

Sistema de Medida de Condutividade Elétrica do Solo Adaptado a um Implemento Agrícola (Subsolador)

Introdução

A agricultura de precisão é uma técnica de gerenciamento sistêmico e otimizado do sistema de produção através do domínio da informação, com a utilização de uma série de tecnologias e tendo como peça chave o posicionamento geográfico. A essência da agricultura de precisão é a contínua obtenção de informações espacialmente detalhadas da cultura seguida da utilização adequada dessas informações para otimizar o manejo. Ou seja, com a agricultura de precisão define-se como aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas.

O grande desafio da agricultura de precisão está em considerar as variações espaciais e temporais dos diversos parâmetros envolvidos no processo de produção agrícola. No solo, o teor de nutrientes, o teor de matéria orgânica, o pH, a umidade, a profundidade de camadas compactadas, entre outros parâmetros, apresentam variações que podem atingir até uma ordem de grandeza de um local para outro ou de uma data para outra, na mesma área de produção. Toda a prática agrícola convencional está baseada em tratar o campo como homogêneo, ignorando tais variações. No manejo convencional, a informação para melhoria do processo de produção é obtida de umas poucas amostras dos parâmetros. A interpretação da informação assume um valor médio das amostragens. O uso da informação, ou seja, a aplicação de insumos (principalmente agroquímicos em geral), é uma constante baseada nessa média e independe da maior ou menor necessidade de cada ponto da aplicação.

Os recursos mais avançados da eletrônica e computação, como os sistemas de posicionamento global (GPS), os sistemas de informação geográfica (SIG), os sistemas de controle e aquisição de dados, sensores e atuadores, entre outros, fazem parte da agricultura de precisão.

No ciclo da agricultura de precisão, em seguida ao mapa de produtividade, a amostragem de solo é o principal passo para orientar o gerenciamento de um tratamento em sítios específicos. Entretanto, a amostragem em espaçamentos uniformes a cada 25 m é economicamente inviável em sistemas produtivos. Os mapas de condutividade elétrica do solo com resolução na ordem de 1 metro, apesar de não excluírem a análise de amostras em laboratório, fornecem uma orientação para realizar amostragens estratégicas através de identificação de zonas homogêneas.

A condutividade elétrica do solo pode ser medida com equipamentos relativamente simples e com grande eficiência operacional. Portanto, essa técnica tem um custo relativamente baixo comparado com técnicas de medida de outras grandezas agrônomicas. Porém, a condutividade elétrica se correlaciona com múltiplos

parâmetros químicos e físicos do solo, tornando medidas isoladas praticamente inúteis na maioria dos casos (INAMASSU et. al., 2002; JORGE e TORRE-NETO, 2002; CORWIN e LESCH, 2003).

Em agricultura de precisão essa propriedade de múltipla correlação pode ser considerada até oportuna. Como a condutividade elétrica do solo se correlaciona com matéria orgânica, textura, capacidade de troca catiônica, nitrogênio, fósforo, potássio, pH entre outros, é possível investigar o grau de variabilidade desse conjunto de parâmetros com grande

Foto : Ladislau Marcelino Rabello
Edição/arte final : Alex Paixão



Autores

Ricardo Yassushi. Inamassu
Eng. Mecânico, Dr.,
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970, São Carlos, SP
ricardo@cnpdia.embrapa.br

Maurício dos Santos Simões
Eng. Agrônomo,
Usina São Martinho S.A.
Fazenda São Martinho
Cx. P. 18, CEP 14850-000
Pradópolis, SP

Ariovaldo Luchiarí Júnior
Eng. Agrônomo, Dr.,
Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP 340, km 127,5
Cx. P. 69, Jaguariuna, SP

Ladislau Marcelino Rabello
Eng. Eletrônico, Dr.,
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970, São Carlos, SP
rabello@cnpdia.embrapa.br

José Paulo Molin
Eng. Agrícola, Dr.,
USP-ESALQ, C.P. 09,
CEP 13418-900, Piracicaba, SP
jpmolin@asalq.usp.br

resolução espacial e, possível investigar o grau de variabilidade desse conjunto de parâmetros com grande resolução espacial e, possivelmente, traçar estratégias de amostragem do solo (LUCHIARI et al., 2001), bem como orientar a análise para tratamento com taxa variada de insumos (CLARK et al., 2001; MYERS et al., 2001; LUND et al., 2000; LUND et al., 1998). A aplicação desta técnica está sendo ampliada e orienta estratégias de diversos trabalhos na área de Agricultura de Precisão (MYERS et al., 2001; REESE et al., 2001; HARSTOCK et al., 2001).

Dois são os modelos que realizam medidas de condutividade elétrica do solo comercializados, um é o sistema VERIS 3000 de fabricação da Veris Technologies, o outro é o EM38 de fabricação da GEONICS Limited.

O primeiro, VERIS, mede a condutividade elétrica através de um sistema de discos de arado em contato com o solo, o segundo mede a condutividade elétrica através de corrente elétrica induzida por bobinas mas sem contato com o solo, mostrando ambos resultados semelhantes (HARSTOCK et al., 2001).

Princípio da medida de resistividade:

A medida da resistividade elétrica em geral consiste de em usar uma amostra de dimensões conhecidas, de forma retangular de preferência, conforme ilustrado na Figura 1.

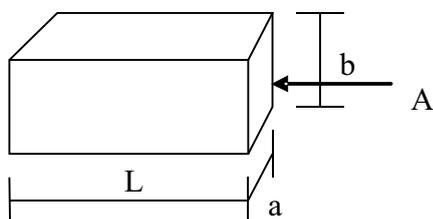


Fig. 1 - exemplo de amostra retangular para cálculo de resistividade elétrica.

A resistividade elétrica é calculada a partir da seguinte relação:

$$R = \frac{L}{A} \quad (1)$$

onde:

R - resistência elétrica [ohms];
 ρ - resistividade elétrica do material [ohms x centímetros];
 L - comprimento da amostra [centímetros];
 A - área de seção transversal da amostra [centímetros quadrado] = (axb);

Ao aplicarmos uma diferença de potencial, V (Volts), entre os lados da amostra fará com que circule uma determinada corrente elétrica, I (Ampère), assim de acordo com a equação 2, temos então a resistência elétrica R (Ohms).

$$V = R I \quad (2)$$

Conhecendo as dimensões L (cm) e A (cm²) temos, pela equação 1, a respectiva resistividade elétrica, ρ , da amostra.

O mesmo método pode ser aplicado a uma amostra de solo, sendo esta uniforme, para amostra não uniforme e de dimensões não definidas, ou medidas diretas em campo, aplica-se um processo bastante utilizado em geofísica conhecido como "sistema de quatro pontas".

Este processo como o próprio nome diz, utiliza quatro hastes metálicas de material condutor de corrente elétrica, alinhadas seqüencialmente com espaçamentos iguais, conforme ilustrado na Figura 2.

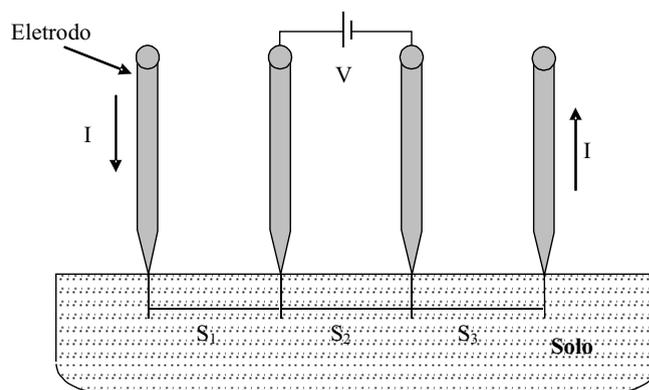


Fig. 2 - Sistema de quatro pontas.

Uma corrente elétrica, I, é injetada nos dois eletrodos externos e a tensão, V, é medida entre as duas hastes internas, a resistividade então é calculada com a seguinte expressão:

$$\rho = \frac{2 \frac{V}{I}}{\frac{1}{S_1} \frac{1}{S_2} \frac{1}{S_1} \frac{1}{S_2} \frac{1}{S_2} \frac{1}{S_3}} \quad (3)$$

Em um caso particular, se $S_1 = S_2 = S_3 = S$, a equação 3 é simplificada para:

$$\rho = 2 S \frac{V}{I} \quad (4)$$

A condutividade elétrica, σ , é definida como o inverso de resistividade, assim temos:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (5)$$

À distância S_2 entre os eletrodos internos esta correlacionada com a profundidade da região que se é medida a condutividade elétrica, descrita como uma circunferência de raio $S_2/2$, abaixo da linha de superfície.

Adaptação a um implemento agrário.

No sistema comercial, VERIS 3000, utiliza como eletrodos de medida seis discos de 25 cm de diâmetro, semelhante ao desenho da Figura 2, sendo os quatro discos internos para medida de condutividade elétrica a 30 cm de profundidade e os dois externos para 90 cm de profundidade (Fig. 3).

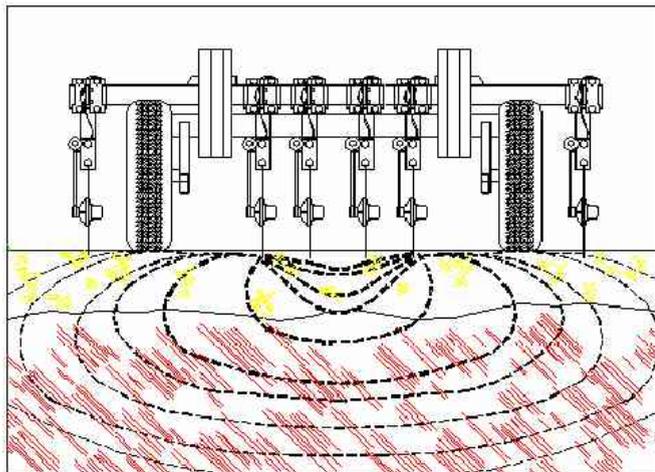


Fig. 3 - desenho da disposição dos discos no sistema VERIS.

A adaptação se deu a na escolha de um sistema subsolador, de propriedade da Usina São Martinho, parceira neste trabalho, devido ser um dos processos de manejo da preparação do solo para o plantio de cana.

Este processo consiste na passagem do subsolador para preparação do solo, em seguida o plantio, crescimento da massa vegetal e depois a colheita. Não é feito novo plantio constantemente, pois após o primeiro corte e colheita, a cana volta a brotar e assim repetindo o ciclo durante aproximadamente 5 anos, só depois deste tempo é que é feito nova preparação e plantado novas mudas, onde novamente é usado o subsolador.

Assim devido o subsolador estar sempre sendo utilizado para o novo plantio é que foi escolhido para a adaptação de medida de condutividade elétrica.

O subsolador escolhido é mostrado na Figura 4, de fabricação STARA S.A. Indústria de implementos agrícolas tendo as seguintes características indicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do subsolador.

Nome	Subsolador Asa Laser Canavieiro
Atividade	Agricultura de precisão
Classe	Preparo de solo
Padrão	A - Grande propriedade
Plantio	Todos os Tipo de Cultura: Café, Feijão, Soja, Trigo, Milho, Cana-de-Açúcar, Sorgo, Forrageiras, Pastagens, Amendoim, Girassol, Tomate, Banana e algumas flores.
Acionamento	Trator
Descrição/ Observação	Chassi super reforçado; Rolos niveladores com pressão regulável; Descompacta até 62 cm de profundidade; Baixo custo que proporciona alto rendimento; US\$ 83.000 de economia proporcionada a cada 1000 hectares; Desenvolvido especialmente para o cultivo reduzido de áreas de cana; Discos dimensionados para o corte de grandes volumes de restos culturais; Sistema de desarme automático que protege o implemento e o trator de choques bruscos e dispensa a troca de pinos de segurança.
Empresa	Stara S.A. Indústria de Implementos Agrícolas.
Referência	STARA SFIL. Stara S.A. Indústria de Implementos Agrícolas.

Na Figura 5 é ilustrado o subsolador escolhido de propriedade da Usina São Martinho, sendo o mesmo de fabricação STARA.



Fig. 4 - foto subsolador de fabricação STARA S.A.



Fig. 5 - Foto subsolador de propriedade da Usina São Martinho, para adaptação para medida de condutividade elétrica.

O sistema subsolador utilizado possui ao todo 5 discos de cortes de aproximadamente 40 cm de diâmetro, sendo dispostos da seguinte maneira, dois na parte frontal e 3 logo atrás, separados a uma distancia igual a 50 cm entre eles na transversal, conforme ilustrado na Figura 6.

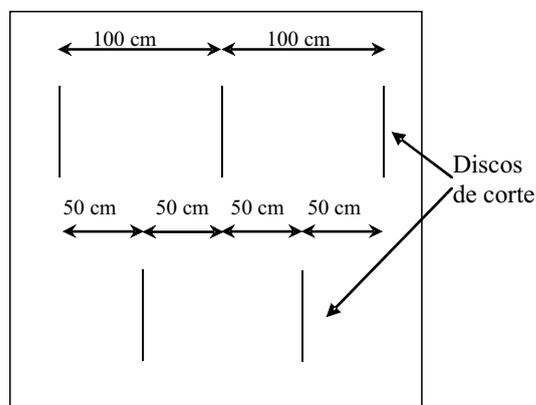


Fig. 6 - Disposição dos discos de corte no subsolador.

Uma das vantagens deste subsolador é que os discos não são presos a armadura do sistema e sim fixados por meio de parafusos, facilitando a montagem e desmontagem para a adaptação (Fig. 7).



Fig. 7 - Fixação do disco a armadura do subsolador.

Esta facilidade de desmontagem permitiu a isolamento elétrica do disco em relação a todo o sistema através da colocação de uma manta de borracha de 5 mm de espessura, conforme ilustrado na Figura 8.



Fig. 8 - Isolação elétrica do disco de corte com manta de borracha

O contato elétrico do disco foi feito através de um orifício com rosca para a introdução de um parafuso fixando o cabo na barra lateral do disco, conforme ilustrado na Figura 9.



Fig. 9 - fixação do contato elétrico do disco com o cabo.

E finalmente os cabos ligados a cada disco foram ligados diretamente ao cabo do sistema VERIS, o mesmo cabo que faz a conexão com o sistema de discos originais.

Resultado e Discussões.

Para teste de utilização como o sistema adaptado, foi utilizado um campo também de propriedade da Usina São Martinho, que estava sendo preparado para um novo plantio. A área apesar de ser de 50 alqueires, só foi possível a medição em uma estreita faixa, compreendendo aproximadamente 2 alqueires, isto porque a programação dos trabalhos da usina para o plantio estar atrasada devido as constantes chuvas que precipitaram durante a preparação da área.

Foi instruído ao operador do trator que executa-se os trabalhos de acordo com o padrão para o subsolador, que consiste em fazer as passadas paralelas e juntas mas em sentido longitudinal em relação a área. Conseguiu-se assim o primeiro mapa de condutividade elétrica do solo com um implemento próprio sem a necessidade de utilização do sistema original, conforme ilustrado na Figura 10.

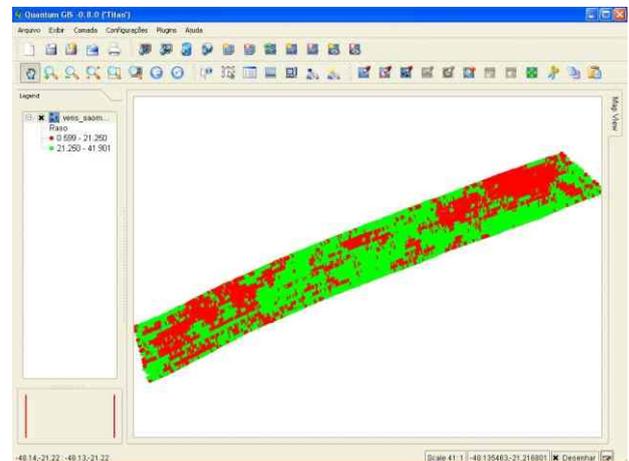


Fig. 10 - mapa de condutividade elétrica utilizando subsolador.

Na Figura 10, é possível observar a variação da condutividade elétrica por toda a área de teste, na qual foi feita uma ilustração por faixa de valores de condutividade elétrica, conforme pode-se observar no canto direito superior, da figura, a variação da escala sendo, de vermelho a faixa compreendida de 0,599 a 21,25 mS m⁻¹ e em verde a faixa compreendida de 21,25 a 41,90 mS m⁻¹.

Conclusões

A adaptação do sistema subsolador mostrou-se satisfatória com relação a medida de condutividade elétrica, reduzindo o tempo de processamento e coleta dos dados, uma vez que é utilizado um implemento do cotidiano dos trabalhos, não necessitando primeiro de usar o sistema VERIS e depois usar a mesma máquina (trator) para o restante dos trabalhos.

Agradecimentos:

A Usina São Martinho pela parceria com suas áreas de plantio e pessoal qualificado para a realização deste trabalho.

Referências

- CLARK, R. L.; CHEN, F.; KISSEL, D. E.; ADKINS, W. Mapping soil hardpans with the penetrometer and electrical conductivity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000, Minnesota. **Proceedings...** [S. l.]: ASA/CSSA/SSSA, 2001. 12 p. 1 CD-ROM.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, Riverside, v. 95, n. 3, maio jun. 2003.
- HARTSOCK, N. J.; MUELLER, T. G.; THOMAS, G. W.; BARNHISEL, R. I.; WELLS, K. L.; SHEARER, S. A. Soil electrical conductivity variability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000, Minnesota. **Proceedings...** [S. l.]: ASA/CSSA/SSSA, 2001. 14 p. 1 CD-ROM.
- INAMASU, R. Y.; FRANÇA, A.; TORRE-NETO, A.; MANTOVANI, E. C.; CRUVINEL, GOMIDE, R. L.; LUCHIARI JR, A.; RABELLO, L. M.; SOUZA, R. V. de. Condutividade elétrica do solo: primeiros mapas no Brasil. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na Agricultura de Precisão no período 1999-2001**. Piracicaba: O Autor, 2002.
- JORGE, L. A. de C.; TORRE-NETO, A. Agricultura de precisão. In: WORKSHOP O AGRONEGÓCIO NA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO, 2002, Brasília, DF. Agrosoft 2002. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2002. 6 f. Disponível em: <<http://agrosoft.com.br/ag2002/workshop/>>. Acesso em: 19 set. 2002.
- LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, S.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS A.; PAYTON S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000, Minnesota. **Proceedings...** [S. l.]: ASA/CSSA/SSSA, 2001. 10 p. 1 CD-ROM.
- LUND, E. D.; CHRISTY, C. D.; DRUMMOND, P. E. Using yield and soil electrical conductivity (EC) maps to derive crop production performance information. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000, Minnesota. **Proceedings...** [S. l.]: ASA/CSSA/SSSA, 2001. 10 p. 1 CD-ROM.
- LUND, E. R.; COLIN, P. E.; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: ROBERT, P. C. et al. (Ed.). **Precision Agriculture**. Proceedings the INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul, Minnesota. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1998. p. 1089-1100.
- MYERS, D. B.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MILES, R. J. Estimation of a soil productivity index on claypan soils using soil electrical conductivity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000, Minnesota. **Proceedings...** [S. l.]: ASA/CSSA/SSSA, 2001. 12 p. 1 CD-ROM.
- REESE, C. L.; CLAY, D. E.; CARLSON, G. C.; BERG, R.; DIEDRICH, D. Identifying soybean phytophthora tolerant and non-tolerant variety management zones using soil electrical conductivity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000, Minnesota. **Proceedings...** [S. l.]: ASA/CSSA/SSSA, 2001. 1 p. 1 CD-ROM.

Circular
Técnica, 40Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 3374 2477
Fax: 16 3372 5958
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição
1a. impressão 2007: tiragem 300

Comitê de
Publicações

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Membros: Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso

Membro Suplente: Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

Expediente

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Valentim Monzane