

## **AVALIAÇÃO DE SENSORES DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA E TENSÍOMETROS COM TRANSDUTORES DE TENSÃO PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ÁGUA DO SOLO<sup>1</sup>**

### *EVALUATION OF ELECTRICAL RESISTANCE SENSORS AND TENSIMETERS EQUIPPED WITH TENSION TRANSDUCERS FOR SOIL WATER POTENTIAL DETERMINATION*

**Vilson Antonio Klein<sup>2</sup>, Rodrigo Kurylo Camara<sup>3</sup>, Marcos André Simon<sup>4</sup>, Iradi João Biasuz Junior<sup>4</sup>**

Recebido em: 21/12/2004. Aprovado em: 25/05/2005

#### **RESUMO**

A utilização de sensores eletrônicos para determinação do potencial de água no solo tem sido cada vez maior, pela importância que esse monitoramento representa para o desenvolvimento das plantas e uso racional da água. Com o objetivo de avaliar o comportamento de sensores de resistência elétrica (SRE) em comparação com tensiômetros equipados com transdutores de tensão (TT) realizou-se esse trabalho. Os TT acoplados a tensiômetros com 0,3 m de comprimento foram instalados em funis de placa porosa, e submetidos a tensões crescentes de 1 a 14,5 kPa. Os TT e os SRE foram instalados em uma caixa contendo TFSA de Latossolo Vermelho, que foi saturado, posto a secar ao ambiente e novamente saturado com solução de cloreto de potássio. Em uma última etapa os sensores foram instalados no campo por um período de quatro meses. Os resultados demonstraram que ocorreu uma diferença entre a tensão aplicada nos funis de placa porosa e a medida de 3 kPa e que a salinidade não afetou de forma significativa a correlação entre os resultados dos dois sensores avaliados, na faixa de umidade em que esse experimento foi conduzido e no campo se comportaram de forma similar. Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, os dois sensores tiveram um bom desempenho para determinar o potencial de água no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** água no solo, potencial mátrico, salinidade.

#### **SUMMARY**

Electronic sensors have been increasingly used for soil water measurement, which is important for plant growth and for rational water use. The aim of the present study was to assess the performance of electrical resistance sensors (SRE) comparatively to tensimeters equipped with tension transducers (TT). TT's coupled to 0.3-meter-long tensimeters were assembled on porous plates and submitted to increasing tensions ranging from 1 to 14,5 kPa. Both TT's and SRE were installed in a box containing an air-dried fine earth sample of a red latosol, which was saturated with water and air-dried. The soil was then saturated with a potassium chloride solution. Finally, sensors were installed in the field for a four-month period. The results revealed the values showed a difference of 3 kPa and that salinity did not affect significantly the correlation between the data obtained from both sensors. Both SRE and TT's showed similar performance in the wet range where the experiment was carried out and in the field, being quite useful to monitor soil water content.

**KEY WORDS:** soil water, matric potential, salinity.

#### **INTRODUÇÃO**

O estudo da dinâmica da água no solo é importante para o uso e manejo racional da água e o pleno desenvolvimento das plantas. O solo é o reservatório de água para as plantas, é afetado pelo ma-

<sup>1</sup> Projeto financiado pela Secretaria de Ciência e Tecnologia -RS

<sup>2</sup> Eng.-Agr. Prof. Dr. Titular da FAMV – Universidade de Passo Fundo, C.P.611, Passo Fundo – RS. CEP: 99001-970, Fone/fax: 54 316 8151, Email: [yaklein@upf.tche.br](mailto:yaklein@upf.tche.br)

<sup>3</sup> Eng.-Agr. Mestre em Agronomia

<sup>4</sup> Acadêmico de Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica

nejo e práticas culturais alternando a dinâmica e a retenção de água nos seus poros. A retenção é governada por duas forças principais: as forças capilares e as forças de adsorção, as quais são denominadas de forças mátricas o que dá origem ao termo potencial mátrico da água no solo e sua determinação é feita normalmente com a utilização do tensiômetro de cápsula porosa.

Saad & Libardi (1992) e Libardi (1999) destacaram a importância do tensiômetro com manômetro de mercúrio, o qual apesar da sua limitação de funcionamento na faixa de 0 a 85 kPa de tensão se adapta bem ao manejo da irrigação, pois normalmente o solo é irrigado antes dessa tensão ser atingida. É importante destacar que o tensiômetro convencional será sempre a referência, pois os resultados do mesmo não são afetados por alterações na constante dielétrica do solo nem por problemas eletrônicos. Schmutge et al. (1980) destaca ainda como vantagens do tensiômetro a facilidade de construção e o seu baixo custo. No entanto algumas limitações como: o problema com a possível contaminação do solo e da água com derramamento do mercúrio metálico; a barreira física que o manômetro mercúrio representa em áreas mecanizadas e a necessidade freqüente de manutenção.

Na tentativa de aumentar a versatilidade dos tensiômetros, resolvendo alguns dos problemas acima mencionados, esses vêm sendo equipados com transdutores de tensão, ao invés de manômetros de mercúrio ou outros tipos de manômetros. Trabalhos nesse sentido são relatados por Marthaler et al. (1983), Nyhan & Drennon (1990), Hubbell & Sisson (1998) e Essert & Hopmans (1998) os quais destacam a funcionalidade da utilização de tensiômetros com transdutores de tensão acoplados a sistemas eletrônicos de aquisição de dados em pesquisas de campo.

A utilização de sensores de resistência elétrica, baseados no método de Bouyoucos, que medem a variação da resistência elétrica conforme a variação da umidade do solo podem ser uma alternativa prática e econômica para determinação do potencial mátrico da água no solo. Tem como vantagens o baixo custo de aquisição em relação aos tensiômetros e não necessitam de manutenção freqüente (Eldredge

et al. 1993; Stieber & Shock, 1995; Eldredge et al. 1996; Thomson et al. 1996; Shock et al, 1998 e Ribeiro, 2001).

Alguns trabalhos, no entanto, tem destacado que os sensores de resistência elétrica necessitam de uma rígida calibração e que mesmo assim não apresentam a precisão exigida em trabalhos de pesquisa, no entanto para o manejo de irrigação poderá ser uma alternativa interessante, pois muitas vezes a variabilidade espacial do solo e conseqüentemente o teor de água no solo variam mais do que o erro que o sensor apresenta.

O objetivo desse trabalho foi avaliar transdutores de tensão e sensores de resistência elétrica, para determinação do potencial de água no solo, em diferentes condições de solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1º Experimento

Os transdutores de tensão (TT) modelo SWT3 –AT Delta-T Device, acoplados a tensiômetros com 0,3 m de comprimento foram conectados a um Datalogger Modelo DL2 da AT Delta-T Device. Esses tensiômetros foram instalados em funis de placa porosa (Figura 1) preenchidos com areia fina e submetidos a tensões crescentes até 14,5 kPa, comparando os resultados gerados pelo TT e coletados pelo datalogger em função da tensão aplicada no funil de placa porosa.

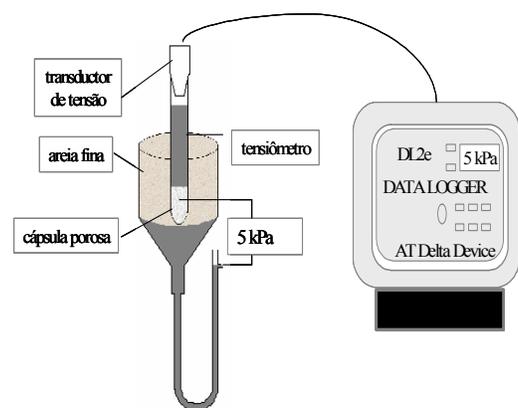


Figura 1 - Esquema adotado para calibração dos transdutores de tensão dos tensiômetros.

## 2º Experimento

Dez desses transdutores de tensão (TT) foram acoplados aos tensiômetros e dez sensores de resistência elétrica (SRE) modelo (Water Moisture Sensor Meter) WMSM da Watermark foram instalados aos pares e conectados a um Datalogger Modelo DL2 da AT Delta Device para aquisição e armazenagem dos dados.

Os sensores foram instalados em uma caixa contendo TFSA de Latossolo Vermelho na camada de 5 a 10 cm de profundidade, separados entre si numa distância de 7 cm. Esse solo foi saturado com água destilada, e iniciando a coleta dos dados, e posto a secar ao ambiente. Os atributos químicos do solo nessa etapa estão apresentados na Tabela 1.

sendo a quantificação dos atributos químicos apresentado na Tabela 2. Durante um período de 4 meses foi feita a aquisição de dados dos sensores em intervalos de 1 hora.

Os sistemas de manejo consistiam em um área manejada sob sistema plantio direto ininterrupto durante 6 anos e outra área escarificada, utilizando escarificador modelo Jumbo-Matic, equipado com hastes de formato parabólico, discos de corte e rolo destorreador/nivelador, a uma profundidade média de 25 cm, não foi realizado nenhum tipo de preparo do solo complementar. Essa escarificação foi realizada 6 meses antes da instalação dos tensiômetros.

Tabela 1. Resultados da análise dos atributos químicos de um Latossolo vermelho sem e com a aplicação de cloreto de Potássio.

Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg/L	K	CTC cmol c/L	Saturação (%)		
					Bases	Al	K
Sem KCl							
	5,9	5	56	4,7	52	0	3,1
Com KCl							
0 – 3	6,1	2	> 199	6,0	59	0	8,5
3 – 6	6,0	2	> 199	5,1	57	0	10
6 – 9	5,8	2	> 199	5,2	53	0	9,8
9 – 12	5,8	2	121	5,2	52	0	6,0

Encerrada a etapa anterior o solo foi saturado com solução de cloreto de potássio equivalente a uma aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> de KCl, para simular a salinização do solo, o que afeta a condutividade elétrica do solo e poderia alterar as leituras dos SRE. Os resultados da análise de solo (Tabela 1) demonstraram que a aplicação em superfície do cloreto de potássio translocou-o para a profundidade onde os sensores estavam instalados.

## 3º Experimento

Os sensores foram instalados em uma área experimental pertencente à unidade de mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, com composição média de 0,61 kg kg<sup>-1</sup> de argila, 0,10 kg kg<sup>-1</sup> de silte e 0,29 kg kg<sup>-1</sup> de areia, mineralogia predominante na fração argila com 21% de óxidos (Fe +Al) e caulinita e Ki = 2,1, em dois distintos sistemas de manejo em 5 profundidades,

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação inicial do TT, observou-se uma diferença nos valores da tensão aplicada no funil de placa porosa em relação aos valores apresentados pelo datalogger de 3 kPa. A equação de calibração do datalogger era a seguinte: kPa = mV e após considerar a teoria de funcionamento de um tensiômetro alterou-se a equação de calibração para kPa = mV - 3 subtraindo o valor referente a altura do tensiômetro (30 cm). Após esta correção não se observou diferença nas tensões lidas e aplicadas. Esse fato comprova a necessidade de aferição dos sensores em relação ao fenômeno que está sendo medido, pois mesmo sensores novos, ditos como calibrados pelo fabricante, podem apresentar resultados incorretos.

Os dois tipos de sensores instalados no solo sem a adição de KCl apresentaram correlação

Tabela 2. Atributos químicos do solo das áreas com plantio direto e plantio direto escarificado do Latossolo Vermelho Distrófico típico

Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg/L	K	CTC cmol c/L	Bases	Saturação (%)	
						Al	K
Plantio direto							
5	4,5	10	85	14,2	31	27	1,5
10	4,5	6	45	14,2	23	40	0,8
15	4,3	6	37	13,4	19	55	0,7
20	4,3	5	33	14,7	17	59	0,6
25	4,1	3	31	21,1	8	70	0,4
Plantio direto escarificado							
5	4,7	8	91	13	40	16	1,8
10	4,4	10	67	13,9	30	35	1,2
15	4,4	6	45	13,7	29	37	0,8
20	4,4	5	33	12,9	25	45	0,7
25	4,2	3	27	13,4	18	59	0,5

Tabela 3. Coeficiente de correlação (r) entre as leituras obtidas pelos TT e SRE na determinação do potencial mátrico da água Latossolo vermelho na condição original

	SRE 1	SRE 2	SRE 3	SRE 4	SRE 5	SRE 6	SRE 7	SRE 8	SRE 9	SRE 10
TT 1	0,94									
TT 2		0,97								
TT 3			0,94							
TT 4				0,92						
TT 5					0,93					
TT 6						0,91				
TT 7							0,89			
TT 8								0,90		
TT 9									0,95	
TT10										0,69

n = 4165 - p < 0,05

significativa (p<0,05) (Tabela 3) para todos os pares de sensores avaliados, concordando com Eldredge et al. 1996 e Thomson et al. 1996 que avaliaram os SRE.

Na faixa de umidade em que esse experimento foi conduzido a salinidade não afetou de forma significativa a correlação entre os resultados obtidos pelos SRE em relação aos TT que equipam os tensiômetros (Tabela 4). O SRE possui algum tipo de mecanismo de proteção aos efeitos da salinidade. Schock (2003) destacou que a resistência elétrica desse sensor estaria revestida por uma camada de material fino de gesso e que a dissolução desse material atuaria como proteção do eletrodo.

Esses resultados permitem inferir que os sre que são mais baratos que os tt podem ser utilizados de maneira eficiente e segura para a determinação do potencial mátrico da água no solo e que não são afetados pela presença de sais, ainda que em concentrações superiores as condições agrícolas

normais.

Parte dos resultados obtidos pelos sensores instalados no campo estão apresentados na Figura 2. Observa-se que os sensores apresentam valores distintos, indicando a necessidade de correção dos valores do SRE em relação ao TT. No entanto, o comportamento é muito similar comprovado pelo elevado índice de correlação das leituras de cada par de sensores instalados na mesma profundidade e manejo de solo (Tabela 5).

É importante destacar que nos dias 11, 21 e 23 de janeiro ocorreram precipitações com intensidade de 89, 40 e 21 mm respectivamente e que nessa condição ambos os sensores tiveram rápida resposta na detecção da redução do potencial de água no solo.

Por outro lado constata-se, para ambos os sensores, uma variação significativa nos valores da tensão da água no sol durante o dia, sendo mínima de manhã, e levando-se ao máximo em torno da 14:00

Tabela 4. Coeficiente de correlação (r) entre as leituras obtidas pelos TT e pelos SRE na determinação do potencial mátrico da água do Latossolo vermelho com adubação de cloreto de potássio

	SRE 1	SRE 2	SRE 3	SRE 4	SRE 5	SRE 6	SRE 7	SRE 8	SRE 9	SRE 10
TT1	0,92									
TT2		0,95								
TT3			0,95							
TT4				0,96						
TT5					0,96					
TT6						0,96				
TT7							0,96			
TT8								0,96		
TT9									0,95	
TT10										0,96

Tabela 5. Coeficiente de correlação (r) entre as leituras obtidas pelos TT e pelos SRE instalados no campo para determinação do potencial da água no solo.

	SRE 1	SRE 2	SRE 3	SRE 4	SRE 5	SRE 6	SRE 7	SRE 8	SRE 9	SRE 10
TT1	0,87									
TT2		0,92								
TT3			0,93							
TT4				0,98						
TT5					0,89					
TT6						0,82				
TT7							0,86			
TT8								0,85		
TT9									0,96	
TT10										0,95

n = 1657 - p < 0,05

h diminuindo a partir daí para valor um pouco superior ao do dia anterior nesse mesmo horário. Essa variação acompanha a variação da temperatura deter-

minada na superfície do solo (Figura 3) e no interior do corpo do datalogger (Figura 4) demonstrando que a temperatura afeta de alguma forma os sinais elétri-

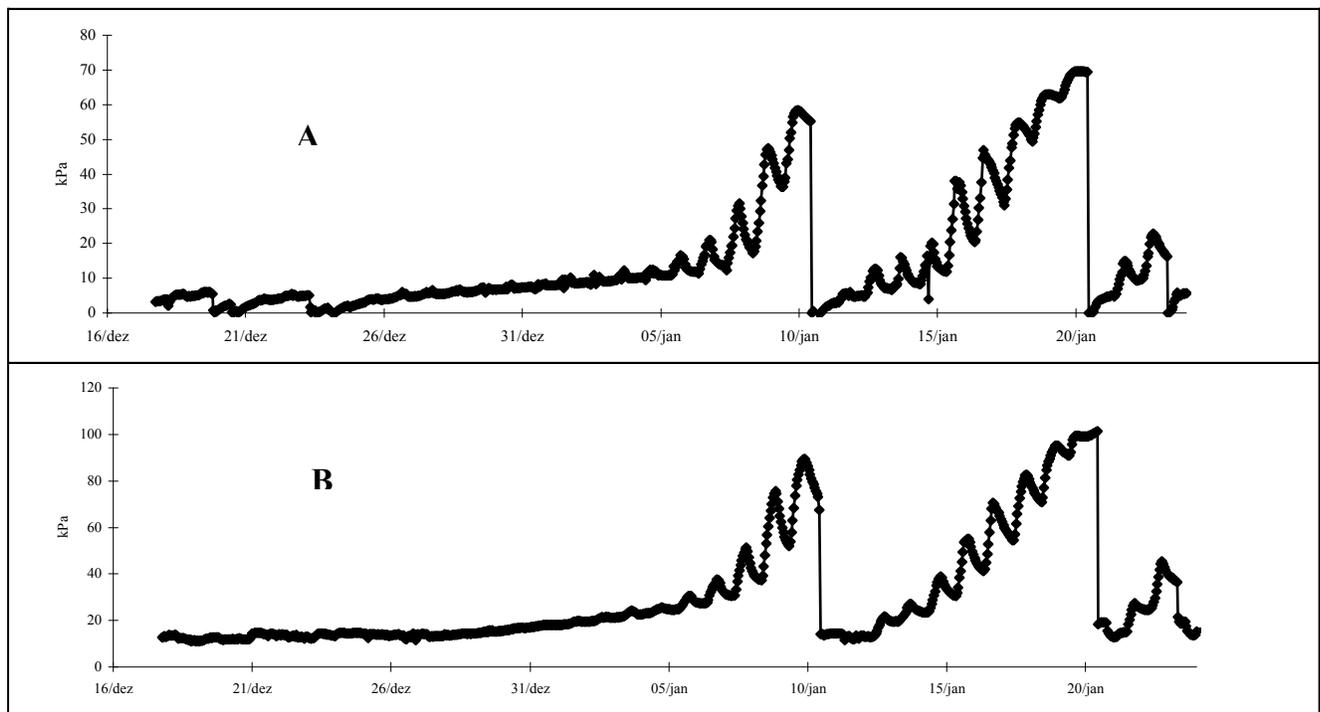


Figura 2. Variação do potencial mátrico da água em um Latossolo Vermelho Distrófico típico Determinado com o uso de tensiômetro equipado com transdutor de tensão (A) e sensor de resistência elétrica (SER) (B), instalados na profundidade de 25 cm.

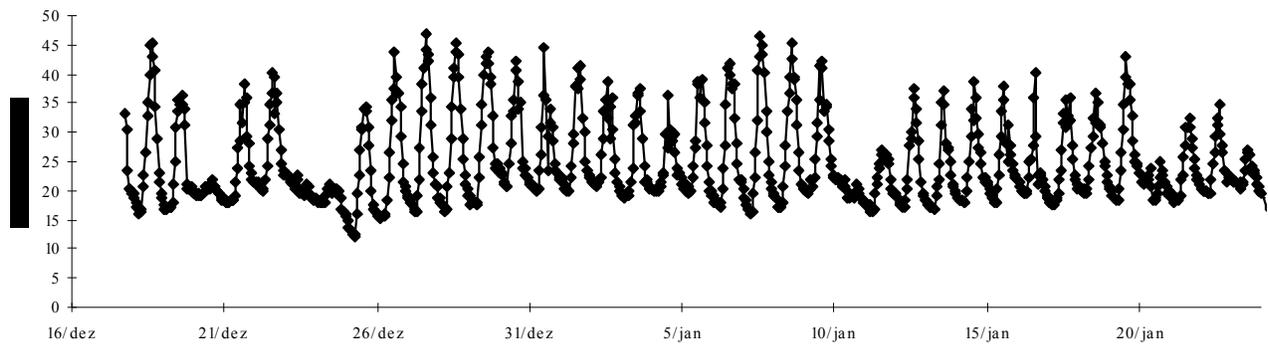


Figura 3. Variação da temperatura na superfície do solo.

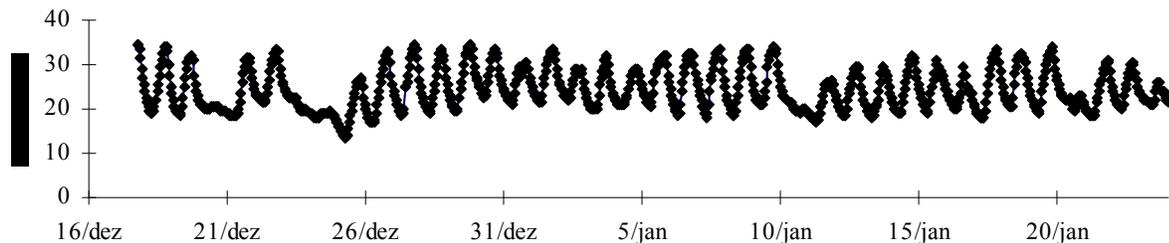


Figura 4. Variação da temperatura no interior do corpo do datalogger.

cos emitidos, na sua condução pelos cabos elétricos ou na coleta de dados pelo datalogger.

Em relação à variação dos dados dos tensiômetros, Klein (1998) já destacava que quando ocorre aquecimento do ar e da água dentro dos tensiômetros, ocorre a expansão do ar o que afeta os valores de tensão gerados, recomendando a leitura na primeira hora da manhã.

Por outro lado, considerando-se que tanto o sensor TT (Figura 1) como o SRE (Figura 2) estavam instalados na profundidade de 25 cm e que nessa profundidade as variações de temperatura são mínimas, não se pode explicar a variação nos valores obtidos, principalmente do SRE, que não apresenta nenhuma conexão com a superfície do solo além do cabo. Isso indica que provavelmente a variação da temperatura sobre os circuitos eletrônicos do datalogger afetam o seu funcionamento.

## CONCLUSÕES

Os sensores para determinação do potencial mátrico da água no solo baseados na alteração da

resistência elétrica do solo apresentam comportamento semelhante, mas com valores absolutos distintos, necessitando de correção, aos tensiômetros equipados com transdutores de tensão e seus resultados não são afetados em função de alterações no teor de sais do solo, porém apresentam variação na tensão durante o dia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ELDREDGE, E.P.; SHOCK, C.C.; STIEBER, T.D. Calibration of granular matrix sensors for irrigation management. *Agronomy Journal*, Madison, v.85, p.1228-32, 1993.
- ELDREDGE, E.P.; et al. Effects of transitory water stress on potato tuber stem-end reducing sugar and fry color. *American Potato Journal*, Orono, v.73, p.517-30. 1996.
- ESSERT, S. & HOPMANS, J.W. Combined tensiometer-solution sampling probe. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.45, p.299-309. 1998.
- HUBBELL, J.M. & SISSON, J.B. Advanced tensiometer for shallow or deep soil water potential

- measurements. **Soil Science**, Madison, v.163, p.271-77. 1998
- KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Piracicaba, ESALQ/USP 1998. 150p. Tese de Doutorado
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2<sup>a</sup> ed. Piracicaba: O autor. 1999. 497p.
- MARTHALER, H.P.; et al. A pressure transducer for field tensiometers. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 47, p.624-27. 1983
- NYHAN, J.W. & DRENNON, B.J. Tensiometer data acquisition system for hydrologic studies requiring high temporal resolution. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.54, p.293-96. 1990.
- RIBEIRO, R.S.F. Irrigação de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu - PR, SBEA, 2001, CD-ROM.
- SAAD, A.M. & LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. IPT 2002. São Paulo, 1992. 27p.
- SCHMUGGE, T.J.; JACKSON, T.J.; MCKIM, H.L. Survey of methods for soil moisture determination. **Water Resources Research**. 16:961-979. 1980
- SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G.; SAUNDERS, L.D. Potato Yield and quality response to deficit irrigation. **HortScience**, Charlottertoun, v.33, p. 655-59. 1998
- SHOCK, C.C. Granular matrix sensors. Malheur Experiment Station. Oregon State University. <<http://www.cropinfo.net/granular.htm>> Acesso em: 01 ago 2003.
- STIEBER, T.D. & SHOCK, C.C. Placement of soil moisture sensors in sprinkler irrigated potatoes. **American Potato Journal**, Orono, v.72, p.533-43. 1995
- THOMSON, S.J.; YOUNOS, T.; WOOD, K. Evaluation of calibration equations and application methods for the watermarkâgranular matrix sensor soil moisture sensor. **Applied Engineering in Agriculture**. v.12, p.99-103. 1996.