

**DESEMPENHO DE SENSORES IGstat DE TENSÃO CRÍTICA DA ÁGUA NO SOLO, COM
DIFERENTES TAMANHOS DE MICROESFERAS DE VIDRO**

Carlos M. P. Vaz^{1,*}, Carlos Dalkaine², L. F. Porto³, Luis H. Bassoi¹, André Torre-Neto¹

¹ Embrapa Instrumentação, Rua Quinze de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP

² Centro Universitário Central Paulista-UNICEP, R. Miguel Petroni, 5111, CEP 13563-470, São Carlos, SP

³ TECNICER Tecnologia Cerâmica, Rua Salomão Assef, 51, 13570-382, São Carlos, SP

* Autor correspondente, e-mail: carlos.vaz@embrapa.br

Resumo: Visando contribuir com sensores de baixo custo para a irrigação, a Embrapa desenvolveu sensores constituídos de uma cápsula porosa com um material particulado com granulometria conhecida no seu interior, que retém e libera água quando o solo molha ou seca, denominado IGstat. Uma das limitações tem sido a obtenção de materiais particulados para diferentes valores de tensões críticas e boa reprodutibilidade. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um procedimento para a construção e teste de sensores IGstat com diferentes pressões de borbulhamento (PB) ou limiares de irrigação. As frações granulométricas de esferas de vidro utilizadas, com diâmetros médios entre 10 e 100 μm , possibilitaram a construção de sensores com limiares de irrigação entre 9 e 45 kPa. O método proposto para a determinação da PB por pressão dinâmica é rápido e apresentou excelentes resultados. Os testes com os sensores em 3 solos de diferentes texturas mostraram que as pressões nos sensores foram reduzidas a zero quando os potenciais da água no solo alcançaram os valores das PB dos sensores, determinados pelo método de pressão dinâmica.

Palavras-chave: sensor de água no solo, microesferas de vidro, sensor IGstat, irrigação

**PERFORMANCE OF IGstat SENSORS OF CRITICAL SOIL WATER TENSION, WITH
DIFFERENT GLASS BEADS DIAMETERS**

Abstract: Aiming to contribute with the development of low cost irrigation sensors, Embrapa has developed sensors containing an external porous cup with a granular material in the core that retain and release water when the soil wet or dry, named IGstat. One limitation has been to select granular materials for specific air bubbling pressures (BP) for threshold irrigation. The objective of this study was to develop a procedure for construction and test of IGstat sensors with varying BP values or critical (threshold) soil tension values. The selected glass beads granulometric fractions provided BP between 9 and 45 kPa. The method proposed for determination of the BP by dynamic pressure presented excellent results. Experiments carried out in 3 soils of different textures showed that the pressure into the sensor reduced to zero when the soil matric potential was close to the sensor BP, as determined by the dynamic pressure method proposed.

Keywords: soil water sensor, micro glass beads, IG sensor, irrigation

1. Introdução

O Brasil está entre os 10 países com maior área irrigada, com cerca de 7 milhões de ha, o que representa cerca de 5% de toda área agricultável (ANA, 2017). A aplicação racional da água na irrigação pressupõe o seu uso no momento e quantidades adequadas às demandas das culturas, considerando a precipitação, evapotranspiração, a umidade e potencial da água no solo em todo o ciclo da cultura.

Para tanto, sensores de medida do conteúdo de água (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e potencial matricial (h , kPa) da água no solo são de extrema importância para uma irrigação eficiente. No caso dos sensores de umidade existem diversos dispositivos disponíveis comercialmente com precisões da ordem de 1-

3% (VAZ et al. 2013). Já no caso dos medidores de potencial matricial, os sistemas mais utilizados são os tensiômetros de cápsula porosa com medidores de pressão negativa. Esses dispositivos têm boa precisão, mas apresentam alguns inconvenientes como a ocorrência de cavitação da água (formação de bolhas de ar) quando o potencial matricial se aproxima da tensão barométrica. Nesse caso, o tensiômetro perde sua funcionalidade havendo a necessidade do seu preenchimento com água e estabelecimento de novo vácuo no sistema. Outros sensores comerciais de potencial matricial da água no solo são baseados na medida da resistividade elétrica em um bloco poroso de gesso ou outro material poroso, como é o caso do Watermark (Irrometer). Esses dispositivos, apesar de não apresentarem problemas de cavitação, são afetados por variações da temperatura e da salinidade do solo, além de perda de eficiência com o tempo de uso (MOTA et al. 2018). Por esses motivos, há interesse na pesquisa em se desenvolver novos dispositivos de medida do potencial matricial da água no solo com maior precisão e confiabilidade.

Visando solucionar esses problemas, a Embrapa desenvolveu um dispositivo constituído de uma cápsula porosa com um material particulado de granulometria conhecida no seu interior, que retém e libera água quando o solo molha ou seca, denominado IGstat. Durante a secagem, o meio permeia ar, possibilitando o uso de sistemas pneumáticos para a determinação da tensão da água no solo. O sensor IGstat é de fácil construção e possui excelente reprodutibilidade com o uso de materiais particulados padronizados. Dentre as diversas possibilidades de montagem desses sistemas e aplicações, o seu uso como um sensor de irrigação de tensão crítica é que tem apresentado os resultados mais promissores. Entretanto, uma das limitações tem sido a obtenção de materiais particulados para diferentes valores de tensões críticas e com alto grau de reprodutibilidade.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo apresentar um procedimento prático para selecionar materiais com diferentes granulometrias que possibilitem a obtenção de diferentes valores de tensões críticas e a construção de sensores IGstat para a irrigação de hortifrúteis, grãos e fruteiras. Para tanto, utilizou-se microesferas de vidro (EV) separadas por processos de sedimentação e peneiramento, definindo-se 7 faixas de granulometrias, entre cerca de 10 μm e 100 μm . As medidas de pressão de borbulhamento (PB) dos sensores, usada como limiar de irrigação, foram determinadas pelo método de pressão dinâmica-fluxo lento e os testes com os sensores de diferentes granulometrias de EV foram realizados em 3 solos com diferentes texturas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Sensores IGstat avaliados

Os sensores avaliados foram confeccionados pela Tecnicer Cerâmica, utilizando-se EV separadas por sedimentação (lei de Stokes) na Embrapa Instrumentação. As frações selecionadas foram: 60-70 μm , 50-60 μm , 40-50 μm , 30-40 μm , 20-30 μm , 10-20 μm e < 10 μm . As granulometrias das frações foram obtidas por um analisador granulométrico automático desenvolvido na Embrapa Instrumentação (NAIME et al. 2001). Os sensores IGstat confeccionados pela Tecnicer possuem diâmetro de 17 mm, altura de 50 mm, 2 mangueiras para entrada e saída do ar, com as microesferas de vidro no núcleo interno. Externamente, utiliza uma cerâmica sinterizada cilíndrica de cor clara que irá fazer o contato físico e hidráulico com o solo. Para o adequado funcionamento dos sensores IGstat, a PB da cerâmica externa deve ser superior à do núcleo interno de microesferas de vidro (CALBO et al. 2013). Para o teste, foram confeccionados 3 sensores para cada uma das 7 frações (Total de 21 sensores). As medidas de PB foram realizadas em triplicata para cada sensor.

2.2 Montagem experimental para determinação das pressões de borbulhamento

A Figura 1 apresenta a montagem experimental utilizada na determinação da PB dos sensores, utilizando o modo dinâmico de pressão-lento. Nesse modo, aplica-se uma pressão superior à maior PB de todos os sensores que estão sendo avaliados, que nesse caso é o de EV com fração < 10 μm . Testes iniciais indicaram que a PB dessa fração <10 μm é da ordem de 40 kPa e assim selecionou-se uma pressão de ar na bomba Quimis Q955P1, de 55 kPa. Essa pressão foi utilizada no

teste dos sensores de fração $< 10 \mu\text{m}$ e $10\text{-}20 \mu\text{m}$. Já para os sensores das demais frações ($20\text{-}30$; $30\text{-}40$; $40\text{-}50$; $50\text{-}60$ e $60\text{-}70 \mu\text{m}$) as medidas foram feitas com uma bomba de aquário da marca Big Air, modelo A230, cuja pressão máxima é de 23 cmHg (30,7 kPa), uma vez que a PB da fração $20\text{-}30 \mu\text{m}$ é da ordem de 25 kPa. Para que seja possível se realizar as medidas de PB no modo dinâmico, o fluxo de ar deve ser muito baixo ($\sim 2\text{mL}/\text{min}$) e para isso utilizou-se um restritor de pressão confeccionado com tubo de cobre, onde o equilíbrio foi alcançado em cerca de 5 min após o acionamento da bomba de pressão. Neste caso, mede-se a pressão no manômetro de mercúrio em intervalos regulares de 10 a 30 seg até a obtenção da pressão de equilíbrio, que se dá em no máximo 10 min para os sensores de maior PB, registrando-se também o tempo e a pressão no qual o borbulhamento se inicia. As medidas foram realizadas em triplicata.

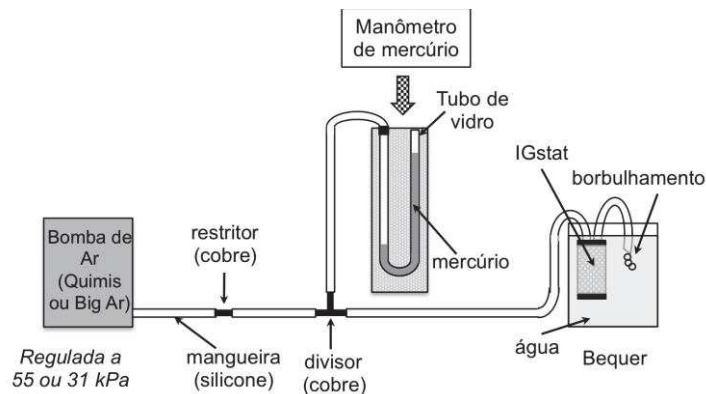


Figura 1. Montagem experimental para medida da PB de sensores IGstat no modo Pressão-Dinâmico lento.

2.3 Experimento em solo para teste dos sensores

Para a avaliação dos sensores utilizou-se 3 caixas com diferentes solos (Nitossolo-argiloso, LVA-textura média e Neossolo-textura arenosa), onde os sensores com as 7 classes de granulometria foram instalados, juntamente com tensiômetros de manômetro de mercúrio e sensores de umidade do solo (5TE, Degagon).

As 3 caixas foram saturadas e deixadas secar por evaporação para a realização das medidas por um período total de 6 meses, com re-saturação a cada 2 meses, ou seja com o ciclo saturação-secagem realizado 3 vezes para cada solo nesse período. As medidas nos sensores IGstat foram realizadas ao menos uma vez por dia, aplicando-se uma pressão de 2,7 cmHg e medindo-se a pressão com um manômetro de mercúrio após 5 min de equilíbrio. O valor da pressão era então anotado em uma planilha, juntamente com os valores do potencial matricial (tensiômetros) e da umidade do solo (sensores 5TE). O desempenho dos sensores nos 3 solos, em 3 ciclos de secamento, foi avaliado em gráficos da pressão no sensor em função do potencial matricial medido.

3. Resultados e Discussão

As distribuições dos tamanho de partículas das 7 classes de EV utilizadas para a construção dos sensores IGstat são apresentadas na Figura 2, na forma de histogramas. Observa-se que algumas frações apresentam granulometrias fora das faixas esperadas, ocasionado provavelmente pela dificuldade em se separar os diâmetros maiores, uma vez que os tempos de sedimentação são de algumas dezenas de segundos. Entretanto, o importante é que as faixas granulométricas foram determinadas e há uma variação considerável nas faixas de diâmetro (de 1 a cerca de $120 \mu\text{m}$), o que irá proporcionar diferentes PB entre as frações selecionadas. Os valores mínimos, máximos e a média dos diâmetros das 7 frações de EV são apresentadas na Figura 2 à direita.

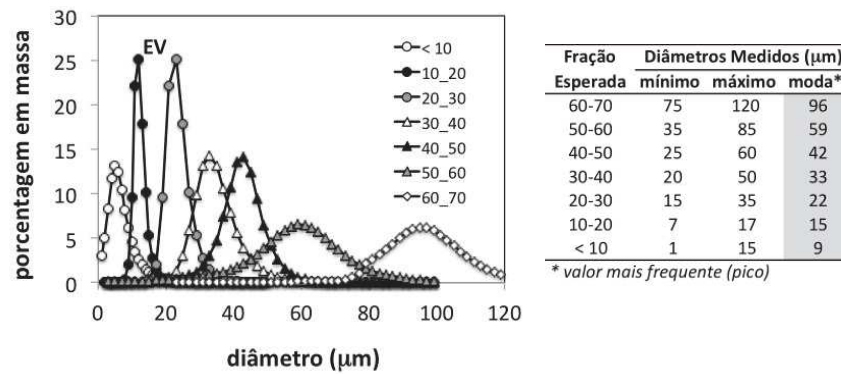


Figura 2. Distribuições granulométricas das 7 frações de esfera de vidro separadas por sedimentação, medidas pelo analisador granulométrico de raios gama. À direita são mostrados os valores mínimos, máximos e a moda de cada fração granulométrica.

Os resultados das medidas de PB nos sensores IGstat para as 7 frações de EV são apresentadas na Figura 3a. Observa-se em todos os casos um aumento praticamente linear na etapa inicial e posteriormente uma rápida diminuição e estabilização da pressão, que ocorre no momento do borbulhamento na saída do sensor. O valor da PB é a pressão medida no manômetro de Hg no borbulhamento e coincide com o valor máximo (equilíbrio), verificado na Figura 3a.

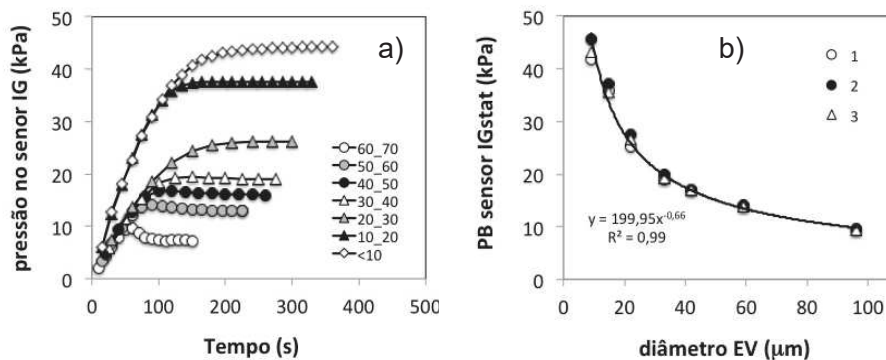


Figura 3. Pressão no sensor IGstat em função do tempo (a), utilizando a montagem da Figura 1 e as pressões de borbulhamento (PB) em função dos valores mais frequentes dos diâmetros das EV (b).

Como esperado, a PB aumenta com a diminuição do diâmetro das frações granulométricas das microesferas de vidro (Figura 3b). A PB apresentou uma variação não linear com o diâmetro das EV, sendo que a função matemática que melhor se ajustou aos dados experimentais foi: $PB = 199,9 D^{0,661}$, onde PB (kPa) é a pressão de borbulhamento e D (µm) a moda da distribuição da fração granulométrica das EV.

Os resultados dos testes dos sensores IGstat com diferentes tamanhos de EV são apresentados na Figura 4a,b,c,d,e,f,g, incluindo os dados dos 3 solos e 3 ciclos de secagem a partir da saturação. Verifica-se para todos os sensores que quando o solo está bem úmido (baixos valores de tensão de água ou potencial matricial) as pressões medidas são iguais à pressão aplicada (~2,7 cmHg). Quando o solo seca para tensões de água próximas às PB dos sensores a pressão começa a diminuir, chegando a valores próximos a zero (ar flui quase livremente pelas EV, pois não há mais água retida nas EV). Para efeitos práticos, considerou-se como limiares indicativos para irrigação (PB) quando a pressão no sensor alcançou o valor de 0,5 cmHg. Na Figura 4h os limiares de irrigação (PB) obtidos dos experimentos com os 3 solos são comparados com os valores de PB obtidos pelo método da pressão dinâmica, onde verifica-se excelente concordância dos dados nos 2 testes. As medidas realizadas nos 3 solos por 6 meses foram consistentes em termos das repetições (diferentes solos e 3 ciclos), não havendo perda de eficiência dos sensores.

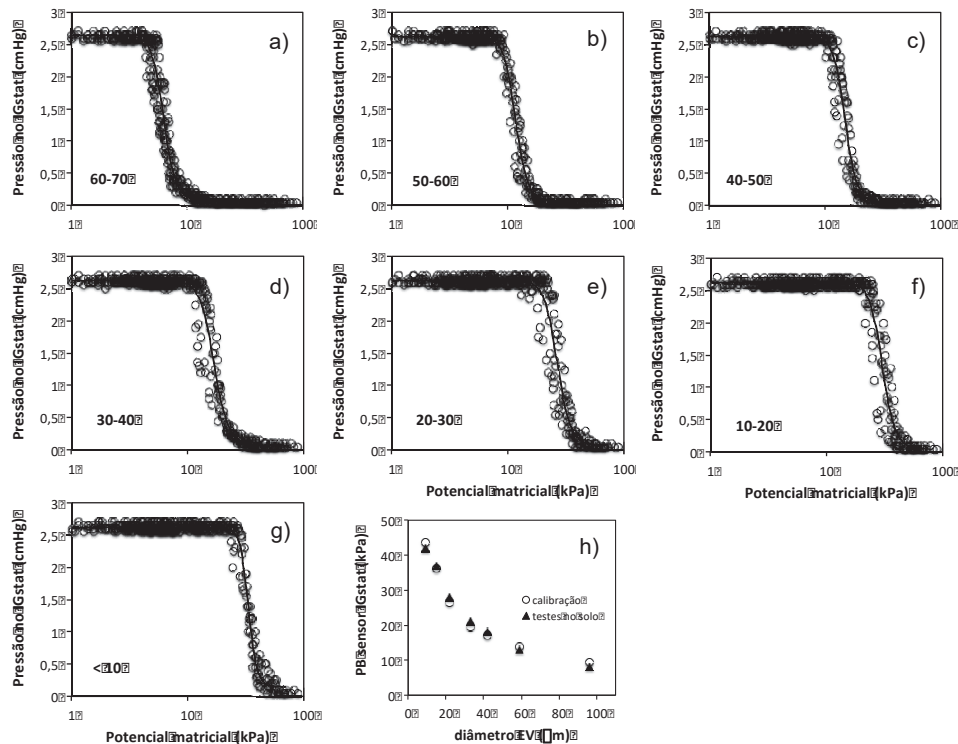


Figura 4. Pressões nos sensores IGstat em função dos potenciais matriciais (tensiômetros) nas 7 frações de EV (a, b, c, d, e, f, g). Dados para 3 solos com 3 ciclos de secagem. Comparação entre as PB medidas na calibração (método pressão dinâmica) e os valores obtidos nas caixas com solos (g).

4. Conclusões

As frações granulométricas de EV selecionadas, com diâmetros médios entre a 10 e 100 μm , possibilitaram a construção de sensores IGstat com limiares de irrigação entre 9 e 45 kPa. O método proposto para a determinação da PB por pressão dinâmica é rápido e apresentou excelentes resultados. Os testes com os sensores em 3 solos de diferentes texturas mostrou que a pressão no sensor foi reduzida a zero para potenciais da água no solo próximos aos PB dos sensores, determinados pelo método de pressão dinâmica (calibração).

Agradecimentos

Embrapa (projeto 03.14.09.002.00.03), CNPq (projeto 312282/2017-6; 308005/2016-3) e SENAI.

Referências

- CALBO, A.G.; VAZ, C.M.P.; PORTO, L.F.; MAROUELLI, W.A. Sensor de tensão de água, sistema para caracterização e medições contínuas de água no solo, sistema de indicação de tensão crítica no solo e haste de irrigação. Patente BR 0097721, 2013
- MOTA, M., T. MARQUES, T. PINTO, F. RAIMUNDO, A. BORGES, J. CACO, J. GOMES-LARANJO. Relating plant and soil water content to encourage smart watering in chestnut trees. *Agricultural Water Management*, v.203, p.30-36, 2018
- NAIME, J.M., C.M.P. VAZ, A. MACEDO. Automated soil particle analyzer based on gamma ray attenuation. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.31, p.295-304, 2001
- VAZ, C.M.P., S. JONES, M. MEDING, M. TULLER. Evaluation of standard calibration functions for eight electromagnetic soil moisture sensors. *Vadose Zone Journal*, v.12, vj2012.0160, doi:10.2136/vj2012.0160, 2013
- ANA-Agência Nacional de Águas. Atlas Irrigação-Uso da água na agricultura irrigada, Brasília-DF, 2017