

Aliada potencial

A condutividade elétrica vem se configurando como uma grande ferramenta à agricultura de precisão. Uma aliada importante na avaliação da variabilidade espacial do solo e na definição das unidades de gerenciamento de uma área

Todas as atividades que giram em torno dos conceitos da agricultura de precisão visam o gerenciamento da lavoura considerando a sua desuniformidade e, por isso, utilizam técnicas otimizadoras de insumos, que permitem diminuição nos custos de produção. Técnicas como a aplicação localizada de fertilizantes, defensivos agrícolas e novas formas de monitoramento de características dos solos e de outros fatores de produção fornecem informações que permitem um melhor gerenciamento da lavoura e, em última instância, resultam num maior rendimento econômico por área cultivada.

Novas tecnologias de sensoriamento próximo ou remoto de fatores do meio ambiente, primordiais na produção agrícola, estão constantemente sendo geradas, aperfeiçoadas e difundidas no meio rural, e o conceito de gerenciamento localizado defen-

dido pela agricultura de precisão utiliza muitas dessas tecnologias. Desta, os monitores de produtividade receberam a maior atenção nos primeiros anos de pesquisa e de utilização no campo. Isso constitui um bom início para a investigação da variabilidade espacial dos fatores, a partir da variável dependente das demais, a produtividade agrícola. Ela é o resultado final do processo produtivo, o qual se deseja otimizar, seja através da redução na quantidade de insumos aplicados, seja através da maximização da produção, enfim, maximizando os lucros.

A partir da informação da variabilidade espacial da produtividade, a próxima etapa no ciclo da agricultura de precisão é então investigar as possíveis causas dessa variabilidade. Uma das causas primárias tem sido atribuída à fertilidade do solo, a qual, para ser avaliada, necessita de técnicas de amos-

tragem em grande quantidade, especialmente quando da prática do gerenciamento localizado. No entanto, o custo de análise de uma grande quantidade de amostras em laboratório é, em muitos casos, proibitivo. Por isso, na prática, realiza-se uma amostragem, por vezes, em número insuficiente para captar com nível de precisão satisfatório o modelo da variabilidade espacial do solo.

Devido a essa necessidade de obtenção de grande número de amostras, uma série de idéias de sensores para monitorar o solo tem sido proposta, algumas já em caráter experimental ou para utilização comercial. É o caso dos diferentes modelos de sensores de condutividade elétrica.

UNIDADES DE GERENCIAMENTO

Como afirmaram Myers *et al.* (2000), "A resolução espacial da informação possível de ser obtida com a agricultura de preci-

Valtra





são exige métodos rápidos e precisos para mapear a produtividade potencial de uma área. Informações sobre a área devem ser coletadas, com alta resolução, com restrições de tempo para coletar os dados e custo de aquisição dos mesmos. A informação coletada deve se relacionar, de alguma forma, com a fisiologia da planta, permitindo retorno previsível do capital e trabalho investidos no gerenciamento localizado das culturas proposto pela agricultura de precisão”. Por esses motivos, a condutividade elétrica tem, recentemente, atraído a atenção por ser um método rápido e custo-efetivo de indicar a variabilidade no solo.

Discute-se largamente a estratégia de utilizar unidades de gerenciamento (“zonas de manejo”), que, no contexto da agricultura de precisão, são referentes a regiões geográficas que possuem atributos de relevo e de solo com menor heterogeneidade e são, assim, tratadas diferencial e permanente-

mente a partir da sua demarcação. O desenvolvimento de estratégias agrônomicas específicas para essas áreas, sujeitas a combinações únicas de fatores limitantes da produtividade das culturas, permite um gerenciamento mais preciso das quantidades de insumos a serem aplicadas nelas. No entanto, o desafio de determinar essas áreas é grande, devido aos complexos fatores que afetam a produtividade das culturas.

Com o intuito de determinar essas unidades de gerenciamento, vários métodos têm sido propostos, envolvendo mapeamento da produtividade, da topografia, de imagens do dossel das culturas, das propriedades físico-químicas do solo e de outras. Em anos recentes, a condutividade elétrica do solo tem sido proposta como uma maneira alternativa de se avaliar a variabilidade espacial deste, e a partir dela, por exemplo, definir-se as unidades de gerenciamento em uma área.

O sensor mede até uma profundidade de 0,30 m na horizontal e até 1,20 m na vertical, e um conjunto de dois sensores faz as duas leituras ao mesmo tempo

intrínseca do material, assim como outras propriedades, como densidade ou porosidade. Na opinião de Bohn *et al.* (1982), o solo pode ser considerado como um recipiente truncado para solução eletrolítica, como um condutor possuindo um percurso tortuoso, ou um grande número de percursos de condução de comprimentos e seções transversais variáveis.

O solo pode conduzir corrente elétrica através da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos, e através dos cátions trocáveis que residem perto da superfície de partículas de solo carregadas e são eletricamente móveis em vários níveis (Nadler & Frenkel, 1980). Rhoades *et al.* (1989) apresentam um modelo de condutividade elétrica que descreve a condutância através de três vias atuando em paralelo:

- condutância através de camadas alternantes de partículas do solo e entre os limites de suas soluções;
- condutância através de soluções do

SEM REVOLVIMENTO

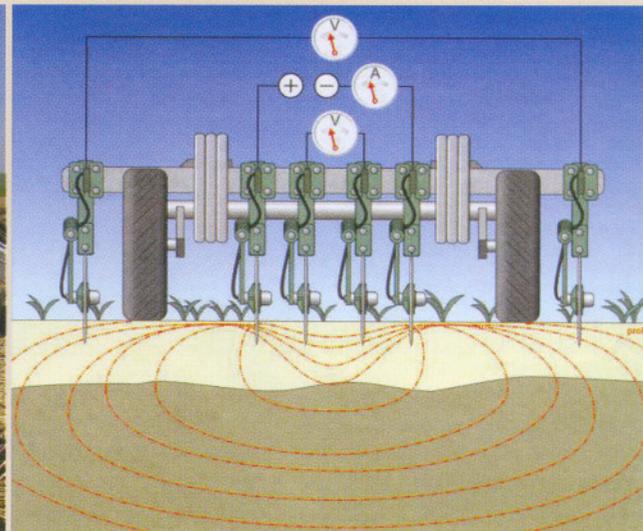
A indução eletromagnética é um método sem contato e pode ser preferido se o revolvimento do solo não é desejável. Um desses equipamentos, comercial e largamente utilizado na agricultura, mede até uma profundidade de 1,20 m quando posicionado na vertical e a uma profundidade de até 0,30 m quando na posição horizontal. Para a sua utilização em campo na coleta de leituras contínuas são necessários um coletor de dados externo e uma estrutura não metálica que permita seu deslocamento sobre o solo, rebocado por um veículo qualquer e suficientemente distante deste.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO

A condutividade elétrica é a habilidade que um material tem em transmitir (conduzir) corrente elétrica. É uma propriedade



Protótipo de um dispositivo feito com tubos de PVC serve como veículo para o sensor de condutividade elétrica, testado na Esalq/USP



solo contínuas;

- condutância através ou entre superfícies de partículas do solo em contato direto entre elas.

Na ausência de sais dissolvidos na água presente na segunda via, condutividade, textura e umidade se correlacionam muito bem entre si.

EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO

Os dois principais métodos utilizados para medição da condutividade elétrica diretamente no campo são o de indução eletromagnética e o método por contato direto, cuja unidade é miliSiemens/m² (mS/m²).

O primeiro utiliza um sensor por indu-

ção eletromagnética, não penetrante, que mede a condutividade elétrica do solo. Essa tecnologia foi desenvolvida e vem sendo utilizada nas áreas de geologia e geofísica e consiste basicamente de um eletrodo (bobina) de transmissão que é suspenso próximo à superfície do solo, o qual é energizado com uma corrente alternada numa frequência de áudio.

Isso estabelece um campo magnético que induz uma fraca corrente elétrica no solo, que por sua vez gera um segundo campo magnético a uma distância específica do eletrodo transmissor. Um segundo eletrodo, receptor, suspenso, gera uma corrente alternada em resposta e proporcional àquela gerada pelo eletrodo transmissor, mas modificada pela condutividade elétrica do solo.

O segundo método utiliza sensores que penetram no solo medindo a sua condutividade elétrica a profundidades que são função do espaçamento entre sensores em contato com o solo. Freeland (1989) lembra que foi Wenner (Wenner, *F. A method of measuring earth resistivity. Fresno: U. S. Department of Com. Bur. of Stan. Scien.*, 1916. *Papers* 258) o primeiro a apresentar um modelo teórico desse tipo de sensor, que posteriormente seria desenvolvido e originaria os equipamentos comerciais utilizados nos dias de hoje. Esse modelo teórico consistia da utilização de quatro terminais para medir a resistência elétrica do solo, que é o inverso da condutividade elétrica.

Um dos equipamentos comerciais que utiliza contato direto com o solo para medição da condutividade elétrica possui um sistema de discos metálicos lisos que transmitem uma corrente elétrica no solo e utiliza diferentes espaçamentos entre discos, para gerar medições da condutividade elétrica do solo a profundidades de 0,30 m e 0,90 m simultaneamente. O equipamento grava as medidas de condutividade elétrica

do solo, que são georreferenciadas, utilizando-se um receptor de GPS. Outro equipamento utiliza, ao invés de discos lisos, rodas com pontas que facilitam ainda mais a penetração em solo coberto com palhada, além de empregar três conjuntos de eletrodos para três profundidades de leitura, mais o conjunto alimentador.

Algumas pesquisas realizadas visando comparar as tecnologias de medição da condutividade elétrica do solo por indução eletromagnética e por contato direto demonstraram boa semelhança entre ambas.

FATORES INTERFERENTES

O solo é um sistema trifásico constituído de partículas sólidas, solução e ar. Quando partículas carregadas eletricamente, incluindo colóides e íons, migram sob influência de um campo elétrico aplicado, vários fatores físicos do solo, incluindo textura, estrutura e conteúdo de água, podem afetar a condutividade elétrica, interferindo na inter-relação entre as partículas coloidais e os íons (Li, 1997).

A condutividade elétrica do solo depende de vários fatores, e dentre eles podem-se

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Esse método requer um perfeito contato entre o solo e cada um dos quatro eletrodos, o que é necessário para introduzir a corrente no solo e medir a voltagem resultante. Ao variar o espaçamento entre esses eletrodos, o alcance de profundidade da leitura pode ser alterado. Quanto maior o espaçamento entre os eletrodos, maior é a profundidade da leitura. Diferentes horizontes do solo podem ser avaliados utilizando-se mais de quatro eletrodos. Por ser um método que fornece valores de condutividade sem nenhuma calibração, infelizmente, a resistência dos eletrodos com a superfície do solo pode aumentar sob condições de solo seco, o que resulta em leituras equivocadas durante o mapeamento.



Molin e Castro mostram as vantagens do sensor de condutividade elétrica por indução eletromagnética

“O nível da condutividade elétrica de um solo é principalmente devido ao seu teor de água e de sais dissolvidos”

Fotos José Paulo Molin

Dois equipamentos diferentes para medição da condutividade elétrica. Um com discos lisos, e outro com discos pontiagudos, para aplicação em palhadas

- porosidade, formato e tamanho dos poros;
- concentração dos eletrólitos na água dos poros;
- temperatura do solo;
- quantidade e composição dos colóides;
- densidade;
- conteúdo de matéria orgânica.

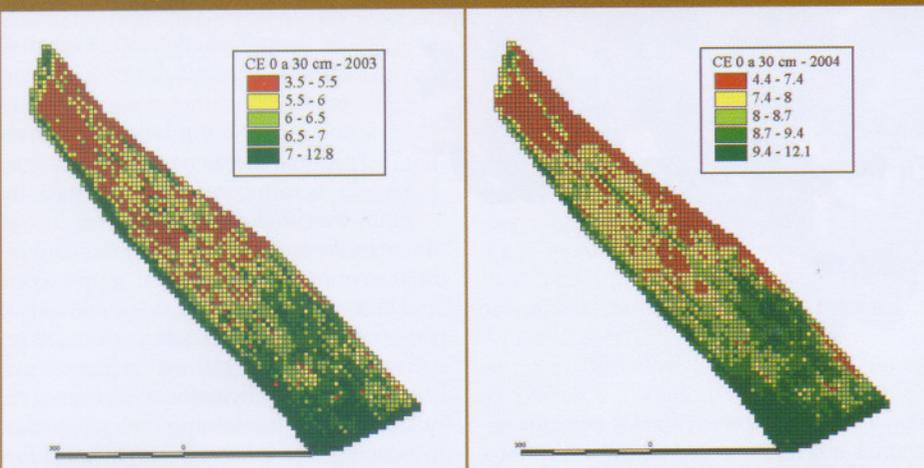
Já foi demonstrado que, enquanto a magnitude de medições temporais da condutividade elétrica varia com a temperatura e a umidade do solo, o seu padrão espacial permanece constante. Essa constatação é essencial para a utilização do método de mapeamento da condutividade elétrica do solo como base para identificar unidades de amostragem e gerenciamento deste.

A condutividade elétrica do solo depende em larga escala da solução eletrolítica existente no solo. Geralmente, solos secos têm resistência muito alta. Minerais do solo

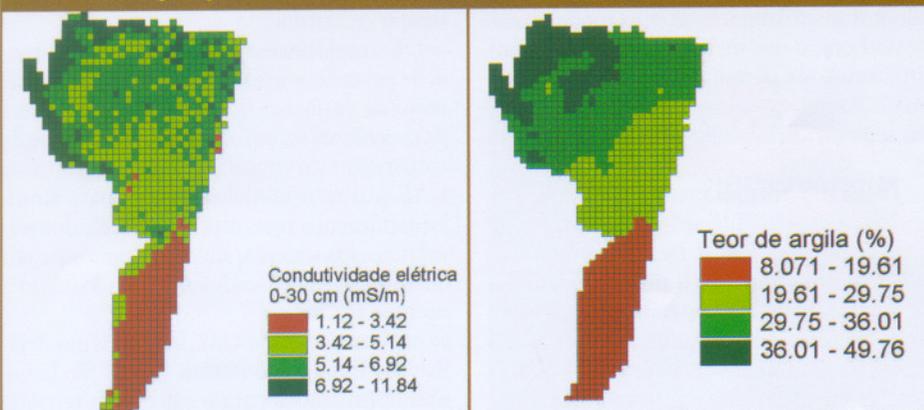
listar:

- teor de água;
- porcentagem de argila;
- material de origem do solo;
- composição química da solução do solo e dos íons trocáveis;
- interação entre os íons não trocáveis e os trocáveis;

Mapas de condutividade elétrica do solo obtidos com o equipamento por contato direto em outubro de 2003 (dir) e em outubro de 2004 (esq) e com o solo em diferentes condições de umidade, mostrando grande semelhança estrutural, embora com níveis diferentes de condutividade elétrica



Mapa de condutividade elétrica do solo na profundidade de 0 a 30 cm (dir) obtido com o equipamento por contato direto em uma lavoura nos Campos Gerais do Paraná, com grande gradiente de textura demonstrado pelo mapa do teor de argila (esq) obtido por amostragem em grade



GRANDE POTENCIAL

Se a condutividade elétrica do solo vai deixar de ser uma ferramenta em potencial e passar a integrar o conjunto de práticas adotadas pela agricultura de precisão, isso vai depender de um maior domínio da sua relação com fatores de importância agrônômica, especialmente a textura, e de ser espacialmente estruturada e estável temporalmente. Em países com tecnologia agrícola mais desenvolvida, já é largamente utilizada por consultores e agricultores. No Brasil estamos apenas iniciando os estudos de reconhecimento dessa técnica, e na Esalq/USP já existe uma linha de trabalho com algumas dissertações e pesquisas que dão indicação de um grande potencial para a sua utilização em larga escala.

aparecem como isolantes, apesar de que em alguns solos pode existir uma pequena corrente sendo conduzida através da superfície das partículas.

Portanto, o nível da condutividade elétrica de um solo é principalmente devido ao seu teor de água e de sais dissolvidos. Como a salinidade não é relevante em solos de regiões com suficiente pluviosidade, o que se sobressai na mensuração é a água, que, por sua vez, é magnificada pela textura, a qual interessa enormemente no diagnóstico para a definição de unidades de gerenciamento, por exemplo.

José Paulo Molin,
Esalq/USP
César Nunes de Castro,
Brasília (DF)

Mapa de condutividade elétrica do solo de 0 a 30 cm (raso) obtido com o equipamento por contato direto em uma lavoura de 193 ha no Vale do Paranapanema (SP)

