

Nº 15, nov/96, p.1-8

UM NOVO TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTO PARA USO AGROPECUÁRIO

Wilson Seluque Ferreira¹
Paulo Estevão Cruvinel²

O monitoramento das dimensões de órgãos vegetais interessa a diversas linhas de pesquisa ligadas à agricultura, à agricultura de precisão e à silvicultura, abrangendo desde estudos voltados à avaliação do crescimento de órgãos (Bormann & Kozlowski, 1962; Kozlowski, 1963; Schoch et al, 1990) a avaliações destinadas a aquilatar o efeito da atividade de exploração do vegetal, como é o caso de estudos direcionados a avaliar alterações no diâmetro do tronco da seringueira em resposta à sangria realizada para a obtenção do látex (Lustinec et al, 1969) ou a estudos voltados a ressaltar o efeito de fatores meteorológicos na alteração em tamanho de órgãos, pelo crescimento (Schoch et al, 1990).

Um crescente número de trabalhos que envolvem o monitoramento contínuo de órgãos vegetais está voltado ao acompanhamento diurno de microvariações nas dimensões de órgãos, notadamente caules e frutos, como indicativo do estado hídrico do vegetal (Holmes & Shim, 1968; Chaney & Kozlowski, 1971; Klepper & Browning, 1971; Molz & Klepper, 1972; Lassoie, 1973; Alvim, 1975; Parlange et al, 1975; Powell, 1976; Huck & Klepper, 1977; So, 1979; So et al, 1979; Reicosky et al, 1980; Syvertsen & Levy, 1982; Higgs & Jones, 1984; Huguet, 1985; Schoch et al, 1987; Li et al, 1990), prestando-se, inclusive, como elemento auxiliar à prática de irrigação (Jones, 1990). Ao longo do dia, as microvariações de diâmetro observadas em frutos ou em órgãos lenhosos são, na realidade, o balanço dos efeitos de três fenômenos principais, ou seja, o crescimento, as trocas de água entre tecidos e as variações térmicas e, a depender do momento e da estação do ano, das condições atmosféricas e da disponibilidade de água no solo. Pode-se interpretar as evoluções globais da dimensão do órgão vegetal, pela análise destes três efeitos principais (Huguet, 1985). A utilização do monitoramento de variações micrométricas no diâmetro de troncos e de caules em geral, como indicador do estado hídrico da planta como um todo, se mostram convenientes para informar sobre o estado hídrico do dossel, tanto de plantas monocotiledôneas como dicotiledôneas e fundamenta-se

¹ Eng. Eletrônico, MSc, EMBRAPA-CNPDIA, Caixa Postal 741, CEP 13567-970, São Carlos, SP

² Eng. Eletrônico, PhD, EMBRAPA-CNPDIA, Caixa Postal 741, CEP 13567-970, São Carlos, SP

CT/15, CNPDIA, nov/96, p.2

no fato de que ao longo do dia, ocorrem contrações e expansões do caule, em resposta a alterações no potencial da água das folhas da planta, conforme apresentado por Klepper et al, (1971); Molz & Klepper, (1972), So et al, (1979). Com os frutos ocorrem alterações diurnas em diâmetro semelhantes às observadas nos caules, pois esses também funcionam como fornecedores transitórios de água às folhas, sobretudo em períodos de elevada demanda transpiratória, como apresentado por Huguet em 1985. A medida contínua e não destrutiva do estado hídrico de plantas é potencialmente útil no fornecimento de informações sobre o efeito da água no desenvolvimento e crescimento da mesma, o que traz vantagens quando comparado às medidas destrutivas feitas em determinados instantes durante um experimento. Mudanças diurnas no estado da água relacionados com o ambiente da planta, bem como o das raízes, são tão dinâmicas que as medidas realizadas isoladamente são muito mais difíceis de serem interpretadas do que as medidas obtidas continuamente (Klepper et al, 1971). Vários tipos de sistemas têm sido gerados com vistas a monitorar continuamente e com precisão, as oscilações diurnas nas dimensões de órgãos vegetais, podendo-se agrupá-los, em termos gerais, quanto ao tipo de sensor utilizado, ou seja, sensores de capilar, sensores mecânicos e sensores eletrônicos, constituídos em sua maioria por sensores de deslocamento linear de indução diferencial (LVDT).

Medidas contínuas no caule de plantas têm sido usadas para monitorar variações diurnas no potencial de água das folhas. Na relação entre o diâmetro do caule (S_d) e o potencial de água da folha (Ψ_L) existe uma histerese significativa, a qual é predominantemente causada pelo intervalo de tempo gerado pelas variações do potencial de água entre xilema, dentro do floema, e ao redor do tecido córtex (Molz & Klepper, 1972).

Vários modelos buscam descrever o comportamento da variação de órgão vegetal em função do diâmetro do caule das plantas e do potencial de água presente na mesma (Huck & Klepper, 1971; Klepper et al, 1971; Molz & Klepper, 1972; Parlange et al, 1975; Huck & Klepper, 1977; Reichardt, 1979; So, 1979; So et al, 1979). Parlange et al (1975), por exemplo, apresentaram um modelo de transporte assumindo que o conteúdo de água pode variar descontinuamente através do floema.

A instrumentação para a medida de microvariações do diâmetro em órgãos vegetais apresentada neste trabalho é baseada em técnica interferométrica, com o uso de uma arquitetura fundamentada no interferômetro de Mach Zehnder (Seluque, 1994; Seluque & Cruvinel 1995; Torre-Neto et al, 1996). Nesta estrutura, diagramada na Figura 1, considera-se um dos ramos do circuito óptico como sendo de referência, com comprimento de fibra óptica l_2 e um outro ramo do circuito óptico como sendo de medida com comprimento $l_1 \pm \Delta l$. Quando $l_1 \pm \Delta l$ for diferente de l_2 , uma diferença de fase proporcional a esta variação é observada no ponto **P** em relação ao sinal de entrada nos ramos do circuito óptico, ponto **E**. No instrumento para a medida de microvariações do diâmetro de órgãos vegetais, baseado em fibra óptica, a saída do sinal do interferômetro, após o detector ser acoplado a um circuito eletrônico quadrador, ou seja, um circuito que produz uma onda quadrada em nível TTL a cada passagem pelo zero do sinal de entrada, os pulsos são totalizados possibilitando a leitura correspondente à variação de comprimento sofrida no ramo de medida do circuito óptico. Esse circuito óptico é acoplado a um eixo mecânico móvel cuja posição depende das variações do diâmetro do órgão vegetal sob análise. A referência zero é tomada a partir do instante de acoplamento do eixo mecânico móvel ao caule da planta.

CT/15, CNPDIA, nov/96, p.3

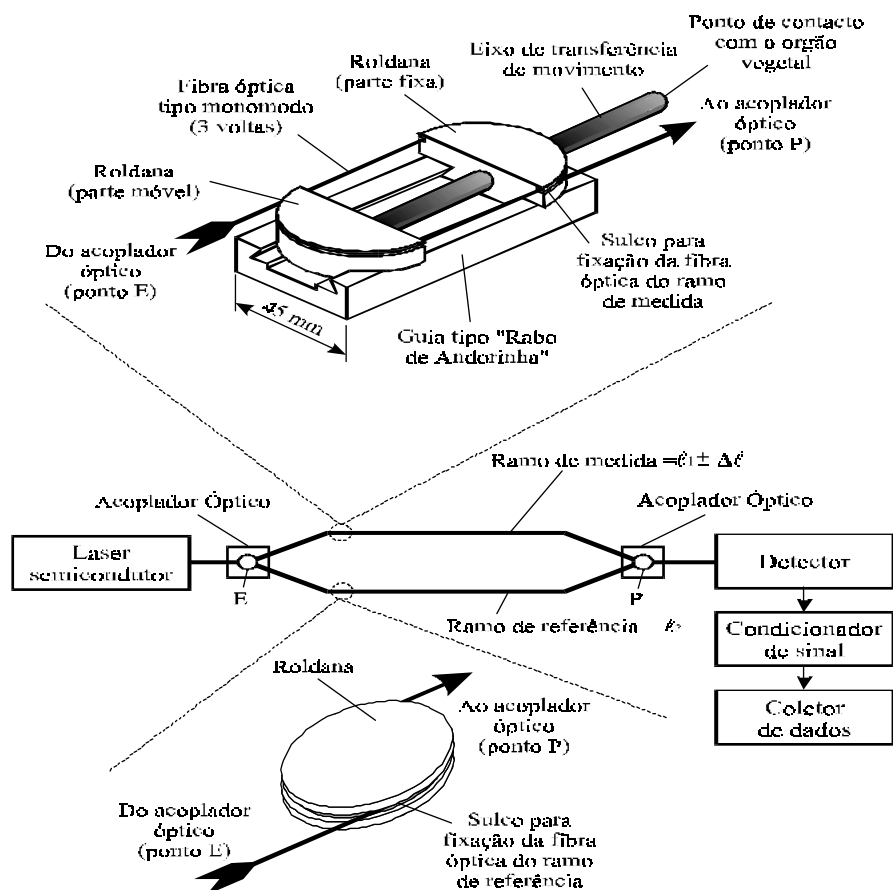


Figura 1 - Diagrama esquemático do novo transdutor para a medida de microvariações em órgãos vegetais com o uso de técnica interferométrica.

Nesse novo transdutor, ao se alterar a medida da fibra óptica no ramo de medida do interferômetro, por compressão ou por distensão, ocorre uma variação na intensidade de luz no ponto P. Essa variação é proporcional ao módulo da função de coerência mutua. O ramo de medida está rigidamente acoplado a um eixo mecânico, possibilitando, assim, a transferência total dos movimentos possibilitando as medidas. Utilizou-se fibra óptica do tipo monomodo para operações na faixa de comprimento de onda de $1,3 \mu\text{m}$.

O transdutor desenvolvido foi calibrado e avaliado para uso em campo, possibilitando medidas em regime contínuo de microvariações do caule de uma planta de café (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo), popularmente conhecida como café Mundo Novo, sob variações das condições ambientais, durante períodos de 24 horas com repetições.

CT/15, CNPDIA, nov/96, p.4

A Figura 2 ilustra o resultado comparativo da calibração obtida com um sensor LVDT convencional, e o que utiliza o método interferométrico. Um erro de exatidão de 4,7% no sensor que utiliza o método interferométrico, para o intervalo de 0 a 300 mm foi observado.

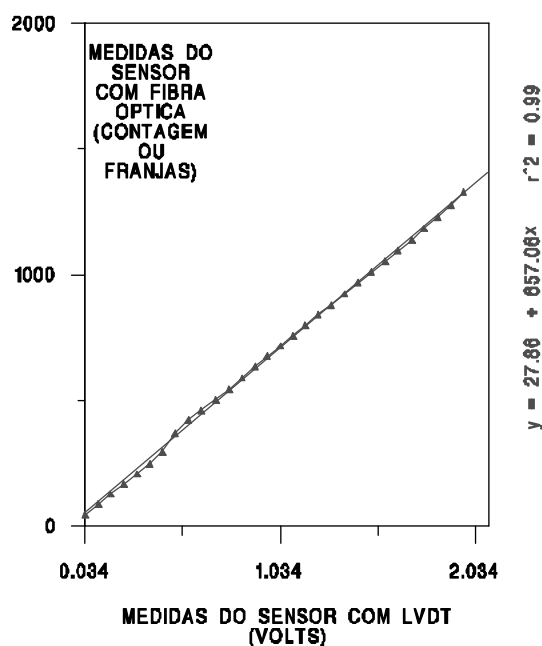
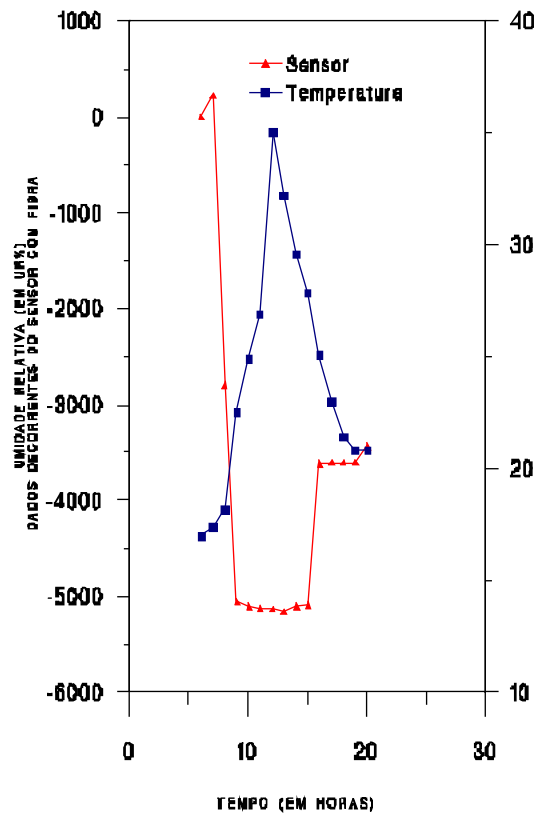
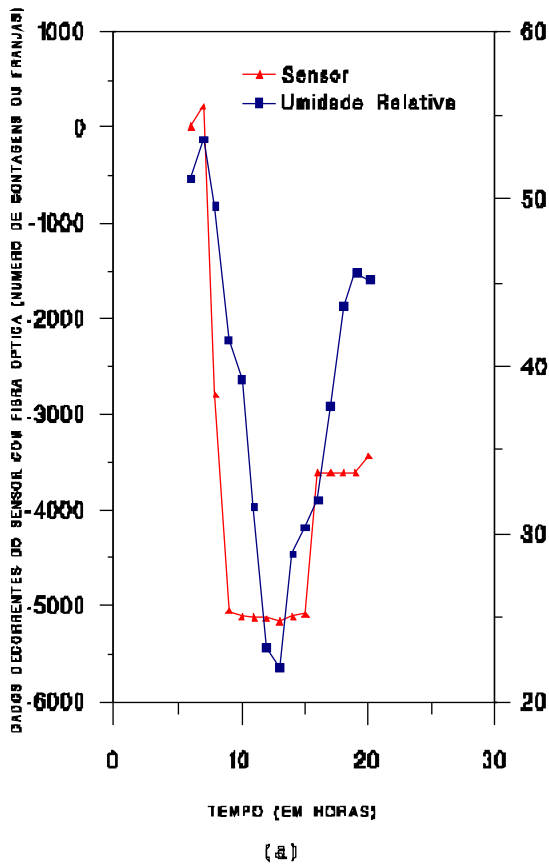


Figura 2 - Correlação entre os resultados de calibração obtidos com os sensores para a medida de deslocamento, baseado em fibra óptica e em LVDT.

A resolução do novo sensor está na classe de $0,5\mu\text{m}$, com reprodutibilidade confirmada na faixa de medida de até $300\mu\text{m}$. Adicionalmente, constatou-se que o sensor de fibra óptica reproduziu plenamente a faixa de medida realizada com o LVDT, onde o coeficiente de correlação linear encontrado foi de $r^2 = 0,99$ (com significância a nível de 5%). O comportamento operacional do sensor baseado no método interferométrico foi analisado em uma faixa ampla de temperatura. Observou-se operação em condições confiáveis até a temperatura de 60°C . Os resultados do teste de campo com a planta de café Mundo Novo mostram que, como pode-se observar na Figura 3a, o decréscimo da umidade relativa ao longo do tempo proporcionou um decréscimo no diâmetro do caule da planta, tendo em vista que a diminuição da umidade relativa do ar proporciona um acréscimo da diferença do potencial de água entre a atmosfera e o solo provocando um aumento da evapotranspiração da planta, tendo como conseqüência o murchamento do caule. Da mesma maneira, com o aumento da umidade relativa, como um dos fatores preponderantes, ocorre um aumento no diâmetro do caule da planta. Com o incremento da temperatura ambiente ao longo do tempo houve um decréscimo no diâmetro do caule da planta, tendo em vista que o aumento da temperatura ambiente proporciona um acréscimo da quantidade de água no estado de vapor dentro dos estômatos da folha da planta, favorecendo um aumento da evapotranspiração. Isto traz como conseqüência o murchamento do caule. Da mesma maneira, com a

CT/15, CNPDIA, nov/96, p.5

diminuição da temperatura ambiente, como um dos fatores que contribuem neste processo, ocorre um aumento no diâmetro do caule da planta, devido ao decréscimo da quantidade de água no estado de vapor dentro dos estômatos das folhas. Adicionalmente, conforme observado na Figura 4(c), o incremento do nível da radiação incidente ao longo do tempo proporcionou um decréscimo no diâmetro do caule da planta, tendo em vista que o aumento da radiação global ambiente proporciona acréscimo da temperatura ambiente, favorecendo um aumento da evapotranspiração, com um acréscimo da quantidade de água no estado de vapor dentro dos estômatos da folha da planta, e perda de água pelas células para atender a demanda, trazendo como consequência o murchamento do caule.



CT/15, CNPDIA, nov/96, p.6

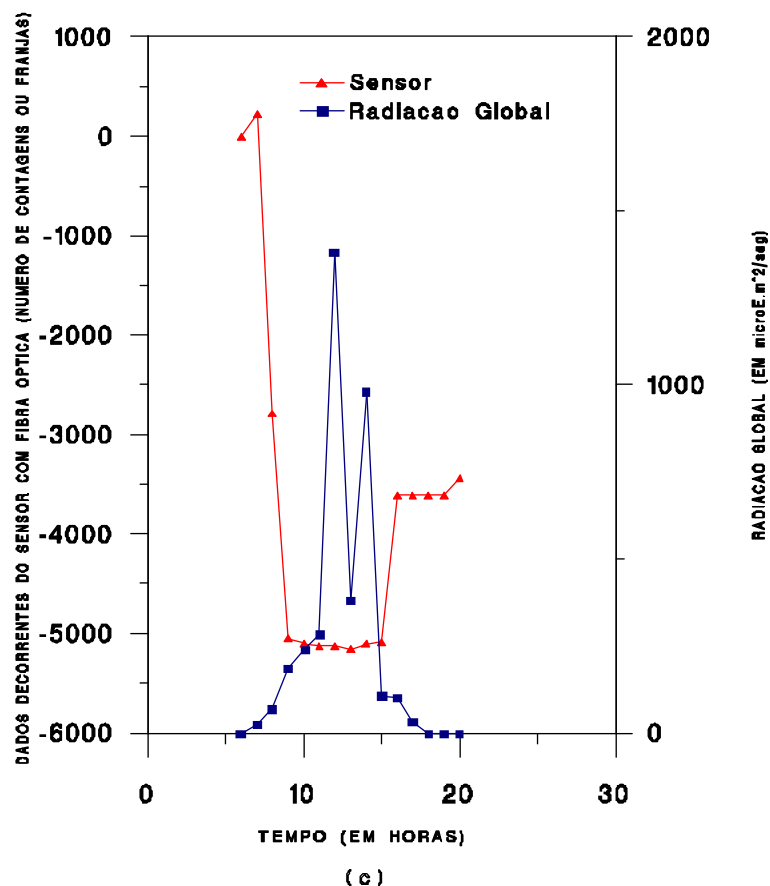


Figura 3 - Dados decorrentes do sensor de fibra óptica versus dados de umidade relativa do ar (a), temperatura (b) e radiação global (c), para o experimento de campo com uma planta de café. Um porômetro LI-COR modelo LI-1600 foi utilizado para a aquisição de dados de temperatura, umidade relativa e radiação global, buscando acompanhar e correlacionar as microvariações do caule da planta de café em função da variação desses parâmetros edafo-ambientais.

Quando comparado a um método clássico de medida como o do uso de um sensor baseado em LVDT, o sensor baseado em técnica interferométrica não só mostrou uma alta correlação linear com o mesmo, como também mostrou-se adequado para operação a nível de campo. Quanto ao custo deste instrumento, quando comparado à instrumentação baseada em sensor LVDT ou outros de mesma classe de resolução e eletrônicos, ele é sensivelmente menor, de aproximadamente um fator 2,5. O método apresentado tem a vantagem de ser imune a interferências eletromagnéticas, ter alta sensibilidade, ser seguro em ambientes que apresentam problemas de segurança e possibilitar o processamento do sinal a longas distâncias com mínima degradação e abre novas fronteiras e possibilidades de uso de sensores baseados em fibra óptica na agropecuária, principalmente para estudos fisiológicos de plantas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a TELEBRAS e a Escola de Engenharia de São Carlos, USP pelo apoio a realização deste trabalho.

CT/15, CNPDIA, nov/96, p.7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, P. de T. A new dendrometer for monitoring cambium activity and changes in the internal water status of plants. **Turialba**, San Jose, v.25, n.4, p.445-447, 1975.
- BORMANN, H.F.; KOZLOWSKI, T.T. Measurements of tree growth with dial gauge dendrometers and vernier tree ring bands. **Ecology**, Tempe, v.43,n.2, p.289-294, 1962.
- CHANEY, W.R. & KOZLOWSKI, T.T. Water transport in relation to expansion and contraction of leaves and fruits of Calmmodin oranges. **Jounar of Horticultural Science**, Ashford, v.46, p.71-81, 1971.
- FERREIRA, W.S. **Instrumentação para o monitoramento de microvariações em órgãos vegetais**. São Carlos: USP-EESC, 1994 226p, Dissertação de Mestrado.
- FERREIRA, W.S.; CRUVINEL P.E. Resultados de campo de medidas de micro-variações de órgãos vegetais com o uso de uma instrumentação com sensor baseado em fibra óptica. In. ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, 18, Caxambu, MG. **Resumos estendidos do Grupo de Instrumentação...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 1995 p.186-189.
- HIGGS, K.; JONES, H.G. A microcomputer-based system for continuous measurement and recording fruiting diameter in relation to environmental factors. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.35, n.160, p.1646-1655, 1984.
- HOLMES, J.W.; SHIM, S.Y. Diurnal changes in stem diameter of Canary Island pine trees (*Pinus canariensis* C. Smith) caused by soil water stress and varying microclimate. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.19, n.59, p.219-232, 1968.
- HUCK, M. G. & KLEPPER, B. Water relations of cotton. II. Continuous estimates of plant water potential from stem diameter measurements. **Agronomy J.**, v.69, p.593-597, 1977.
- HUGUET, J.G. Appréciation de l'état hydrique d'une plante à partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée. **Agronomie**, Paris, v.5, n.8, p.733-741, 1985.
- JONES, H.G. L'irrigation du futur. **La Recherche**, Paris v.21, n.221, p.644-652, 1990.
- KLEPPER, B.; BROWNING, V.D.; TAYLOR, H.M. Stem diameter in relation to plant water status. **Plant Physiology**, Rockeville, v.48, p.683-685, 1971.
- KOZLOWSKI, T.T. Growth characteristics of forest trees. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.61, p.655-662, 1963.
- LASSOIE, J.P. Diurnal dimensional fluctuations in a Douglas-fir stem in response to tree water status. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.19, n.4, p.251-255, 1973.
- LI, S. H.; HUGUET, J.G.; SCHOCH, P.G.; BUSSI, C.R. Réponse de jeunes pêcheurs cultivés en pots à différentes régimes d'alimentation hydrique. I: Conséquences sur la transpiration, la résistance stomatique, le potentiel hydrique foliaire, la photosynthèse et les variations micrométriques des tiges. **Agronomie**, Paris v.10, p.263-272,1990.

CT/15, CNPDIA, nov/96, p.8

- LUSTINEC, J.; SIMMER, J.; RESING, W.L. Trunk contraction of *Xevea brasiliensis* due to tapping. **Biologia Plantarum**, Prague, v.11, n.3, p.236-244, 1969.
- MOLZ, F.J.; KLEPPER, B. Radial propagation of water potential in stems. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.469-473, 1972.
- PARLANGE, J. Y.; TURNER, N. & WAGGONER, E. Water uptake, diameter change and non-linear diffusion in tree stems. **Plant Physiology**, Rockville, v.55, p.247-250, 1975.
- POWELL, D. B. B. Continuous measurement of shoot extension and stem expansion in the field. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.27, n.101, p.1361-1369, 1976.
- REICHARDT, K. A água: absorção e translocação. In: Ferri, M. G. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1979 v.1, p.3-24.
- REICOSKY, D.C.; DEATON, D.E. & PARSONS, J.E. Canopy air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stressed soybeans. **Agricultural Metodology**, Amsterdam, v.21, p.21-35, 1980.
- SALAGER, J.L.; FANREGUETTES, J. & BERGER, A.. A microcomputer-based measurement system of water stress in higher plants. **Computer and electronics in agriculture**, Amsterdam, v.6, n.3, p201-211, 1991.
- SCHOCH, P.G.; KATERJN, N.; RIMGOTO, P.; TCHAMITCHIAN, M.; MALET, P.; L'HOTEL, J. C.; DAUNAY, M.C. Influence du niveau d'alimentation hydrique sur les variations du diametre des tiges, du potentiel hydrique, de la resistance stomatique, de la transpiration et de la photosynthese de l'aubergine (*Solanum melangena* L.). **Agricultural Metodology**, Amsterdam, v.40, p.89-104, 1987.
- SCHOCH, P.G.; L'HOTEL, J.C.; BRUNEL, B. Croissance du diametre de la tige de:effects du rayonnement et de la temperature nocturne. **Agricultural Metodology**, Amsterdam, v.50, p229-238, 1990.
- SO, H.B. An analysis of the relationship between stem diameter and leaf water potentials. **Agron. J.**, v.71, p.675-679, 1979.
- SO, H.B.; REICOSKY, D.C.; TAYLOR, H.M. Utility of stem diameter changes as predictors of the plant canopy water potential. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.707-713, 1979.
- SYVERTSEN, J.P.; LEVY, Y. Diurnal changes in citrus leaf thickness, leaf water potential and leaf to air temperature difference. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.33, n.135, p.783-789, 1982.
- TORRE-NETO, A.; CRUVINEL, P.E.; INAMASSU, R.Y.; COLNAGO, L.A.; MATTOSO, L.H.C.; FERREIRA, W.S. Medição, transmissão e processamento de dados. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A., ed. **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap.5, p.201-222.