

# ESTUDOS PRELIMINARES DE UM SENSOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO PARA APLICAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

<sup>1</sup>H.L.L.Nadai, M.L.Nachreiner, <sup>2</sup>L.A.A.Menegatti, <sup>3</sup>J.P.Molin

**RESUMO:** A condutividade elétrica do solo (introduzir a ideia de utiliza-la em AP) ... .O trabalho visou a montagem do protótipo de um sensor de condutividade elétrica do solo e a apresentação dos resultados preliminares. O dispositivo foi montado sobre uma semeadora que serviu de suporte onde foram acoplados dois sulcadores que foram isolados do restante do equipamento e em cada um foi conectado um dos pólos de uma bateria de 12 volts. Desta forma produziu-se um circuito sujeitando à corrente aplicada e às variações da resistência elétrica do meio (solo) entre os dois sulcadores. As variações de corrente foram medidas e registradas em um coletor de dados. Posteriormente estes dados de corrente foram transformados em dados de resistência, permitindo a determinação da condutividade elétrica do solo. Os resultados obtidos em uma área experimental se mostraram bastante coerentes, permitindo a análise das variações de condutividade elétrica da área. O experimento mostrou a viabilidade da execução de uma próxima etapa em que será construído um equipamento mais apropriado a condições de campo.

<sup>1</sup>Bolsista de Iniciação Científica do CNPq , <sup>2</sup>Estudante de Mestrado,<sup>3</sup>Prof. Dr. Do Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP

## INTRODUÇÃO

O estudo de características físicas do solo é muito importante para o bom manejo de áreas agrícolas, apesar de ser uma atividade onerosa. Dentre as principais características físicas dos solos, destacam-se a densidade aparente, que serve como referência para obter-se o grau de compactação dos solos, a textura (quantidades de areia, silte e argila), a umidade, e a quantidade de matéria orgânica, entre outros fatores, que influenciam o grau de compactação de solos. Tais parâmetros estão intimamente relacionados entre si, por exemplo, a densidade do solo depende do teor de umidade e também da textura; a condutividade elétrica depende da umidade, da textura e densidade.

Em agricultura de precisão, onde o conceito de gerenciamento localizado de cada site individual exige um mapa de propriedades físicas do solo, o qual é trabalhoso de ser obtido devido ao um número representativo de amostras necessárias. Da mesma forma, para análises químicas do solo, deve-se tomar, ao menos, de 2 a 5

amostragens por hectare. Levando-se em conta que uma análise laboratorial está custando, por volta, de R\$12,00 sem considerar o custo para a coleta de amostras no campo, conclui-se, que ocorre uma limitação econômica inicial para o uso da Agricultura de Precisão. Seria muito mais prático, se sensores fossem desenvolvidos para determinar as características químicas do solo *on-the-go*, ou seja, um sensor seria aplicado sobre o terreno e suas características químicas seriam determinadas em tempo real. E, é por este caminho que a tecnologia está caminhando. O mesmo é válido dizer para as determinações das características físicas do solo.

O objetivo deste projeto é desenvolver um sensor de resistência elétrica do solo de modo que ela possa ser determinada *on-the go*.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma metodologia prática para o mapeamento de salinidade é necessária para monitoramento da extensão e magnitude dos solos afetados por salinidade. Uma grande e crescente parcela da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas, as quais vem sendo degradadas, continuamente, pela salinização e por manejo inadequado da drenagem. A busca de melhores eficiências em irrigação, drenagem e controle de salinidade depende de coletas periódicas de informações *in situ*. Métodos práticos de mensuração e mapeamento da salinidade do solo são essenciais para a concretização desta busca por eficiência.

O mapeamento da salinidade do solo é complicado devido a sua variabilidade e a sua natureza dinâmica, causada pelos efeitos da variação edafo-climática (permeabilidade do solo, profundidade do lençol freático, teor de sal na solução do solo, relevo, geohidrologia etc.); e por motivos induzidos pelo Homem, tais como irrigação, drenagem, preparo e manejo do solo etc. Quando há necessidade de se realizar um mapeamento da salinidade do solo, deve-se obter uma considerável quantidade de amostras com uma frequência bastante alta. Estas, somadas às técnicas convencionais de amostragem de solo e análises laboratoriais, representam um custo bastante elevado e, portanto, não existem informações adequadas sobre salinidade em solos (Rhoades, 1997) ou mesmo trabalhos realizados no sentido de mapeamento da condutividade elétrica do solo.

A eletro-osmose foi descoberta em 1809, por um cientista russo chamado F.F. Reuss (Ratide, 1997). Atualmente, a eletro-osmose vem sendo proposta como um método para indução de lubrificação em implementos de preparo do solo, sem a introdução de materiais adicionais no solo, como por exemplo, um lubrificante mineral ou derivado de petróleo, ou até mesmo, grafite. A aplicação de um potencial elétrico no solo, pode causar movimentação da água presente no solo, do ânodo(+) para o cátodo(-) em uma razão

diretamente proporcional a corrente aplicada (Larson, 1995). Segundo o mesmo autor, quando um potencial elétrico é aplicado, a água que se move para a superfície de atrito de um implemento pode agir com um lubrificante e reduzir a fricção entre o implemento e o solo, reduzindo assim, o esforço de tração. De acordo com Radite, 1997, quando uma corrente elétrica contínua é aplicada num meio contendo eletrólitos, como o solo, os íons, nos poros, entram em movimento, arrastando o líquido do meio com eles, resultando em um microscópico fluxo de água em direção ao cátodo. A magnitude do fluxo depende da quantidade de carga elétrica aplicada nos poros.

No entanto, em solos não saturados, a taxa de movimento da água não depende, somente, da quantidade de voltagem aplicada, mas também da quantidade de corrente que pode ser conduzida através de um volume de solo, definida como condutividade do solo (CE). Em geral, a CE do solo é medida em solução, usando um medidor apropriado, após a dissolução da amostra em água em proporção de, até, 5 vezes. Desse modo, o valor medido de CE não representa a CE do solo como ele é realmente, insaturado. Além disso, este método não pode ser utilizado para examinar o efeito de parâmetros físicos do solo associados a implementos de preparo do solo, como por exemplo, a densidade do solo, umidade e força do campo elétrico aplicado.

Segundo Mackson, 1962, a eletro-osmose foi mais efetiva em reduzir o esforço de tração em solos contendo, pelo menos, 15% de argila, e a força de tração exigida diminuiu com o aumento da umidade dos solos.

Larson, 1995, estudou a eletro-osmose aplicando um potencial que variou de 0 a 45 volts, na forma de corrente contínua, com uma amperagem requerida, normalmente, em níveis abaixo de 1 A (um ampère). Utilizou uma haste de subsolador e um ou dois discos cortapalha ao lado do equipamento. Entre outros resultados obtidos, reafirmou que a redução da força de tração ocorre com o aumento da voltagem elétrica aplicada, e que, na maioria dos testes, a redução maior ocorreu com o uso de apenas um disco cortapalha. Esta pesquisa contribuiu bastante para o desenvolvimento do sensor de ce para solos devido a sua simplicidade e informações básicas fornecidas pelo autor, além de encontrar reduções na força de tração de, até, 39%. Mackson, 1962, determinou que a eletro-osmose pode reduzir o esforço de tração e a necessidade de energia em, até, 10%.

Por outro lado, Ren, 1999, estudou o efeito da aplicação de corrente alternada e de sua frequência na força de adesão entre o solo e o implemento. Encontrou, como resultados, que a corrente alternada afeta a eletro-osmose em baixas frequências, da ordem de 0 a 100 Hz, e com baixa voltagem, de 4 a 11 volts, concluindo que a corrente alternada pode ser usada para a redução da força de adesão.

Yin, 1993, seguiu essa mesma linha utilizando corrente alternada, com voltagem variando de 0 a 10 volts, e frequência de oscilação de 0,24; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 Hz.

Vitayasupakorn, 1986, usou um potencial de 12 volts, ou menos, para desenvolver um teste de campo que avaliasse a eletro-osmose para determinação de parâmetros de consolidação de solos.

Segundo Radite, 1997, a densidade de corrente em um meio condutor depende da força do campo elétrico e da natureza do condutor. Em geral, a dependência da densidade da corrente em um campo elétrico forte, num solo insaturado pode ser bastante complexa, e, para simplificar, sua relação será assumida como sendo diretamente proporcional, como um outro material condutor qualquer.

Supondo uma corrente constante através de uma seção, sob um campo elétrico uniforme entre os eletrodos, a resistência do material é dada por:

$$E = I \frac{L}{A \cdot \sigma} \quad (1)$$

ou

$$R = \frac{L}{\sigma \cdot A} \quad (2)$$

, e a condutividade elétrica do solo é dada por:

$$\sigma = \frac{L}{R \cdot A} = \frac{I \cdot L}{A \cdot V} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

onde:

E = força do campo elétrico (V/cm)

$\sigma$  = condutividade elétrica do solo (S/cm)

V = potencial elétrico entre os eletrodos (v)

R = resistência elétrica ( $\Omega$ )

$\rho$  = resistividade elétrica ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

I = corrente elétrica (A)

A = área do eletrodo ( $\text{cm}^2$ )

L = distância entre os eletrodos (cm)

## MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado para construção do sensor envolve uma semeadora de sementes graúdas de três linhas, componentes eletrônicos como resistências, capacitores e reguladores de tensão e um data logger Campbell para que os dados sejam gravados.

A semeadora tem mecanismo sulcador tipo botinhas. Todos os sulcadores foram retirados do implemento, desmontados, limpos e lubrificados para que nenhuma resistência interna do mecanismo interferisse nos resultados encontrados. Apenas dois dos três sulcadores da máquina foram utilizados. Para tanto, foram isolados do quadro da semeadora por placas de PVC moldadas a quente sobre o

quadro, entre este e a presilha do sulcador para evitar interferências da bateria do trator nos resultados obtidos. A haste central foi utilizada como polo positivo a haste direita como negativa. A figura esquemática 1 representa a semeadora com as hastes.

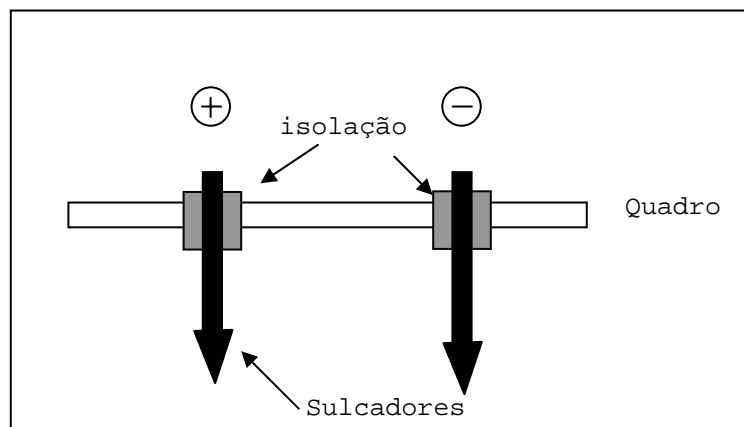


Figura 1 – Esquema da semeadora com o sulcador central isolado

O primeiro parâmetro a ser definido foi o tipo de corrente a ser usada, se seria do tipo alternada ou contínua. Há trabalhos nesta área com os dois tipos de corrente (Larson, 1995, Mackson, 1962, com corrente contínua; Yin, 1993 e Ren, 1999, com corrente alternada), e todos os autores encontraram algum tipo de resposta para a eletro-osmose, indicando que em todos os trabalhos houve passagem de corrente pelo solo. A voltagem escolhida para o trabalho foi de 12 V corrente contínua devido à facilidade de obtenção de tal voltagem estabilizada, esperado-se alguma ação de eletro-osmose durante o experimento, mas esta ação não surtira efeito sobre a medida da condutividade elétrica do solo e tão pouco será monitorada, visto que o objetivo deste trabalho não é a obtenção de um equipamento que promova a eletro-osmose a campo. Foram utilizadas duas baterias de 7A ligadas em série. A saída do sistema foi rebaixada e estabilizada em 12V por um estabilizados de tensão.

O terceiro parâmetro a ser determinado foi a potência necessária para a instalação do sensor. Para esta determinação, o sistema foi dimensionado pelos extremos, para suportar qualquer pico de potência exigida. Para isso, foi procurada a menor resistência de solos encontrada durante o experimento de Menegatti, 1999, onde foram encontrados valores de 40 a 500 ohms de resistência do solo numa distância de 14 cm entre eletrodos.

A resistência, voltagem e corrente estão relacionadas de acordo com a Equação (5).

$$U = R.I \quad (5)$$

onde:

U = diferença de potencial (V)

R = resistência ( $\Omega$ )

I = corrente (A)

Aplicando-se os valores encontrados na Equação (5), com uma diferença de potencial igual a 12 volts, chega-se a uma corrente de aproximadamente de 0,1 A.

A figura 2 representa o circuito montado para a leitura da corrente no sistema sensor-solo. Foi utilizado um resistor de 2,2 ohm através do qual foi medida e gravada a queda de tensão pelo data logger. Esta queda de tensão é proporcional à corrente no sistema. Um resistor de 100 $\Omega$  foi colocado em série para evitar que a tensão no resistor de 2,2 $\Omega$  seja maior que 6V, o que pode prejudicar o data logger.

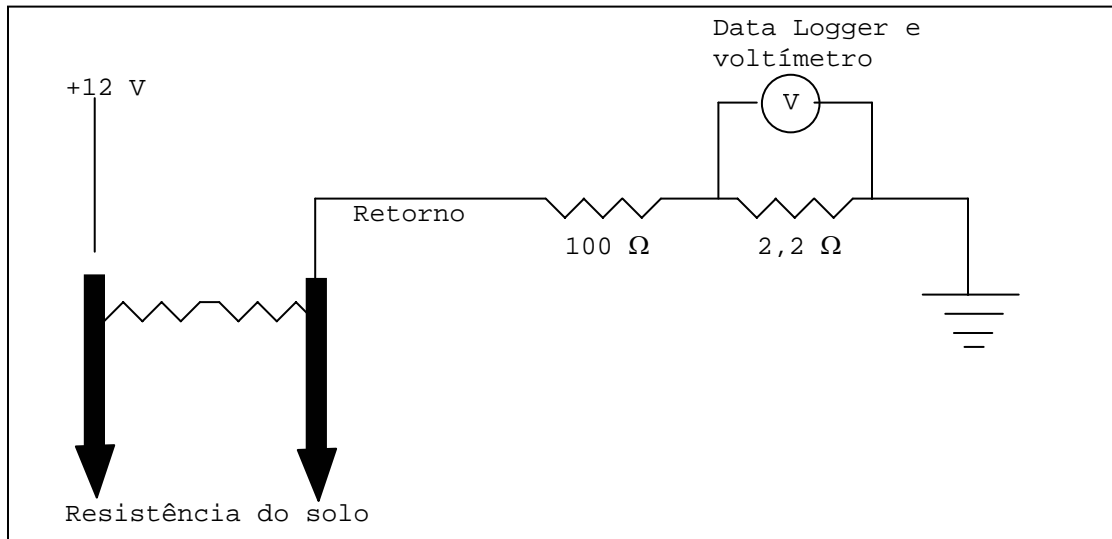


Figura 2 – Circuito montado para a medição da resistência do solo.

Da forma como foi montado, a resistência do solo pode ser determinada pela seguinte rotina. Sejam:

Vs: queda de tensão no solo;

V100 : queda de tensão na resistência de 100 $\Omega$ ;

V2,2 : queda de tensão na resistência de 2,2 $\Omega$  (conhecido);

I : corrente do sistema;

Rs : resistência do solo.

R2,2 : Resistência de 2,2 $\Omega$

A corrente no sistema pode ser determinada pela equação (5), onde:

$$I = \frac{V_{2,2}}{R_{2,2}}$$

A queda de tensão no resistor R100 é determinada também pela equação 5, como se segue:

$$V_{100} = R_{100} * I$$

A queda de tensão no solo pode ser determinada por diferença, onde 12V é a tensão aplicada no sistema:

$$V_s = 12 - V_{100} - V_{2,2}$$

Recorrendo-se novamente à equação 5, temos que a resistência do solo é dada por:

$$R_s = \frac{V_s}{I}$$

Para o ensaio de coleta de dados foi utilizada uma pequena área do Departamento de Engenharia Rural, localizada logo abaixo do campo de futebol da Mecânica. Nesta área foram feitos os testes preliminares e o teste final. No teste final foram realizadas 4 coletas em linhas paralelas ao longo da área. A velocidade do trator foi mantida em 3,6 km/h (1m/s) e a frequência de coleta de dados era de 0,5s, totalizando cerca de 100 pontos coletados na área de 50 metros de comprimento.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados da primeira coleta de dado pode ser visto na figura 3. No início da parcela a resistência do solo é alta, com cerca de 3 kohm, passando a uma tendência de queda até a distância de 20 metros quando tende a se estabilizar, com dois picos momentâneos e um aumento da resistência ao final da parcela.

A Segunda parcela, cujos resultados são mostrados na figura 4 tem uma certa estabilidade nos primeiros 27 metros do percurso, com a resistência oscilando em torno dos 1000 ohm. Aos 27 metros há um início de subida da resistência atingindo um pico de 2800 ohm aos 30 metros seguido de um pequeno decréscimo, retornando à faixa dos 1000 ohm, seguindo num aumento até o fim da parcela, atingindo o valor de 2500 ohm.

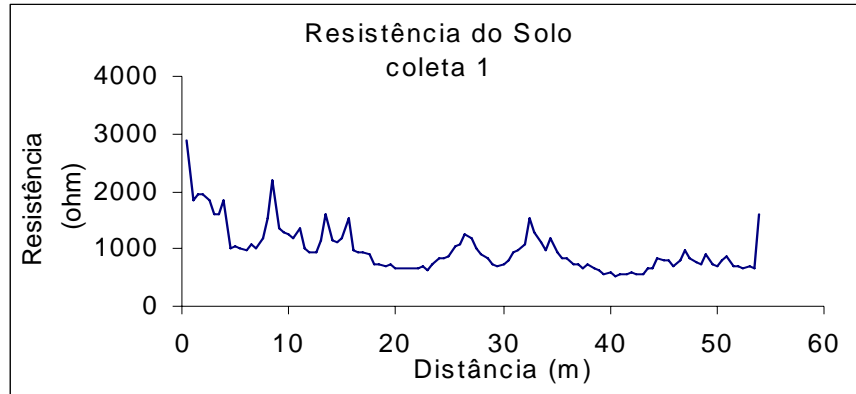


Figura 3 – Resultados obtidos de resistência do solo em função do espaço na parcela 1.

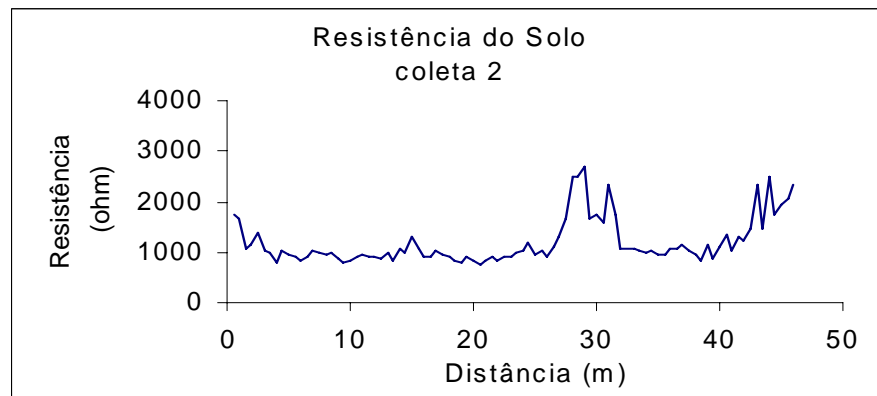


Figura 4 – Resultados obtidos de resistência do solo em função do espaço na parcela 2.

A figura 5 representa a resistência do solo em função da distância para a parcela 3. Segue a mesma tendência descrita anteriormente, com alguns picos de maior resistência ao longo do percurso, enquanto que a parte estável do caminhamento tem resistência determinada de 1000 ohm.



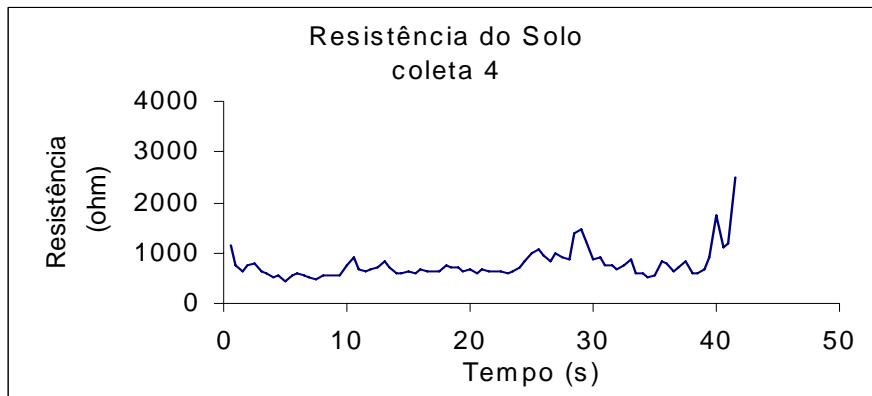


Figura 5 – Resultados obtidos de resistência do solo em função do espaço na parcela 3.

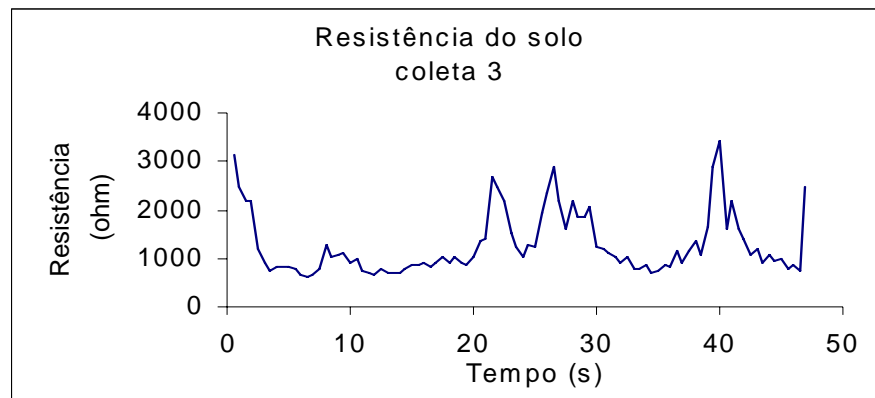


Figura 6 – Resultados obtidos de resistência do solo em função do espaço na parcela 4.

A parcela 4, cujos resultados podem ser vistos na figura 6 apresentou o comportamento mais homogêneo entre as parcelas estudadas. Durante o trajeto do sensor houve pequenos picos de resistência que não passaram de 1500 ohm, e uma tendência de alta no final da parcela.

A tabela 1 mostra os valores médios de resistência para cada parcela. As parcelas 1 e 4 apresentaram valores de resistência médio menores em relação às parcelas 2 e 3. Provavelmente este fato se deve à localização das parcelas e às características do terreno onde foi realizado o ensaio. O local é um aterro e, para as parcelas localizadas próximas da parede, a umidade do solo tende a ser maior. Com o solo mais úmido, a resistência tende a diminuir. A parcela 4 está alocada à beirada do barranco. A parcela 1 no meio do terreno e as parcelas 2 e 3 localizadas mais externamente, perto do final do aterro.

Tabela 1 – Média de resistência das parcelas

Parcela	Resistência (ohm)
1	984
2	1195
3	1277
4	769

## CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um sensor sensível às variações de resistência elétrica do solo. O sensor é de simples construção e operação.

## BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

- MACKSON, C.J. *The effect of eletro-osmosis on soil to steel sliding friction as influenced by speed, voltage and soil moisture.* Cornell university, 105 p., 1962.
- LARSON, D.L.; CLYMA, H.E. *Eletro-osmosis Efectiveness in reducing tillage draft force and energy requirements*, in: *Transactions of the ASAE*, v. 38, n.5, p. 1281-1288, 1995.
- RADITE, P.A.S.; NAMIKAWA, K.; IIDA, M. *Draft redution on tillage tools by eletro-osmosis librification (Part I) – Eletrical conductivity of unsaturated soil.* 1997.
- RADITE, P.A.S.; NAMIKAWA, K.; IIDA, M. *Draft redution on tillage tools by eletro-osmosis librification (Part II) – Soil bin tester on a slider.* 1997.
- RADITE, P.A.S.; NAMIKAWA, K.; IIDA, M. *Draft redution on tillage tools by eletro-osmosis lubrification (Part III) – Field test on mole plow.* 1997.
- RHOADES, J.D.; CARTER, L.M. *New soil mapping techniques*, in: *Utilization of soil survey information for sustainable land use*, p. 201-209, 1998.
- REN, L.; YAN, B.; CONG, Q. *Experimental study on bionic non-smooth surface soil eletro-osmosis*, in: *Agricultural Engeneering Journal*, v.8, n.3, p. 185-196, 1999.
- VITAYASUPAKORN, V. *Development of an eletro-osmotic field test for evaluation of consolidation parameters of soils.* Washington University, 176 p., 1986.
- YIN, J. *Soil permeability determination using alternating current electro-osmosis: theory and application.* Evanston, Illinois, 135 p. 1993.