de análise química de plantas.

Dessas etapas, a que mais induz o trabalho a erros finais é, sem dúvida, a amostragem, como demonstram vários autores (HAUSER, 1973, citado por ORLANDO FILHO; RODELLA, 1983; JORGE, 1986).

Há muito tempo, a amostragem de solo é o primeiro passo imprescindível para o sucesso do empreendimento rural, pois dela dependerá a utilização racional e econômica dos insumos na lavoura.

Atualmente, os esquemas de amostragem podem ser divididos em duas categorias básicas: ao acaso e sistemática. A amostragem ao acaso é o método utilizado para a agricultura convencional. Já a amostragem sistematizada é o sistema recomendado para aplicação das tecnologias da agricultura de precisão e controle de poluição ambiental, sendo o método mais adequado para diagnosticar a variabilidade espacial das propriedades do solo de uma área, pois a variabilidade em todas as direções é levada em consideração.

No levantamento da contaminação de áreas naturais feito pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) a fim de conhecer as concentrações de metais, em que era possível utilizar ambas as estratégias de amostragem, recomendou-se não secar as amostras à sombra; pelo contrário, as amostras foram conservadas à temperatura de 4 °C para envio ao laboratório, considerando a volatilização de contaminantes de interesse. Um cuidado prático de rotina da Cetesb na investigação de áreas contaminadas é o uso de luvas cirúrgicas no manuseio das amostras.

2. Amostragem

A amostragem é a série de operações que permite extrair de um sistema porções que, combinadas e reduzidas a tamanhos apropriados, dão uma parcela com características representativas do sistema

(CHITOLINA, 1982). Cada uma dessas porções é chamada amostra simples e a combinação delas, amostra composta (PAGE et al., 1986).

Informa-se que de 80 % a 85 % do erro total nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos pode ser atribuído à amostragem no campo, e de 15 % a 20 % dele pode ser decorrente do trabalho de laboratório (HAUSER, 1973, citado por ORLANDO FILHO; RODELLA, 1983). Entretanto, Jorge (1986) relata em seu trabalho que a amostragem do solo é a etapa componente do programa de análise responsável por 98 % dos erros.

A quantidade de terra normalmente amostrada, em uso em cada determinação no laboratório, resume-se a alguns gramas, sendo geralmente necessários, no total, cerca de 20 g. O esquema abaixo (MIRANDA, 1982) ilustra bem a necessidade de se proceder a uma boa amostragem:

- Peso médio da camada arável de 1 ha de solo: 2.000.000 kg.
- Peso médio da amostra enviada ao laboratório: 0,5 kg.
- Peso médio da amostra analisada no laboratório: 0,01 kg.

Por esse esquema, percebe-se que o material (terra) analisado em laboratório é mínimo em relação a um contexto de 1 ha, com 20 cm de profundidade. Assim, todas as instruções para coleta devem ser observadas para se obterem amostras representativas. Uma amostra de solo composta não deve ultrapassar 10 ha–20 ha, fração equivalente a 1 ou 2 partes por bilhão do volume de solo amostrado. Em cálculo semelhante, Malavolta (1992) enfatiza essa idéia, ao conferir que aquele número corresponde a 2 segundos em um ano. Assim, ao mesmo tempo em que se atenta para a responsabilidade de quem colhe a amostra, constata-se que o acerto das recomendações de adubação com base numa amostra tão pequena chega a ser um milagre. Portanto, é fundamental estabelecer um adequado plano de amostragem do solo para a obtenção de amostras representativas.

2.1 Causas das variações no solo

Várias são as causas que favorecem a maior ou a menor variabilidade dos nutrientes e de elementos traço nos solos, cujos destaques são o tipo e a intensidade de adubação, as características dos nutrientes, o uso de resíduos orgânicos e o sistema solo–planta–atmosfera.

A variação de nutrientes no solo ocorre horizontalmente e em profundidade. No primeiro caso, ela ocorre principalmente em razão da forma de adubação e da planta, ao passo que no segundo a variação é decorrente das características dos elementos, do sistema de manejo e do sistema solo–planta–atmosfera.

2.1.1 Variação horizontal

A variação horizontal pode ser exemplificada pela relação linha de plantio e entrelinha, no plantio direto.

Como nesse sistema não ocorre o revolvimento do solo, sua homogeneização provocaria acúmulo de nutrientes na linha de plantio em relação à entrelinha. Nesse caso, ter-se-ia, em uma gleba homogênea, uma mesma cultura com os mesmos tratos e com variações de nutrientes decorrentes da adubação na linha.

Essa variação ocorre em culturas perenes, de acordo com a relação copa/linha. Por exemplo, em cana-de-açúcar, em sistema de plantio direto (PREVEDELLO, 1987). Boaretto et al. (1988) e Nick et al. (1995) enfocaram a amostragem de solo na cultura do cafeeiro, com ocorrência de variação tanto horizontal quanto vertical nos diferentes parâmetros químicos (pH, Al, K, Ca, Mg, P, C%, V% e CTC). O problema dessa variabilidade é agravado com a tendência de os fertilizantes se localizarem em culturas perenes, pois cria-se um gradiente decrescente de concentração do nutriente no solo à medida que se afasta da fonte fertilizante, o que é difícil de ser representado em uma amostra.

2.1.2 Variação vertical

A variação vertical corresponde às diferentes estratificações dos nutrientes no perfil do solo, ou seja, às variações desses elementos em profundidade.

Tomando como exemplo o caso das chamadas culturas temporárias e os diferentes sistemas de manejo, plantio direto e plantio convencional, pode-se entender melhor a variação vertical.

Ao avaliar a fertilidade do solo em estudos comparativos entre plantio direto e convencional, ambos com 19 anos de implantação, em 4 profundidades (de 0 a 5 cm; de 5 cm a 10 cm; de 10 cm a 15 cm e de 15 cm a 20 cm), Hikishima et al. (1996) constataram que a maior

estratificação dos nutrientes na camada superficial (de 0 a 5 cm) ocorreu no plantio direto, ao passo que no sistema convencional de cultivo os nutrientes se apresentaram mais homogêneos no perfil. Nesse trabalho, os autores mostram a menor variação vertical no plantio convencional em relação ao plantio direto, por causa do não revolvimento do solo neste último.

A comparação dos elementos mostra que o fósforo varia mais verticalmente que o potássio (HIKISHIMA et al., 1996). Isso pode ser atribuído principalmente ao fenômeno de adsorção específica do fósforo, o que torna esse elemento menos percolado que o potássio no perfil, e à maior concentração de matéria orgânica na superfície, que é grande fonte de fósforo para o solo.

3. Plano de amostragem: separação das áreas uniformes

Quando se pensa em amostragem de solo, o primeiro passo deve ser a divisão da área em glebas homogêneas. Para isso, e de acordo com o mapa de fertilidade da área, devem ser levados em conta o tipo de solo, a topografia, a vegetação e o histórico da cultura de manejo da área.

A homogeneidade das glebas é determinada conforme os seguintes fatores (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1978; RIBEIRO et al., 1999): relevo, cor do solo, cobertura vegetal ou cultura, textura, drenagem e histórico de manejo da área (SARAIVA, 1989). A Fig. 2 apresenta um plano de amostragem de 4 áreas, em que há necessidade de se coletarem 10 amostras compostas; coletam-se as amostras simples (subamostras) percorrendo o terreno em esquema de ziguezague.

As demarcações das glebas de solos podem ser diferenciadas pela cor, pela textura, pela profundidade do perfil, pela topografia e por outros fatores. Se todos esses fatores forem homogêneos em uma lavoura, mas nela existe uma parte já utilizada ou adubada (ou corrigida com calcário), essa parte deve ser amostrada separadamente.

É conveniente lembrar que uma área considerada homogênea não o é quimicamente. Se isso fosse verdadeiro, não seria necessário lançar mão de um processo de amostragem, bastando a coleta de apenas uma amostra.

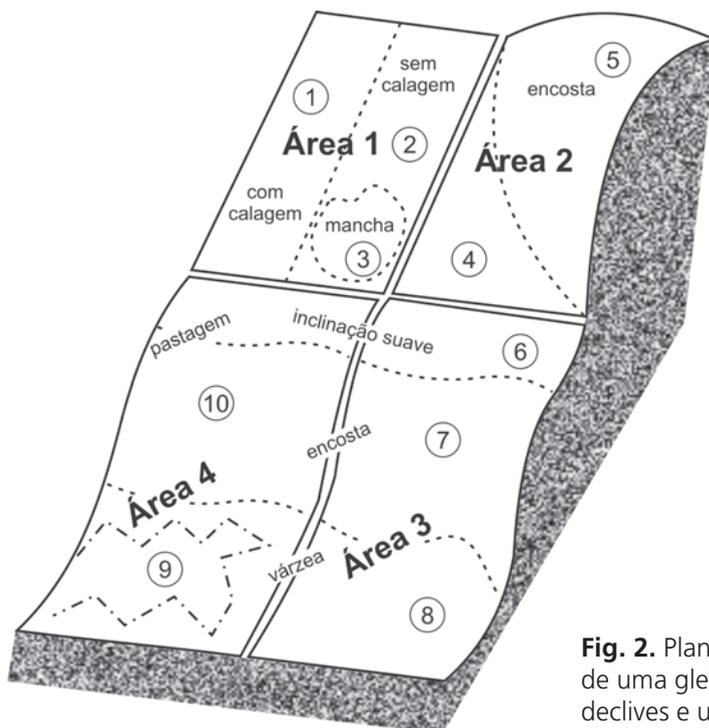


Fig. 2. Plano de amostragem de uma gleba com diferentes declives e usos do solo.

4. Tipos de amostra e parâmetros a serem medidos na amostra

4.1 Amostra simples x amostra composta

Para a análise de terra, o agricultor toma ao acaso, de um certo número (n) de locais, por toda a área em estudo, amostras da camada de 0 a 20 cm. De cada local, tomam-se, aproximadamente, 500 g de terra, que constituem uma amostra simples. Misturando cuidadosamente todas as amostras simples, obtém-se uma amostra composta, da qual se retira o material a ser analisado. Mesmo que a área estudada seja considerada razoavelmente uniforme ou homogênea, as amostras simples diferem entre si, e sua variação influi nos dados obtidos da amostra composta. A estatística confere que a amostra composta será tanto mais representativa quanto maior for o número de amostras simples que a compõem. Em outras palavras, valores obtidos com uma amostra

composta de 5 amostras simples, por exemplo, são muito menos seguros ou representativos do que uma amostra composta de 20 ou 30 amostras simples (PIMENTEL-GOMES, 1995). Para demonstrar essa situação, Pimentel-Gomes (1987, 1995) apresenta suas considerações fundamentadas em dados de Chitolina (1982).

Admitindo que o nível de pH, por exemplo, da amostra composta de n amostras simples seja m , então o erro padrão dessa média m , em porcentagem, será $E\% = CV/\sqrt{n}$, em que o coeficiente de variação CV é dado por $CV = (s/m) \times 100$; s é o desvio padrão relativo a cada amostra simples. Está claro que o valor de s é desconhecido, mas pode ser obtido facilmente por método estatístico simples. Tomando por base os dados obtidos por Chitolina (1982) para uma área de 10 ha de Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa, média $m = 4,80$ de pH e $s = 0,13$, conclui-se que o coeficiente de variação é $CV = (0,13/4,80) \times 100 = 2,70\%$.

Esse coeficiente de variação, muito baixo, contrasta com os valores sempre acima de 20 % para potássio (K) e fósforo (P) trocável nesse mesmo solo e também em terra roxa estruturada.

O erro padrão da média, em porcentagem, $E\% = 2,70/\sqrt{n}$, é, para $n = 5$ (cinco amostras simples ou locais de coleta de amostra), $E\% = 2,70/\sqrt{5} = 1,21\%$.

Tomando como 100 % o pH $m = 4,80$ estimado, pode-se, com 95 % de probabilidade, afirmar que a verdadeira média (desconhecida) estará entre $100 - 2 \times 1,21 = 97,6\%$ e $100 + 2 \times 1,21 = 102,4\%$ do valor $m = 4,80$ estimado, isto é, entre $(97,6/100) \times 4,80 = 4,68$ e $(102,4/100) \times 4,80 = 4,92$.

Tal resultado é excelente e demonstra que o uso de apenas cinco amostras simples é suficiente. Mas, para outros resultados analíticos, isso não pode acontecer. Portanto, o erro padrão da média obtida em análises químicas de uma amostra composta de terra depende do coeficiente de variação (CV) e do número n de amostras simples. Mas esse coeficiente de variação depende da heterogeneidade da área amostrada e também do tipo de análise química.

Os dados relativos a dois tipos de solo mostram que é baixo o coeficiente de variação de pH e matéria orgânica, mas relativamente alto o de Al trocável, K trocável e fósforo (CHITOLINA, 1982). Daí, resulta que o número adequado de amostras simples para uma boa precisão dos teores estimados de pH ou de matéria orgânica pode ser insuficiente para alumínio, potássio (trocáveis) ou fósforo extraível. Como

conseqüência, o número de amostras simples deve ser fixado de acordo com as análises de maior coeficiente de variação. Tal número conferirá ao pH e à matéria orgânica precisão além da necessária, sem prejuízo dos resultados (PIMENTEL-GOMES, 1995).

Mesmo nos piores casos, como o do K ou do P, é provável que com 30 amostras simples se obtenha valor de E em torno de 10 % e intervalo de confiança de comprimento aproximado de 34 %, se adotado o nível de 90 % de probabilidade. De acordo com Pimentel-Gomes (1995), baseado nos dados obtidos por Chitolina (1982), tal precisão deve ser suficiente na maioria dos casos práticos.

Outros estudos sobre solos podzólicos, fase terraço e encosta, apresentam uma estratégia de amostragem de uma área com base na relação $n = (t \times CV/f)^2$, em que n é o número de amostras simples necessárias para que uma amostra composta apresente uma porcentagem de variação (f) com 95 % de probabilidade (t) em torno do valor analítico médio verdadeiro, conhecendo-se o coeficiente médio de variação (CV) da característica em questão. O coeficiente de variação das características estudadas apresentou a seguinte ordem de magnitude:

Terraço: P > K > Al > Ca + Mg > pH

Encosta: K > P > Ca + Mg > Al > pH

Conclui-se daí que o número de 30 amostras simples por hectare desses tipos de solo da região considerada (Viçosa, MG) assegura para pH, P, K, Ca + Mg e Al no terraço – quanto à variação permitida em torno da média – precisões de 1,7 %, 51,5 %, 29,9 %, 6,2 % e 13,5 %, respectivamente; na encosta, os valores são 1,4 %, 22,3 %, 43,1 %, 15,7 % e 13,0 %, respectivamente (BARRETO et al., 1974).

A maioria dos autores concordam que é de 10 a 30 o número de amostras simples que formam 1 amostra composta, valor que pode variar conforme o tamanho da gleba (JACKSON, 1958).

Demonstrou-se, porém, que a obtenção de 1 amostra composta formada por 5 amostras simples pode ser suficiente para que as recomendações de adubação sejam, em sua maior parte, adequadas à resposta das culturas, desde que se tenha um conhecimento prévio da

área a ser amostrada. Tais afirmações mostram que, para 5 amostras simples, o coeficiente de variação é maior em relação a 20 amostras simples na formação da composta. A média, todavia, varia muito pouco, o que não interfere na recomendação de adubação, pelo fato de as tabelas de recomendação de adubação basearem-se em classes de teores de nutrientes no solo, as quais dão considerável amplitude aos teores desses nutrientes (CHITOLINA et al., 1995).

4.2 Parâmetros químicos com maior e menor variação

A variabilidade das características químicas e físicas dos solos é um atributo particularizado, que é modificado pelo manejo. Becket e Webster, citados por Saraiva (1989), mostraram que os componentes de variância expressos na forma de coeficientes de variação correspondem a aproximadamente 10 % em propriedades pouco influenciadas pelo manejo, como areia, silte ou P-total; a 25 % em matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e N-total; e a 35 %–50 % em fatores de P e K-disponíveis e Ca e Mg trocáveis, que são muito mais afetados pelo manejo. Alguns coeficientes de variação chegaram a superar os 100 %, principalmente nos casos de P e K disponíveis, em solos que já haviam sido adubados. Já o pH e a matéria orgânica são características de menor variabilidade (BARRETO et al. 1974; CHITOLINA, 1982; SARAIVA, 1989).

5. Tamanho das glebas e número de amostras

Para glebas uniformes, propõe-se a retirada de 3 amostras compostas, formadas de 20 simples cada uma, em áreas de 5 ha aproximadamente, considerando que variações de 20 % da média dos resultados analíticos de C-total e de Ca e K trocáveis e variações de 5 % de pH não afetaram as conclusões a respeito da fertilidade do solo (CATANI; JACINTO, 1974). Já a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1978) recomenda, para a formação de uma amostra composta, para análise de fertilidade, a mistura de 25 a 30 amostras simples retiradas de áreas de 5 ha a 7 ha. Para a definição da quantidade ou do número mínimo de amostras simples que deverá formar uma composta, é necessário avaliar, antecipadamente, o tamanho da área, conforme a Tabela 1 (MIRANDA, 1982).

Entretanto, Rodrigues e Têneas (1982) recomendam, para cada tipo de manejo do solo, e associada ao aspecto de uniformidade, uma

Tabela 1. Número de amostras simples, em relação ao tamanho da área, para formar uma amostra composta (MIRANDA, 1982).

Tamanho da gleba	Número de amostras simples
Até 3 ha	15
De 3 a 5 ha	20
De 5 a 10 ha	30

amostra composta de 20 amostras simples a cada 20 ha. Nos locais onde o uso do solo é intensivo, deve-se tomar uma amostra a cada 2 ha ou no máximo a cada 5 ha. Malavolta (1992), por sua vez, recomenda a coleta de 1 amostra composta de 10 amostras simples para glebas de 1 ha até 50 ha.

No Brasil, de maneira geral, recomenda-se a retirada de 10 a 30 amostras simples (subamostras) para formar uma amostra composta, recolhidas em terreno em ziguezague, como se observa na Fig. 2, em áreas de 10 ha a 15 ha, dependendo da uniformidade do terreno e do manejo do solo.

Na realidade, não existe apenas uma técnica disponível, ou seja, cada comissão estadual adota um direcionamento geral, dependendo de peculiaridades da sua agricultura.

Enquanto alguns autores baseiam o número de amostras conforme o tamanho da área, outros salientam que a área que cada amostra de terra representa (amostra composta) pode variar de um vaso de flores (10 cm²) a muitos hectares e que a homogeneidade dada pela adequada escolha da área é o principal fator determinante do tamanho da área abrangida (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994; CHITOLINA et al., 1995). Ressalte-se que o critério que fundamenta toda amostragem em uso é o fato de as propriedades químicas dos solos variarem até mesmo em pequenas distâncias. No entanto, acima de 20 amostras simples ou subamostras, a variação no erro de amostragem é muito pequena.

6. Local, profundidade e frequência de amostragem

A amostragem do solo não é uma técnica tão simples que possa ser resolvida apenas com a análise estatística, pois, além da heterogeneidade química do solo, há que se considerar as várias culturas e sistemas de

cultivo. Entretanto, há consenso sobre o melhor local – que é aquele onde a planta está absorvendo os nutrientes predominantes – e a profundidade ideal para se fazer a amostragem.

Em um sistema de cultivo onde ocorre concentração de nutrientes em determinadas faixas do terreno, como é o caso do plantio direto, no qual o solo não é revolvido, os nutrientes estratificam-se na camada superficial, concentrando-se nas linhas de aplicação. Essa é uma situação completamente diferente da que ocorre no sistema convencional de cultivo, em que o solo é homogeneizado a cada cultivo por meio de aração e gradagem. Diferenças ocorrem também no caso da cultura da cana-de-açúcar, das pastagens e de outras culturas e sistemas.

Na prática, as amostras de solo podem ser coletadas em qualquer época do ano. Entretanto, considerando que o envio para o laboratório exige de 4 a 5 dias (ou até mais) e que são necessárias 3 semanas desde o processamento das amostras no laboratório até o recebimento dos resultados, aconselha-se amostrar o solo 2 meses antes da adubação.

6.1 Culturas temporárias

Culturas temporárias ou anuais são aquelas que se estabelecem numa área durante a safra; em outras palavras, são aquelas culturas que têm ciclo (semente a semente) num determinado período do ano. A rigor, essas culturas podem ser conduzidas em um determinado ambiente sob diferentes sistemas de manejo, como o sistema de plantio convencional ou o plantio direto. Como esses dois sistemas de manejo diferem segundo a distribuição dos nutrientes no solo, eles serão comentados separadamente.

6.1.1 Sistema de cultivo convencional

O sistema de cultivo convencional caracteriza-se pelo preparo do solo com aração e gradagem. Nesse sistema de manejo, o corretivo (aplicado em área total) e o adubo (aplicado em linha) são homogeneizados no solo após os referidos processos de preparo, até uma profundidade média de 20 cm, onde as raízes das plantas se concentram. A literatura é bem clara quanto à recomendação de amostragem para esse sistema de cultivo. Dentro da gleba considerada homogênea, recomenda-se a coleta das amostras em ziguezague, mantendo sempre um volume similar, a 20 cm de profundidade (BARRETO

et al., 1974; MIRANDA, 1982; RAIJ et al., 1985; JORGE, 1986; BOARETTO et al., 1988), onde a maior parte das raízes se concentra.

Em solos de vegetação de cerrado, em razão da freqüente ocorrência de alta saturação de alumínio no subsolo, que prejudica o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, da absorção de água nas camadas mais profundas em períodos de verão, é aconselhável fazer amostragem de solo de 30 cm a 40 cm de profundidade, mesmo para culturas anuais. A primeira amostra deve ser tomada entre 0 e 15 cm ou entre 0 e 20 cm e a segunda, entre 15 cm e 30 cm ou entre 20 cm e 40 cm, na mesma cova (MIRANDA, 1982).

A freqüência de amostragem pode variar de 1 a 4 anos, dependendo da intensidade de adubação e do número de culturas anuais sucessivas. Para glebas que receberam maiores aplicações de adubo, deve-se aumentar a freqüência (RAIJ et al., 1985). Existem casos especiais de culturas já implantadas em que, por algum motivo, deve-se proceder a uma amostragem. Nessa situação, o número de amostras deve obedecer a uma relação linha/entrelinha, por causa das diferenças de concentração de nutrientes, podendo, assim, a amostragem ser comparada com o que ocorre no sistema de plantio direto.

6.1.2 Sistema de plantio direto

O sistema de plantio direto na palha caracteriza-se pelo não revolvimento do solo, sendo a cultura semeada diretamente sobre a palhada da antecessora.

A variabilidade dos índices de fertilidade (fósforo, potássio, matéria orgânica, pH e índice SMP) no sistema plantio direto com adubação a lanço é similar àquela no sistema convencional. A variabilidade aumenta quando a adubação do sistema plantio direto é feita na linha de semeadura, sendo maior na fase de implantação (até 5 anos), em relação à fase estabelecida (COELHO et al., 2006).

Com o passar dos anos, ocorre um acúmulo de nutrientes e de matéria orgânica nos primeiros centímetros de solo (SÁ, 1993, 1995a; COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994; HIKISHIMA, 1996; IAPAR, 1996), em razão basicamente da mobilidade dos íons no solo, da não incorporação de fertilizantes e corretivos por meio do revolvimento e do enriquecimento das camadas mais superficiais pela decomposição dos resíduos culturais (IAPAR, 1996).

Uma amostra coletada entre 0 e 20 cm de profundidade, como se faz no sistema convencional de cultivo, não detecta necessariamente as diferenças acima comentadas, resultando em dados que não representariam a média da lavoura. Por isso, a literatura sugere diferenças na profundidade de coleta das amostras em relação à indicada no plantio convencional.

Atualmente, sugere-se que a amostragem seja feita nas profundidades de 0 a 5 cm e de 6 cm a 20 cm, podendo as amostras serem coletadas também na camada intermediária de 6 cm a 10 cm (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994; IAPAR, 1996).

Na cultura do milho em plantio direto, verificaram-se diferenças de P extraível nas profundidades de amostragem de 0 a 10 cm e de 10 cm a 20 cm. No primeiro caso, foi extraído mais P, o que pode ser explicado, principalmente, pelo não removimento do solo (SÁ, 1995b). Encontrou-se também maior correlação entre o P extraído e a resina trocadora de ânions em relação aos atributos da planta quando a coleta da amostra de solo foi feita na camada de 0 a 10 cm – realizada somente nas entrelinhas –, após a colheita do milho (20 amostras simples para a formação de uma composta).

Considera-se ainda que a profundidade de amostragem de referência para a tabela de interpretação dos teores de P pela resina de troca aniônica definida por Raij et al. (1985), por exemplo, é de 0 a 20 cm e que, naturalmente, em razão disso, deve-se definir a camada a ser amostrada que melhor represente a planta e os solos sob plantio direto. Dessa forma, alguns ajustes merecem ser considerados nas tabelas de recomendação de adubação, uma vez que elas são originadas de curvas de calibração nas quais a amostragem do solo foi feita de 0 a 20 cm.

Outro elemento importante na amostragem de solos sob plantio direto é o local de amostragem. A adubação fosfatada e a potássica são predominantemente realizadas no sulco e no momento do plantio, formando nessa linha de adubação uma faixa de maior concentração desses nutrientes em relação à entrelinha. Essa situação é constatada quando se comparam as culturas de milho, soja e cereais de inverno: as linhas de plantio do milho são maiores que as da soja, que, por sua vez, são maiores que as dos cereais de inverno.

São raros, entretanto, os estudos sobre esse assunto. Exemplos dessa variabilidade em solo após adubação em sulco são os teores de K determinados em amostras simples colhidas a cada 4 cm perpendicular-

mente ao sulco de adubação. Os teores de K mostraram-se bem maiores na linha de adubação, reduzindo-se à medida que se aumentava a distância entre os sulcos, o que também se constatou em P (JAMES; HURST, 1995).

Tal diferença aumentou à medida que a dose de fertilizante aplicado tornou-se maior. Em razão do exposto, e a fim de controlar a variabilidade causada pela aplicação de superfosfato triplo na linha de plantio, na cultura do milho (plantado no espaçamento de 80 cm), 3/4 das amostras podem ser coletados nas entrelinhas e 1/4, nas linhas de plantio.

A Comissão de Fertilidade de Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (1994) recomenda, em áreas adubadas em linha e com solo não revolvido:

- a) Adubação a lanço – Igual à do sistema convencional; amostragem ao acaso, com trado ou pá de corte, em 20 pontos da gleba.
- b) Fase de implantação (até 5 anos) – Amostrar com pá de corte, perpendicularmente ao sentido da linha, uma faixa correspondente à largura da entrelinha da cultura com maior espaçamento introduzida no último ano agrícola (por exemplo, se os dois cultivos da gleba foram soja e trigo, respectivamente, a largura de amostragem deve corresponder ao espaçamento da entrelinha da soja). Deve ser retirada uma fina fatia de solo (aproximadamente 5 cm) em 10 ou até 12 locais por gleba para formar uma amostra composta.
- c) Fase estabelecida (mais de 5 anos), com adubação em linha – Amostrar com pá de corte, perpendicularmente ao sentido da linha, uma faixa correspondente à largura da entrelinha da última cultura. Coletar em 8 ou até 10 locais por gleba para formar uma amostra composta.
- d) Profundidade – No início do sistema, na implantação e por ocasião da próxima amostragem, que deve ocorrer ao término do terceiro cultivo, utilizar a mesma profundidade do sistema convencional (0 a 20 cm). Na amostragem seguinte, que deve ocorrer ao término do sexto cultivo, amostrar de 0 a 10 cm.

Já o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, 1996), relata que quando o agricultor fertiliza a cultura de inverno (geralmente cereais), semeadas em espaçamentos menores (15 cm a 20 cm), a distribuição de

fertilizantes na área tende a ser mais homogênea se comparada a casos de fertilização apenas nas culturas de verão (milho, soja, arroz, girassol, etc.), cujos espaçamentos são mais largos (40 cm a 100 cm). Considera ainda que essa desuniformidade tende a desaparecer com o tempo, não constituindo problema caso a área apresente um bom padrão de fertilidade a partir da implantação do sistema. Como a amostragem no sulco recentemente fertilizado pode levar a erros, recomenda-se que nessas áreas a coleta das amostras seja feita no final do ciclo da cultura de verão ou logo após a colheita – quando ainda se podem definir claramente as linhas e as entrelinhas –, não esclarecendo, entretanto, se a coleta de pontos aleatórios nas linhas de plantio levarão ou não a erros de amostragem.

6.2 Culturas perenes

As culturas perenes são culturas de ciclo longo que, uma vez estabelecidas, requerem procedimentos especiais para a realização da amostragem de solo, em decorrência do próprio manejo (movimentação mínima do solo), da aplicação superficial e localizada dos fertilizantes, da distribuição radicular, do crescimento mais lento, da demanda diferencial de nutrientes durante o ano e da maior capacidade de armazenamento de nutrientes em comparação com a maioria das culturas anuais (IAPAR, 1996).

Durante a fase de formação, e nas plantas adultas em plena produção, o adubo é colocado em faixas, parte debaixo da copa e parte fora dela na direção da entrelinha. Essas faixas vão ficando cada vez mais largas à medida que a planta cresce, podendo se tocarem com o passar do tempo. Quando isso ocorre, a cultura fica adubada praticamente em área total (MALAVOLTA, 1992).

Enquanto isso não ocorre, estabelece-se um gradiente de fertilidade vertical e também horizontal, decorrente dessa chamada faixa de adubação, que pode apresentar maior acidez em relação às outras partes do pomar, por causa da adubação.

Embora as árvores frutíferas tenham um sistema radicular mais profundo, apresentam menor demanda de elementos químicos por volume de solo e por unidade de tempo do que as culturas temporárias, por conta do crescimento lento e da absorção diferencial de nutrientes durante o ano. Isso exige a avaliação de um maior número de camadas para o diagnóstico da fertilidade (IAPAR, 1996).

A amostragem deve ser feita anualmente no meio da faixa adubada, o que corresponderia à projeção da copa, e a cada dois anos, no meio da rua. Recomenda-se fazer a amostragem à profundidades de 0 a 20 cm, mas pode-se também retirar amostras em profundidades de 0 a 10 cm. A cada quatro anos, deve-se fazer amostragem tanto no meio da faixa adubada quanto no meio da rua, colhendo-se amostras também nas profundidades de 21 cm a 40 cm (MALAVOLTA, 1992).

De acordo com o lapar (1996), devem-se retirar amostras nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 40 cm, e 40 cm a 60 cm, a cada 2 ou 3 anos, na faixa de adubação, e a cada 4 ou 5 anos, no lado externo da faixa e nas mesmas profundidades.

Já Siqueira et al. (1987) recomendam a coleta das amostras nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 cm a 40 cm antes da implantação da cultura. Para reavaliação das condições de fertilidade do solo, esses autores recomendam a coleta das amostras apenas na profundidade de 0 a 20 cm.

Já Miranda (1982) recomenda fazer a amostragem entre 15 cm e 20 cm de profundidade, isto é, na camada arável, e uma segunda amostragem até 50 cm ou 60 cm de profundidade. Se a cultura já estiver formada, as amostragens devem ser feitas na projeção da copa, a uma profundidade de 5 cm a 10 cm.

Muzilli (1978) recomenda a coleta das amostras a duas profundidades, a exemplo de Miranda (1982), mas de 0 a 20 cm e de 20 cm a 40 cm, com uma freqüência de 3 anos.

No caso de implantação da fruticultura, Raij et al. (1985) recomendam a retirada das amostras em toda a área e à profundidade de 20 cm, após a aração. Para pomar já instalado, esse autor recomenda retirar as amostras do local onde o adubo é aplicado.

Em estudo de variação de parâmetros químicos do solo e crescimento de raiz em cultura de café (11 anos), Nick et al. (1995) identificaram diferenças quanto à distribuição dos nutrientes e à concentração do sistema radicular na projeção da saia, à faixa de adubação e à rua do cafeeiro. Propõem, por esse motivo, a coleta das amostras em separado nas três localidades e também em profundidade, nas camadas, de até 40 cm.

Em áreas desconhecidas, é recomendável a retirada de amostras compostas complementares em profundidades de 20 cm a 40 cm e de

40 cm a 60 cm, para análise dos teores de argila e demais características de fertilidade. Essas amostras podem ajudar a identificar o tipo de solo e a verificar se a acidez em profundidade é alta, o que pode limitar o desenvolvimento de culturas mais sensíveis.

Às vezes é interessante retirar amostras mais cedo, antes mesmo da aração e da incorporação dos restos da cultura anterior (RAIJ et al., 1985). Nesses casos, deve-se evitar a retirada de amostras nos sulcos de plantio. Procedendo assim, é provável que a fertilidade seja ligeiramente subestimada, o que não acarreta grandes conseqüências, obtendo-se de qualquer forma amostras mais confiáveis.

6.3 Cultura da cana-de-açúcar

A análise do solo durante todo o ciclo da cana-de-açúcar não é comum. O que se faz, em geral, é a análise antes do plantio ou na reforma. A cana-planta é adubada com uma fórmula com alta concentração de fósforo e potássio e baixa de nitrogênio, pois espera-se que o fósforo aplicado no sulco de plantio dure por 3 ou 5 cortes ou mais (longevidade do canavial). A calagem também é feita antes do plantio ou da reforma. As soqueiras recebem fórmulas com alta concentração de nitrogênio e potássio e com pouco ou nenhum fósforo, sendo as doses calculadas conforme as quantidades dos dois primeiros elementos contidos no colmo, não se levando em conta o que o solo possa conter, já que ele não é analisado.

Duas perguntas são propostas pelo autor: será que a calagem antes do plantio ou o fósforo no sulco têm um efeito que dure 3, 4, 5 anos ou mais? Não seria conveniente analisar o solo depois de cada corte?

Essas perguntas ainda não foram respondidas pela pesquisa. Apesar disso, Malavolta (1992) propõe o procedimento da amostragem do solo das soqueiras e relata duas possíveis situações: cana plantada no espaçamento de 1,30 m ou 1,40 m e no espaçamento adensado de 0,90 m a 1,10 m.

No primeiro caso, como a adubação de plantio é feita em sulcos de 40 cm de profundidade e a soqueira recebe o adubo em sulcos mais rasos (15 cm de profundidade) e a 40 cm da touceira cortada, a amostragem deve ser feita logo após o corte, de 1 a 2 meses antes dos tratos culturais, variando o local de amostragem segundo se trate de cana de primeiro corte ou de cortes posteriores.

Depois do primeiro corte, as amostras devem ser coletadas em 3 pontos na linha plantada entre as touceiras cortadas e em 7 pontos no centro da entrelinha, formando assim uma amostra simples. Dez amostras simples devem ser coletadas para a formação de uma composta, caminhando-se sempre em ziguezague no canavial.

Depois dos demais cortes, como as soqueiras recebem adubação em sulcos rasos (15 cm de profundidade) e a 40 cm da linha plantada, deve-se coletar as amostras em 3 pontos no local do sulco de adubação de plantio, 5 no centro da entrelinha e 2 no sulco da adubação da soca, sendo os 8 primeiros na profundidade de 25 cm e os 2 últimos na de 10 cm.

No caso do espaçamento de 0,90 m a 1,10 m, em que a entrelinha se confunde com o lugar de adubação de soqueira, depois do primeiro corte devem-se retirar 3 amostras na linha plantada e 6 no centro da entrelinha, a 25 cm de profundidade. Depois dos demais cortes, devem-se retirar 5 amostras na linha plantada, a 25 cm de profundidade, e 5 no sulco de adubação da soca, a 10 cm de profundidade.

Tentando encontrar o local e os procedimentos de amostragem para a cultura da cana-de-açúcar, Prezoto (1982) realizou os seguintes tratamentos:

$T_1 = 2$ amostras simples retiradas na linha de cana.

$T_2 = 2$ amostras simples retiradas na entrelinha de cana.

$T_3 = 1$ amostra na linha + 1 amostra na entrelinha, formando 1 amostra composta.

$T_4 = 1$ amostra na linha + 3 amostras na entrelinha, formando 1 amostra composta.

$T_5 = 1$ amostra na linha + 5 amostras na entrelinha, formando 1 amostra composta.

$T_6 = 1$ amostra na linha + 8 amostras na entrelinha, formando 1 amostra composta.

O autor concluiu que T_1 difere dos demais quando se considera o fósforo e o potássio. Esses resultados não são surpreendentes, uma vez que a adubação usual na cana-de-açúcar é feita com N, P e K aplicados no sulco de plantio, motivando uma superestimação dos teores de P, K e Mg no procedimento estabelecido em T_1 .

Tendo em vista que o tamanho do talhão de cana-de-açúcar está em torno de 9 ha e que, na prática, não é viável a retirada de amostras

representativas em áreas de 1 ha, Prezzoto (1982) concluiu que “uma área uniforme de 9 ha ocupada anteriormente com cultura de cana-de-açúcar terá sua fertilidade média estimada por 2 amostras simples retiradas em posições distintas da área e após o preparo do solo”. Em relação à época de amostragem, Prezzoto deduziu que:

[...] tal época é fundamental para uma boa avaliação da fertilidade do solo com vista a um programa de recomendação de adubação da cana-de-açúcar. Se as amostras forem retiradas com a cultura presente, o nível de fertilidade será superestimado em relação àquele obtido com as amostras colhidas após o preparo do solo (PREZZOTO, 1982).

6.4 Pastagem

O Iapar (1996) recomenda a coleta aleatória das amostras de solo, na profundidade de 0 a 10 cm, em pastagens normais. Em pastagens degradadas, que apresentam alta porcentagem de invasoras e exigem reforma com sucessão de culturas anuais, as amostragens devem ser feitas de 0 a 20 cm de profundidade.

Em áreas cultivadas com espécies mais exigentes e sob pastejo, como capim-colonião, grama-estrela, napier, a amostragem deve ser realizada anualmente. Todavia, para forragens menos exigentes, como braquiárias, andropógon, capim-gordura, a amostragem pode ser feita a intervalos de 2 a 3 anos.

Por sua vez, Miranda (1982) sugere a realização da amostragem entre 15 cm e 20 cm de profundidade e, para solos sob vegetação de cerrado, recomenda proceder como no caso das culturas temporárias sob plantio convencional, amostrando também entre 15 cm e 30 cm ou entre 20 cm e 40 cm de profundidade. Entretanto, a profundidade de amostragem, segundo Jorge (1986), deverá ser entre 0 e 10 cm.

7. Agricultura de precisão

Os sistemas de produção incorporaram novas técnicas destinadas a aumentar a produtividade das lavouras, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os custos de produção. Dentre as alternativas disponíveis para aumentar a eficiência agrônômica do setor produtivo, tornando-o mais competitivo, as tecnologias da agricultura de precisão estão

despontando como bastante promissoras. Conceitualmente, a agricultura de precisão é uma forma integrada de gerenciamento da informação nas lavouras, que se fundamenta na existência de variabilidade espacial e temporal dentro da agricultura convencional (VIEIRA, 1986).

A origem desse moderno sistema resultou da rígida política de proteção ambiental da Europa na década de 1980. Não sendo mais permitido ao agricultor aplicar insumos em excesso, ele passou a adotar mecanismos de orientação e controle. Nos Estados Unidos, deu-se um enfoque mais comercial ao tema (MOLIN, 1997), com a introdução de conceitos da agricultura de precisão, passando a amostragem a ser sistematizada. No Brasil, algumas culturas específicas, como milho, soja, cana-de-açúcar e, com certo potencial, o café, demandam esse tipo de agricultura.

Embora as tecnologias da agricultura de precisão possam ser utilizadas na aplicação de diferentes insumos agrícolas (sementes e densidade de plantio, dosagem de pesticidas, monitoramento de pragas e doenças, etc.), foi no manejo da fertilidade do solo e no monitoramento da disponibilidade de nutrientes para as plantas que esse novo conceito de manejo foi originalmente empregado. Isso tudo ocorreu por causa da adição de fertilizantes em doses que atendam à real necessidade das plantas, que aumentem a renda dos agricultores, reduzam as perdas de nutrientes e diminuam o impacto ambiental associado à aplicação de fertilizantes. O desafio que se apresenta é o de interpretar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo a fim de que o lucro do agricultor seja aumentado sem que ocorra a aplicação de doses excessivas de fertilizantes (COELHO, 2003).

7.1 Identificação da variabilidade da fertilidade dos solos

A primeira etapa é a de identificar a variabilidade espacial dos indicadores de fertilidade do solo e, se possível, dependendo da magnitude e da estrutura espacial dessa variabilidade, estabelecer zonas uniformes de manejo (COELHO, 2003). As ferramentas desenvolvidas para dimensionar e localizar a variabilidade nos atributos físico-químicos dos solos e para aplicação localizada de insumos já se encontram disponíveis no mercado. Embora vários métodos tenham sido recomendados para identificar, caracterizar e entender a variabilidade dos atributos físico-químicos dos solos, a amostragem sistematizada é obrigatória no caso de lavouras de agricultura de precisão.

7.2 Amostragem de solos

O método mais comum para a amostragem sistemática de solos numa determinada área é o de sobrepor uma grade quadrada ou retangular em um mapa ou fotografia dessa área, identificar o local, dirigir-se a ele e coletar amostras de solos em cada célula (Fig. 3). Dentro de cada célula, a amostragem pode ser ao acaso, com a coleta de várias subamostras, ou pontual, na qual as subamostras são coletadas em um raio de 3 m a 6 m de um ponto central. A recomendação do espaçamento das grades (malhas) para amostragens de solos varia de 60 m x 60 m a 140 m x 140 m, dependendo da resolução desejada (precisão), associada aos custos. O número de subamostras simples, para compor a amostra composta, coletadas em cada célula, varia de 5 a 10, sendo maior para as células de maiores dimensões. A profundidade de amostragem deve seguir as recomendações, levando em consideração o sistema de manejo dos solos, o preparo convencional e o plantio direto estabelecido.

Pela técnica sistemática de amostragem, a área é dividida em grades de 100 m por 100 m para a coleta de cada subamostra dentro de cada célula. Em cada célula, Coelho et al. (2006) recomendam que a amostragem seja feita ao acaso, com a coleta de várias subamostras, ou pontual, na qual as subamostras são coletadas em um raio de 3 m a 6 m a partir de um ponto central (Tabela 2).

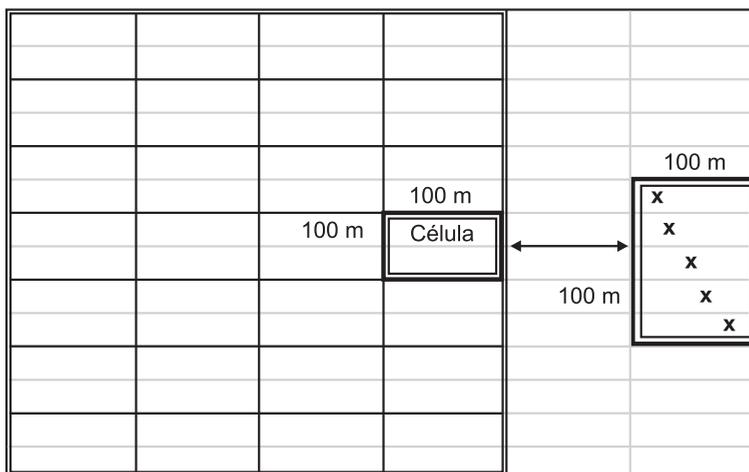


Fig. 3. Esquema ilustrativo do sistema de grade (100 m x 100 m) e locais onde subamostras de solos seriam coletadas dentro da célula, Fonte: Coelho et al. (2006).

Tabela 2. Custos da coleta de amostras de solo (0 a 20 cm) de acordo com o espaçamento da grade de amostragem utilizada⁽¹⁾

Número de amostras	Tempo (horas)	Espaçamento da grade (m)			
		140 (1,96 ha)	91 (0,83 ha)	60 (0,36 ha)	30 (0,09 ha)
		----- R\$ -----			
20	2	4,00			
48	6		12,00		
106	11			22,00	
436	36				72,00

⁽¹⁾ Área de 40 ha, com preço da mão-de-obra de R\$ 2,00 por hora.

Fonte: Coelho (2003).

A área é dividida em grade de 100 m x 100 m, cinco subamostras de solo são coletadas dentro de cada célula para formar uma amostra composta. A Fig. 4 mostra um caso real de um sistema de amostragem de solos em malhas de 141 m x 141 m (2,0 ha), em uma área de 38 ha, de uma propriedade no Município de Paracatu, MG, onde foram coletadas 10 subamostras simples em cada célula, totalizando 21 amostras compostas.

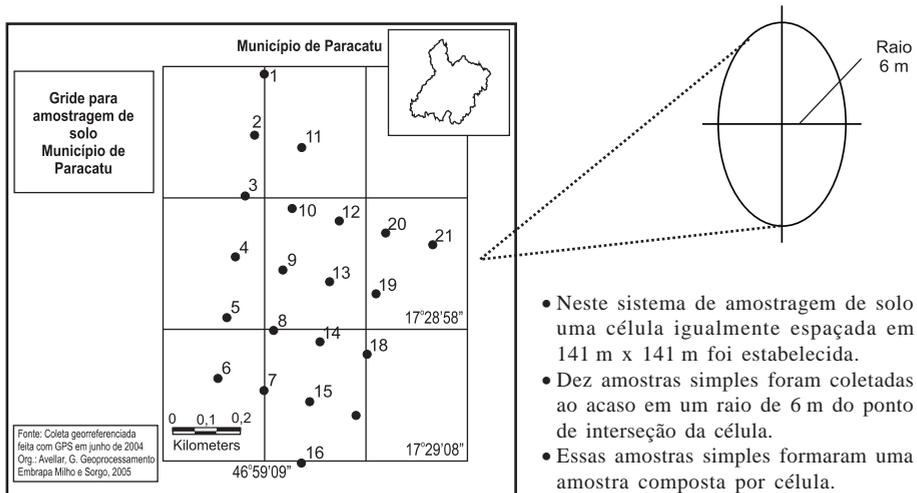


Fig. 4. Sistema de amostragem de solo em malhas de 2 hectares, de uma propriedade no Município de Paracatu, MG.
Fonte: Coelho (2005).

Um aspecto importante na análise de solos é a definição dos parâmetros a serem analisados que possibilitem identificar o nível de fertilidade da área em estudo. Nesse sentido, os seguintes parâmetros são sugeridos: pH (água ou CaCl_2), cátions trocáveis (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), P-disponível, micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe, B) e matéria orgânica. Essas determinações são importantes, pois são a base das recomendações de corretivos e fertilizantes. Outras determinações, como análise textural (areia, silte, argila), densidade global e condutividade elétrica, podem também ser realizadas.

7.3 Custos de amostragem, análises de solo e elaboração de mapas

Um dos questionamentos relacionados ao uso das tecnologias da agricultura de precisão refere-se, principalmente, aos custos da amostragem e análises de solo. Isso decorre do fato de que a utilização do sistema de amostragem em grades aumenta em muito a necessidade de mão-de-obra e o número de amostras a serem coletadas, com grande impacto no preço final das análises. Na Tabela 3, são apresentados os custos praticados pelo Centro de Análises Agrícolas (Campo), Paracatu, MG, e pelo Planejamento e Assistência Técnica (Plantar), Unai, MG, na prestação de serviços georreferenciados de amostragem, análises de solos, elaboração de mapas e acompanhamento de aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis (COELHO, 2005).

Tabela 3. Custos, em R\$ ha⁻¹, de amostragem de solos, análises e elaboração de mapas de fertilidade do solo.

Área (ha)	Dimensão da malha de amostragem	
	2 ha (10 subamostras) ⁽¹⁾	5 ha (10 subamostras)
< 100	36,60 ⁽²⁾	32,10
100 a 200	34,90	30,40
200 a 300	33,80	29,30
300 a 400	32,70	28,10
> 400	31,00	26,50

⁽¹⁾ Número de amostras simples coletadas em cada célula para compor uma amostra composta.

⁽²⁾ Preços para prestação de serviços em um raio de atuação de 150 km. Para distâncias superiores, cobra-se R\$ 0,80 por km excedente. Análises de solo incluem as determinações de rotina (pH, H + Al, Al, Ca, Mg, P, K e MO).

Fonte: Coelho (2005).

Enfatiza-se que no cálculo dos custos da aplicação das tecnologias da agricultura de precisão deve-se levar em conta que as informações coletadas podem ser utilizadas por vários anos. Por exemplo, dependendo dos sistemas de produção e de rotação de culturas utilizados, coleta, análises de solos e elaboração de mapas de fertilidade são atividades realizadas a cada 3 ou até a cada 5 anos. Mapas topográficos e cor dos solos em fotografias aéreas podem ser usados por 10 anos ou mais. Assim, quando as informações são utilizadas por vários anos, o custo anual tem dois componentes básicos – oportunidade de custo do dinheiro investido e depreciação –, que devem ser levados em consideração. Por exemplo, de acordo com a Tabela 3, se o agricultor investe R\$ 36,60 por ha em coleta, análises de solo e elaboração de mapas a cada quatro anos, a depreciação anual será de R\$ 9,15 por ha.

O aspecto mais importante relacionado à avaliação econômica da agricultura de precisão é que o valor é proveniente das informações (dados) coletadas no campo e não do uso em si das tecnologias (COELHO, 2003). Assim, as tecnologias disponíveis vão possibilitar a geração de dados que têm de ser analisados e transformados em informações práticas, que podem influenciar as decisões no manejo dos solos e das culturas. Os ganhos provenientes da agricultura de precisão são resultantes das decisões de manejo e não do uso das tecnologias disponíveis.

Esse é o aspecto contrastante das inovações com a agricultura tradicional, na qual o valor é proveniente do uso da nova tecnologia, como uma nova cultivar que aumenta a produção, ou um novo herbicida que reduz as perdas na produção.

O primeiro conceito estabelece que o retorno econômico da agricultura de precisão está diretamente relacionado com a natureza e a extensão da variabilidade do meio biofísico no qual ela é aplicada. Se o meio biofísico é uniforme, então não haverá diferenças no retorno econômico entre a agricultura de precisão e a convencional. Entretanto, na medida em que há um aumento na heterogeneidade do meio biofísico, o retorno econômico tende a aumentar.

O segundo conceito é que o retorno econômico é altamente dependente da capacidade humana de manejar a variabilidade espacial e temporal. Por exemplo, podem-se estimar os custos das tecnologias disponíveis e, com base nos princípios agronômicos, prever as diferenças na eficiência da produção (aumento na produção por unidade de insumo). Entretanto, o retorno econômico pode não ser satisfatório se a decisão agronômica não foi correta ou se o equipamento não foi adequadamente calibrado.

8. Amostragem de espécies químicas consideradas móveis (SO_4^{2-} e NO_3^-)

Elementos móveis são aqueles que são percolados no perfil do solo com maior facilidade.

Os ânions sulfato (SO_4^{2-}) e nitrato (NO_3^-) são os íons do enxofre e do nitrogênio, respectivamente, predominantemente absorvidos pelos sistemas radiculares, em comparação com as demais formas de ocorrência desses nutrientes. São considerados móveis ou muito móveis no perfil.

A análise desses elementos no solo não é comum no Brasil, por causa principalmente de sua instabilidade vertical e de outras características, como as dificuldades na análise química. Por essa razão, são escassas as publicações referentes à amostragem desses elementos nas condições brasileiras, destacando-se o trabalho de Prochnow e Boaretto (1995).

Em estudos sobre a profundidade de amostragem do solo para avaliação do enxofre disponível em pomar de limão-siciliano (PROCHNOW; BOARETTO, 1995), concluiu-se que a camada a ser amostrada para fins de avaliação desse importante elemento é a de 0 a 20 cm de profundidade, que mostrou-se a mais importante na absorção do enxofre por aquela cultura.

9. Amostragem de metais pesados em áreas contaminadas

Não existe na Cetesb um guia de coleta de solos como existe para águas. O Setor EQSS efetuou, em 1997–1998, um levantamento dos níveis naturais de metais pesados em solos sob pouca influência antrópica no Estado de São Paulo. Nesse levantamento, efetuaram-se amostras compostas (10 subamostras) nas profundidades de 0 a 20 cm e de 80 cm a 100 cm. Para cada gleba, coletaram-se 3 repetições. Em um evento realizado na Cetesb, em março de 2000, o grupo de especialistas convidados para discutir a metodologia adotada concluiu – para as próximas coletas com essa finalidade, ou seja, levantamento dos níveis naturais de metais nos solos, com vista à questão ambiental – que somente a camada de 0 a 20 cm deveria ser analisada.

As amostras foram acondicionadas em recipientes de polietileno, de boca larga, com capacidade para 1 kg, tratados com ácido nítrico a

10 %, durante 24 horas, e enxaguadas 5 vezes com água deionizada. As ferramentas utilizadas eram de aço inoxidável.

Nos levantamentos feitos pela Cetesb, normalmente analisam-se os teores totais de metais e não as concentrações ditas disponíveis ou trocáveis. No trabalho específico de levantamento dos teores naturais para o Estado de São Paulo, foram utilizados os métodos analíticos 3050 e 3051, descritos em *Test Methods for Evaluating Solid Waste – SW864*, da EPA, e no capítulo 4, parte 2, que trata de análises de fertilizantes orgânicos.

10. Época de coleta das amostras

Por causa das variações nos teores de nutrientes durante o ano, a literatura existente não apresenta muitos estudos sobre a época de coleta de amostras. Existem, porém, algumas recomendações. Como o mais importante é programar a época adequada para o recebimento dos resultados, aconselha-se amostrar o solo 2 meses antes da adubação e da correção.

A orientação básica é coletar as amostras antes da aração ou gradagem, com antecedência de 6 meses, de modo a receber os resultados em tempo para fazer calagem e gessagem de culturas temporárias, quando necessárias. No caso de reforma de canal ou de pastagem, recomenda-se amostrar antes da destruição da soqueira e antes de arar e gradear, respectivamente (MALAVOLTA, 1992).

Para a cultura do cafeeiro, o autor recomenda a coleta das amostras antes da operação de arruação, sendo possível retirar também as amostras depois da esparramação do cisco. Deve-se, porém, preferir a primeira época, pois isso permite a primeira adubação depois da colheita, melhorando o aproveitamento (BOARETTO et al., 1988; NICK et al., 1995).

No caso de outras culturas perenes, recomenda-se a amostragem depois da colheita ou 1 ou 2 meses depois do último parcelamento da adubação.

A Comissão de Fertilidade de Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (1994) recomenda fazer a amostragem 2 meses antes da adubação. Para pastagens já estabelecidas, recomenda-se amostrar entre 2 e 3 meses antes do máximo crescimento vegetativo e, para culturas perenes, após a colheita. Suas recomendações, no primeiro caso, não levam em conta uma possível necessidade de calagem ou gessagem, pois, segundo Vitti e Luz (1997), o PRNT do calcário é a porcentagem que reage em aproximadamente 3 meses, tempo superior ao da amostragem recomendada.

Para pastagens de forrageiras de verão, recomenda-se que as amostras sejam coletadas entre março e maio; para pastagens de inverno, entre outubro e dezembro (IAPAR, 1996).

Outro aspecto a ser levado em conta é o período de pico de trabalho dos laboratórios, que geralmente ocorre nos 2 meses que antecedem o início do plantio. O recebimento rápido dos resultados não ocorre durante esse período.

11. Equipamentos usados e cuidados na coleta de solo

As amostras de solo podem ser coletadas com sondas ou trados, adequados para cada tipo de amostragem, e com cuidados específicos em sua obtenção. Os mais utilizados em rotina são o trado de rosca, o trado meia-lua (calador) e o trado holandês (Fig. 5). A pá de corte representa uma boa opção, porém requer mais tempo.

No momento da coleta, deve-se limpar as laterais do trado com um canivete, de modo a retirar restos de terra de operações anteriores. O calador é utilizado para a coleta de amostras mais superficiais. A amostragem com trado holandês é menos afetada pela textura e pelo teor de umidade do solo do que as amostragens feitas com trado de rosca ou com trado calador.

A coleta de amostras também pode ser feita com pá cortadeira ou com enxadão. Nesse caso, as partes laterais devem ser separadas com canivete, guardando apenas a porção central, e com o cuidado de retirar porções uniformes de solo. O procedimento básico da coleta com pá de corte compõe-se das seguintes etapas:

- a) Escolhem-se 20 pontos ao acaso, dentro de cada área homogênea.
- b) Limpam-se os pontos escolhidos, eliminando a vegetação, as folhas, os ramos e as pedras.
- c) Faz-se uma cova em formato de cunha, de 17 cm a 20 cm de profundidade, ou nas profundidade indicadas para a cultura.
- d) Corta-se com a pá uma fatia de 2 cm a 5 cm de espessura em um dos lados da cova.
- e) Conserva-se a fatia da pá e separam-se, com canivete, os bordos, colocando o miolo no balde.
- f) Mistura-se bem o material proveniente das subamostras e retira-se ½ kg de terra.

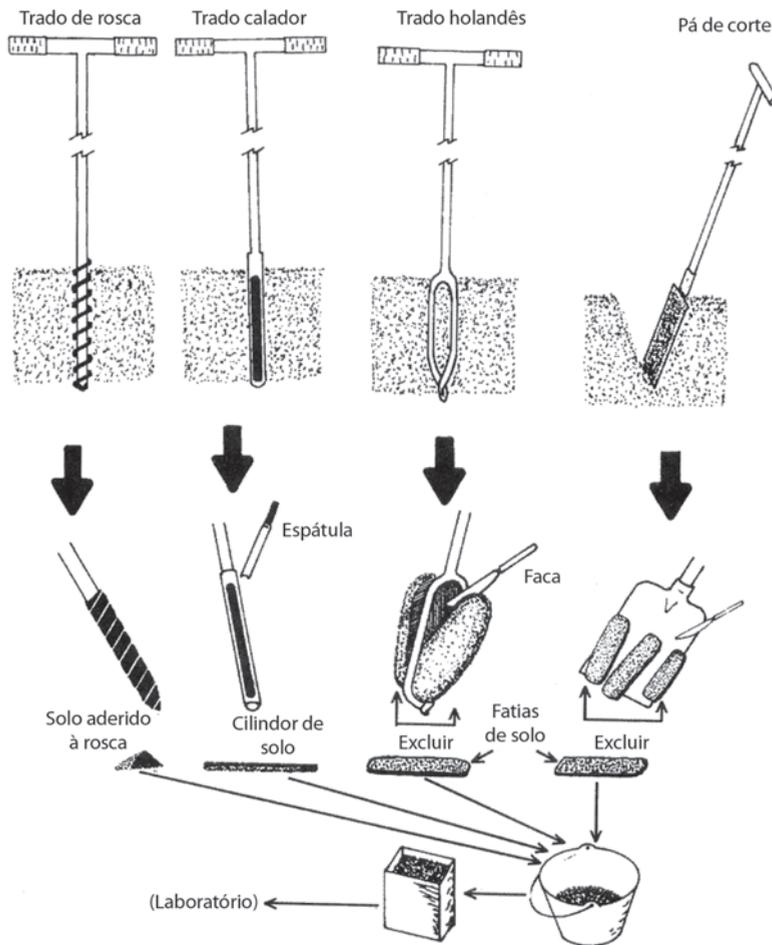


Fig. 5. Procedimentos de amostragem de solo utilizando diferentes equipamentos.

- g) Coloca-se o solo num saco de plástico limpo, etiqueta-se, preenche-se o formulário de informações e envia-se ao laboratório (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994).

Quando a coleta de solo é feita na linha adubada da planta, são necessários cuidados especiais no caso de culturas com maior espaçamento entre fileiras, para compensar as diferenças de fertilidade decorrentes da localização dos fertilizantes. A diferença básica no procedimento está no

itens 3 e 4: a cunha deve ser de 20 cm de profundidade, com largura variável em razão do espaçamento entre linhas, ficando a linha de aplicação de adubo na parte mediana dessa cunha, e retiram-se mais 6 amostras da mesma linha. Os demais procedimentos são idênticos ao anterior.

A coleta da amostra de solo também pode ser feita por meio de trincheiras: abre-se a trincheira no local desejado e retiram-se as porções de solo nas profundidades que se quer amostrar. É o método mais recomendado e seguro, porém mais trabalhoso, para a coleta das amostras em profundidade. É recomendado para amostragem em plantio direto pela Comissão de Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (1994).

Para a coleta de amostras com trado, deve-se obedecer ao seguinte procedimento:

- a) Introdz-se o trado a 17 cm–20 cm de profundidade, em cerca de 20 pontos, ao acaso, dentro de cada área homogênea. Essas indicações são aplicáveis a culturas anuais (trigo, soja, pastagem, entre outras).
- b) Coloca-se o solo em um balde ou em um saco de plástico. O uso do trado calador (na forma de canaletas) requer a retirada do cilindro de solo amostrado com uma espátula ou com outra ferramenta.
- c) No caso de trado holandês, a utilização de uma faca para remover o solo excedente facilita a retirada do solo do centro do coletor.
- d) Misturam-se bem os materiais provenientes das subamostras e retira-se ½ kg de terra.
- e) Transfere-se o solo para um saco de plástico etiquetado, preenche-se o formulário de informações e envia-se para o laboratório (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994).

Em todos os tipos de coleta de amostras simples, elas devem ser colocadas em um balde à medida que forem coletadas. Terminada a coleta, homogeneiza-se bem o volume de solo do balde e retira-se aproximadamente ½ kg de solo. Coloca-se o solo em saco de plástico limpo, etiqueta-se e preenche-se o formulário de informações (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994).

Convém lembrar que o local de amostragem deve estar limpo antes da coleta – sem o material orgânico que o cobre – e que, para evitar a contaminação da amostra, os instrumentos de coleta não devem estar enferrujados, principalmente no caso de determinações de micronutrientes.

Outro importantíssimo aspecto da amostragem de solo refere-se a quem coleta as amostras. A amostragem deve ser feita por pessoa treinada e não por quem desconheça as técnicas e os procedimentos, pois, como se sabe, a análise nunca pode ser melhor que a amostragem.

12. Secagem e armazenamento

Recomenda-se a secagem das amostras à sombra e em local ventilado, sobre uma lona, antes de se separar o ½ kg de solo para posterior ensacamento. Se a amostra não for enviada imediatamente ao laboratório, ela estará, assim, em condições de suportar períodos maiores de armazenagem, sem que ocorram alterações que afetariam o resultado das análises químicas de rotina (pH, H + Al, Ca, Mg, K, MO, P) para fins de avaliação de fertilidade (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, 1994). Na maioria das vezes, armazenam-se as amostras comerciais de terra por até 6 meses, com exceção de amostras oriundas de experimentos em andamento.

Entretanto, nos resultados da análise, a influência do tempo decorrido entre a retirada da amostra e a análise química do solo não é observada, por todos os autores, em análises comuns de rotina (CHITOLINA, 1982).

No caso de micronutrientes, verifica-se que o processo de secagem e o tempo de armazenamento das amostras alteram drasticamente os teores de Mn trocável (PAVAN; MYIAZAWA, 1984). Em terra fina secada ao ar (TFSA), ocorreram aumentos significativos nos teores de Mn, independentemente do extrator utilizado, sendo os maiores aumentos observados em solos ácidos. A quantidade de Mn extraído aumentou com o período de armazenamento, sendo maior em solos com alto teor de matéria orgânica. Esses autores acrescentam ainda que, se o solo for secado ao ar (TFSA), os resultados referentes ao Mn trocável serão imprevisíveis, dependendo, principalmente, do tempo entre a secagem e a extração, do pH, da matéria orgânica e da textura do solo, fatores que podem causar erros na interpretação dos resultados da análise do elemento para fins de fertilidade.

13. Referências

- BARRETO, A. C.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 21, n. 114, p. 142-147, 1974.
- BOARETTO, A. E.; CHITOLINA, J. C.; CRUZ, A. de P. Fundamentos para a amostragem de solo. In: SIMPÓSIO SOBRE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO E PLANTA PARA FINS DE ADUBAÇÃO, 1988, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1988.
- CATANI, R. A.; GALLO, J. R.; GARGANTINI, H.; CONAGIN, A. A amostragem de solo para estudos de fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 19-26, 1954.
- CATANI, R. A.; JACINTO, A. O. **Avaliação da fertilidade do solo. Métodos de Análise**. Piracicaba: Livroceres, 1974. 61 p.
- CHITOLINA, J. C. **Contribuição de alguns fatores nos resultados da análise química de terra e seus efeitos nas recomendações de adubação e calagem**. 1982. 200 p. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.
- CHITOLINA, J. C.; GLÓRIA, N. A da; LAVORENTI, A. A **representatividade de amostras de terra**. Piracicaba: Esalq-USP, 1995. 20 p.
- COELHO, A. M. Potencial de utilização das técnicas de agricultura de precisão na recuperação de fertilidade dos solos sob pastagens degradadas. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 6 p. Palestra.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVARES, V. V. H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 3, p. 249-290, jul. 2003.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; PITTA, G. U. E.; ALVES, V. M. C. **Amostragem de solos**: a base para aplicação de corretivos e fertilizantes. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2006. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/solamostra.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2006.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO –RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS, 1994. 224 p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 3. aproximação. Belo Horizonte: Epamig, 1978. 80 p.

HIKISHIMA, M.; PRATA, F.; SANTOS FILHO, A.; MOTTA, A. C. V. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto, convencional e reflorestamento de um Latossolo. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1996. p. 196.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Amostragem de solo para análise química**: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras. Londrina, 1996. 28 p. (Iapar. Circular, 90).

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1958. 498 p.

JAMES, D. W.; HURST, R. L. Soil sampling technique for band-fertilized, no-till fields with Monte Carlo simulations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 59, n. 6, p. 1768-1772, 1995.

JORGE, H. D. **Amostragem do solo para análise química**. Porto Velho: Embrapa-Uepae de Porto Velho, 1986. 11 p. (Embrapa-Uepae de Porto Velho. Circular técnica, 8).

MALAVOLTA, E. **ABC de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MIRANDA, L. N. de. **Amostragem de solo para análise química**. Brasília: Embrapa-CPAC, 1982. 15 p. (Embrapa-CPAC. Circular técnica, .11).

MOLIN, J. P. Qual a filosofia da agricultura de precisão? **Boletim Informativo do Grupo de Estudos "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, n. 11, p. 3, 1997.

MUZILLI, O. **Análise de solos**: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina: Iapar, 1978. 49 p. (Iapar. Circular, 9).

NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; MOTTA, A. C. V.; SCOPEL, J.; FERNANDES, J. S. C. Efeito de 11 anos de cultivo de café, em LE, sobre parâmetros químicos do solo e crescimento de raiz, no município de Tomazina-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1995. v 2, p. 633-635.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool: Planalsucar, 1983. p.155-178.

PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**: part 1: physical and mineralogical methods. 2th ed. Madison: ASA, 1986. 1188 p.

PAVAN, M. A.; MYIAZAWA, M. Disponibilidade de manganês no solo; dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 3, p. 285-289, 1984.

PIMENTEL-GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. 3. ed. Piracicaba: Potafos, 1987. 162 p.

PIMENTEL-GOMES, F. Quantas amostras simples de solo para uma boa amostra composta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, p. 4-5, 1995.

PREVEDELO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

PREZOTTO, M. E. M. **Amostragem de solo para fins de avaliação da fertilidade na área de reforma de canaviais**. 1982. 114 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

PROCHNOW, L. I.; BOARETTO, A. E. Profundidade de amostragem do solo para avaliação do enxofre disponível em pomar de limão siciliano (*Citrus limon* Burm). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 101-106, 1995.

RAIJ, B. van; SILVA, N. M. da; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1985. 107 p. (Instituto Agronômico. Boletim técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RODRÍGUEZ, T. S.; TENÍAS, J. J. Pautas a seguir para el muestreo de suelos. **Fonaiap Divulga**, Caracas, v. 1, n. 1, p. 14-17, 1982.

SÁ, J. C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, J. C. de M. Fósforo: frações, formas de ocorrência e distribuição no perfil do solo. In: CURSO SOBRE O MANEJO DO SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995a.

SÁ, J. C. de M. Resposta das culturas de milho, trigo e soja no sistema de plantio direto. CURSO SOBRE O MANEJO DO SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995b.

SARAIVA, O. F. **Amostragem do solo para avaliação de sua fertilidade**: curso de pecuária leiteira. Coronel Pacheco: Embrapa-CNPGL, 1989. 12 p. (Embrapa-CNPGL. Documentos, 38).

SIQUEIRA, O. J. de S.; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1987. 100 p.

VIEIRA, S. **Introdução e bioestatística**. Rio de Janeiro: Campus, 1986. 284 p.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV: UNESP, 1997. 341 p.