

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO OBTIDA COM O SISTEMA RAZÃO DE BOWEN E COM UM LISÍMETRO DE PESAGEM EM AMBIENTE PROTEGIDO

**Thales Vinícius de Araújo Viana**  
**Marcos Vinícius Folegatti**  
**Benito Moreira de Azevedo**  
**Guilherme Vieira do Bomfim**  
**Waleska Martins Elói**

*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. CEP 60455-760. E-mail: thales@ufc.br*

### 1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estimar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), em ambiente protegido, através de um sistema automático da Razão de Bowen (SRB), comparando-a com a medida através de lisímetro de pesagem. O experimento foi conduzido, em Piracicaba-SP, em ambiente protegido com cobertura plástica de PEBD. A cultura utilizada foi à alface (*Lactuca sativa*, L.), variedade Verônica, e foram realizados dois ciclos experimentais, um no outono e outro no inverno. O SRB e o lisímetro de pesagem foram instalados no centro do ambiente protegido. O total evapotranspirado pela alface foi de 102,98 e 92,93 mm, respectivamente, para o primeiro e o segundo cultivo. O SRB subestimou esses valores representando 75,9 % e 66,3 % do total medido no lisímetro de pesagem, respectivamente, no primeiro e no segundo cultivo da alface. Os baixos valores do gradiente de pressão parcial do vapor dificultaram a estimativa da evapotranspiração pelo SRB no interior do ambiente protegido.

**UNITERMOS:** Casa de vegetação, lisímetro, Evapotranspiração.

**VIANA, T. V. de A.; FOLEGATTI, M. V.; AZEVEDO, B. M. de; BONFIM, V. do; ELOI, W. M.**  
**EVAPOTRANSPIRATION THROUGH THE BOWEN RATIO SYSTEM AND A WEIGHING**  
**LYSIMETER IN GREENHOUSE**

### 2 ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the crop evapotranspiration in a greenhouse using an automatic Bowen ratio system (BRS). The experiment was carried out in Piracicaba, São Paulo State, in a greenhouse. Lettuce (*Lactuca sativa*, L.), variety "Veronica", was the crop used in the experiment and it was planted over the fall and winter seasons. Lettuce water requirements were measured by a weighing lysimeter. The evapotranspiration estimated using an automatic Bowen ratio system (BRS) was compared to the evapotranspiration measured through a weighing lysimeter. The total evapotranspiration measured by the weighing lysimeter was 102.98 mm and 92.93 mm for the first and second crop cycle, respectively. The BRS underestimated the total lettuce evapotranspiration

representing 75.9 % and 66.3 % of the evapotranspiration measured in the first and second crop cycle, respectively. The low partial pressure gradient values of the vapor led to an underestimation of evapotranspiration by BRS in the greenhouse

**KEY WORDS:** Greenhouse, lysimeter, Evapotranspiration.

### 3 INTRODUÇÃO

O ambiente protegido, com cobertura plástica, tem se popularizado por permitir maior controle dos elementos microclimáticos ao longo do ano, possibilitando a obtenção de produtos de melhor qualidade, maior regularização da oferta e, conseqüentemente um maior número de safras durante o ano. Entretanto, as alterações fisiológicas e reprodutivas induzidas às culturas, por esse ambiente, precisam ser, ainda, mais satisfatoriamente estudadas.

Diversas são as alterações decorrentes do ambiente protegido, quando comparado com o cultivo a céu aberto, tais como redução na incidência de radiação solar e na velocidade do vento, com conseqüente redução da evapotranspiração. A intensidade dessa redução, na radiação incidente, pode ainda ser variável de uma estufa para outra devido a diversos fatores tais como densidade, cor e tempo de uso do polietileno, orientação das estufas, cobertura do solo, a abertura ou não de cortinas e janelas, etc.. A velocidade do vento tende a valores muito baixos, exceto quando a estufa dispõe de janelas e as mesmas são mantidas abertas. Tais alterações, induzem à necessidade de estudos detalhados dos fenômenos microclimáticos dentro da estufa para possibilitar a estimativa da evapotranspiração no interior da mesma. Scatolini (1996) observou que a estufa altera os elementos meteorológicos de maneira não uniforme, dificultando a estimativa da evapotranspiração a partir de elementos externos a ela.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser medida através de lisímetros, dentre eles o de pesagem, e estimada por diversos métodos tais como o da Razão de Bowen, entre

outros. A estimativa da evapotranspiração através da Razão de Bowen, no Brasil, tem sido feita, comumente através de observações com psicrômetros comuns. No Brasil, Villa Nova (1973) realizou o primeiro estudo do Balaço de energia/ razão de Bowen, em uma área cultivada com arroz, utilizando psicrômetros com pares termoeletrônicos, com amostrador temporo-espacial, acoplado a um potenciômetro. Com a popularização da microeletrônica foram utilizados psicrômetros constituídos de pares termoeletrônicos, de cobre-constantan, conectados a um sistema de aquisição de dados (CUNHA et al., 1996). Entretanto, com o sistema Razão de Bowen é possível registrar instantaneamente a radiação líquida, o fluxo de calor no solo e gradientes de pressão de vapor d'água e temperatura do ar, em duas alturas, permitindo a estimativa da partição do saldo de radiação.

O sistema automático da razão de Bowen (SRB, Campbell Scientific) já foi testado em condições de campo, tendo apresentado bom desempenho (TANNER et al., 1987; NIE et al., 1992) sendo, comumente, a evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo mesmo utilizada como padrão (MALEK et al., 1997; ROSSET et al., 1997). No Brasil, o mesmo foi testado por Azevedo (1999) que chegou as seguintes conclusões: o sistema apresentou desempenho adequado tanto na escala diária como na horária, pequena necessidade de manutenção e fácil manuseio. O autor recomendou-o para diversos estudos em substituição aos lisímetros devido à baixíssima mobilidade dos últimos em campo. Comentário semelhante também foi feito por Silva (2000).

Apesar disso, o SRB requer, para uma adequada estimativa da evapotranspiração, consideráveis gradientes de pressão de vapor d'água ( $> 0,03 \text{ kPa m}^{-1}$ ) e temperatura do ar comuns em ambiente externo em condições de forte advecção (PEREZ et al., 1999).

Entretanto, em ambiente protegido, principalmente, devido à baixa renovação dos constituintes do ar pela reduzida velocidade do vento, os referidos gradientes são pequenos e, em consequência, o funcionamento do aparelho poderá ser dificultado.

O objetivo deste estudo foi estimar, no interior do ambiente protegido, a evapotranspiração com o sistema automático da Razão de Bowen, comparando-a com a medida através de um lisímetro de pesagem.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, na área experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", situada na fazenda Areão no município de Piracicaba, SP. O local está situado nas coordenadas geográficas 22°42'30" S, 47°30'00" W e 576 metros de altitude, com clima Cwa, conforme a classificação de Köppen, com verão chuvoso e seca no inverno (SENTELHAS et al., 1998). O ambiente protegido era do tipo capela, com eixo longitudinal no sentido leste-oeste, e tinha as seguintes dimensões: 6,4 m de largura, 20 m de comprimento, 4,2 m de altura na parte central e 3,0 m no pé direito e cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD). O ambiente protegido foi cultivado com alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar Verônica, em dois períodos, sendo um no outono do ano de 2000, com transplantio em 7 de abril e início da colheita em 7 de maio, e outro no inverno do mesmo ano, com transplantio em 24 de junho e início da colheita em 5 de agosto. Os canteiros foram confeccionados com 0,30 m de altura, 1,3 m de largura e 18,0 m de comprimento, e espaçados de 1,0 m. As mudas de alface foram plantadas com espaçamento de 0,25 m x 0,25 m, constituindo quatro linhas por canteiro. Nos dois períodos de cultivo foram feitas fertirrigações semanais e a umidade do solo foi mantida próxima a capacidade de campo. O sistema automático da Razão de Bowen (Bowen Ratio System, Campbell Scientific,

Logan, UT) foi instalado no centro do ambiente protegido com os braços colocados sobre o lisímetro de pesagem, a 0,25 m e 1,25 m de altura. A radiação líquida foi medida, a cada segundo a partir de um saldo radiômetro (modelo Q 7.1 Net Radiometer – REBS) instalado a 1,0 m de altura. O fluxo de calor sensível no solo foi medido a partir de duas placas (modelo HFT – 3) instaladas a uma distância de 2,0m da base do aparelho e a 1,0m uma da outra, na profundidade de 0,08 m. A Razão de Bowen foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\beta = \gamma \cdot \frac{dT}{dea} \quad (01)$$

em que  $\gamma$  era o coeficiente psicrométrico, cujo valor assumido era de 0,0626 kPa.° C<sup>-1</sup> e  $\Delta T$  e  $\Delta ea$  foram considerados, respectivamente, como gradientes de temperatura do ar e pressão parcial de vapor, ou seja:  $\frac{\Delta T}{\Delta ea} \cong \frac{dT}{dea}$ .

O fluxo de calor latente de evaporação (LE, em W/m<sup>2</sup>) foi calculado pela equação 02:

$$LE = \frac{Rn - G}{(1 + \beta)} \quad (02)$$

em que Rn era o saldo de radiação, em W/m<sup>2</sup> e G o fluxo de calor no solo, também em W/m<sup>2</sup>. O valor estimado da evapotranspiração da cultura (ETc), em mm por 20 minutos, foi calculado pela equação 03:

$$ETc = \frac{LE \cdot 1200}{(2.450.000)} \quad (03)$$

em que, LE era o fluxo de calor latente de evaporação em W/m<sup>2</sup>. A constante de 1200 foi utilizada para ajustar a escala de tempo e a 2.450.000 representa o valor do calor latente de evaporação da água, em J/kg a 20° C. O lisímetro de pesagem foi confeccionado a partir de caixas metálicas quadradas, de aço carbono, sendo que a interna tinha 0,45 m de profundidade e 1,0 m de largura e a externa profundidade de 0,75 m com largura de 1,08 m. A célula de carga utilizada, modelo LCCA-2K, tinha capacidade para 910 kg e acurácia de 0,037 % da sua capacidade. A evapotranspiração da cultura (ETc) diária, medida e estimada, correspondeu ao somatório dos valores observados a cada 20 minutos no período compreendido entre as 6 e 18 h. Os

valores da evapotranspiração da cultura (ETc) estimados pelo sistema automático da Razão de Bowen foram comparados com os medidos pelo lisímetro de pesagem, pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e pelo índice de concordância de Wilmott (id).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da evapotranspiração da cultura (ETc), medidos pelo lisímetro e estimados pelo sistema Razão de Bowen (SRB) estão nas Figuras 1 e 2, para os ciclos de outono (a) e inverno (b). No ciclo de outono a evapotranspiração da alfaca, do transplante ao início da colheita, medida pelo lisímetro de pesagem foi de 102,98 mm, com média diária de 3,32 mm. Enfatiza-se que, o ciclo de outono perdurou 31 dias. O SRB subestimou a evapotranspiração sendo, segundo o mesmo, de 78,18 mm, com média diária de 2,52 mm. A evapotranspiração estimada pelo SRB para o ciclo de outono correspondeu a 75,9 % da medida pelo lisímetro.

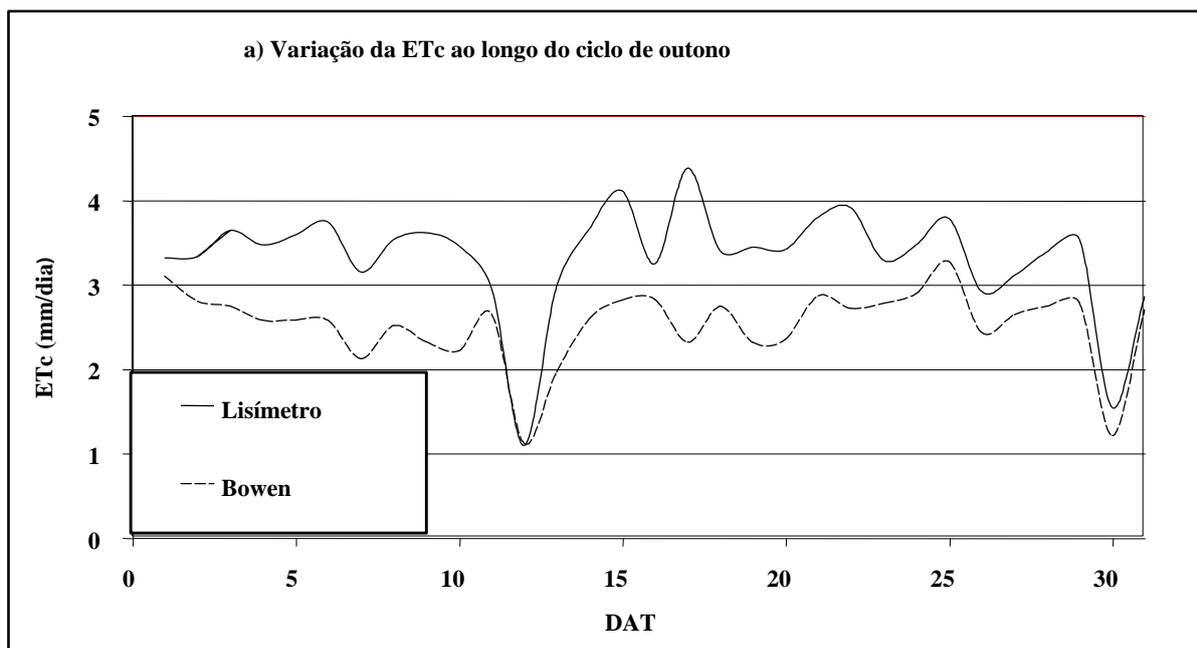
No ciclo de inverno, com duração de 43 dias, a evapotranspiração média diária medida pelo lisímetro de pesagem foi de 2,16 mm, ao passo que a média diária estimada pelo SRB foi de 1,43 mm. A evapotranspiração total no ciclo de inverno foi de 92,93 mm, através do lisímetro de pesagem, e de 61,62 mm, segundo o SRB. A evapotranspiração total estimada pelo SRB representou, neste ciclo, 66,3% da medida pelo lisímetro de pesagem. Observou-se, em ambos os ciclos, que o SRB tendeu a subestimar a evapotranspiração da cultura (ETc). Essa tendência pode ser originária de superestimativa da Razão de Bowen, no interior da estufa. Valores positivos e elevados da Razão de Bowen induzem a um maior fluxo de calor sensível do ar em detrimento do fluxo de calor latente de evapotranspiração. Esta superestimativa, provavelmente, pode ser decorrente da dificuldade em se medir gradientes de pressão de vapor d'água no interior do ambiente, que comumente, não

ultrapassavam 0,03 kPa/m, durante os dois ciclos experimentais.

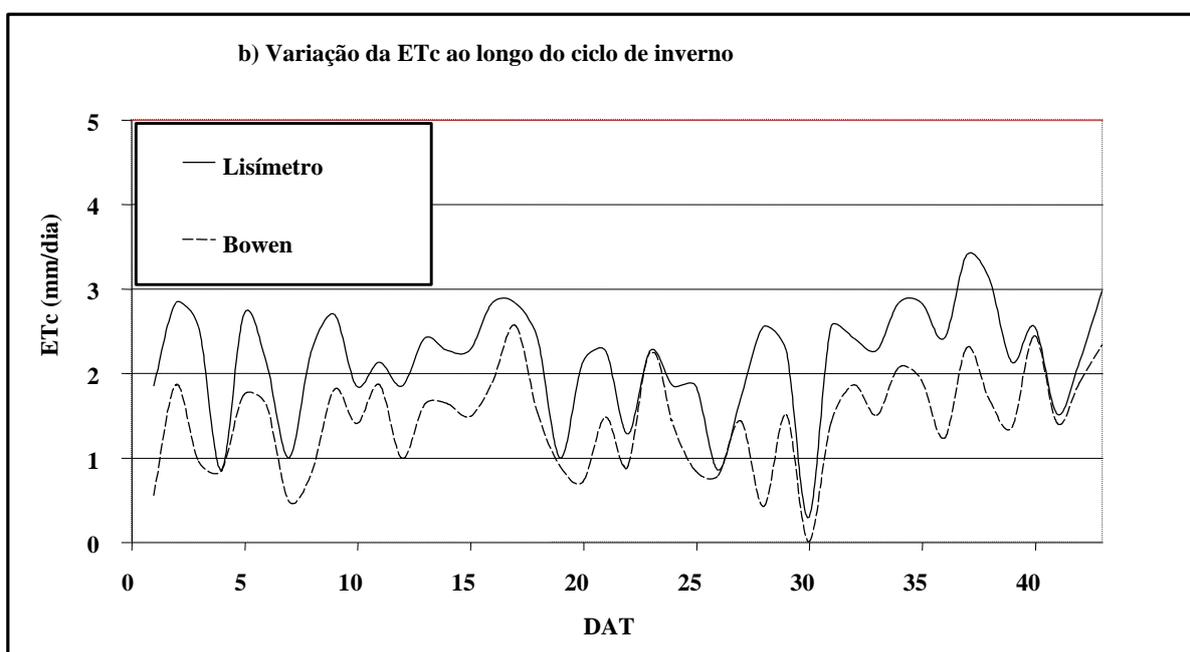
Nas Figuras 3 e 4 encontram-se as correlações entre os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) obtidos a partir do lisímetro de pesagem e no sistema Razão de Bowen, quando todos os dias foram considerados, nos ciclos do outono (a) e inverno (b). No ciclo de outono a evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo sistema Razão de Bowen representou 75,11 % da medida pelo lisímetro de pesagem. Entretanto, o valor do coeficiente de determinação foi de 0,4329, mostrando uma baixa linearidade entre os dados. Do mesmo modo, o coeficiente de Wilmott foi de 0,622 indicando não haver uma boa concordância entre os dados medidos, no lisímetro e estimados no SRB.

No ciclo de inverno ocorreu comportamento semelhante sendo que a evapotranspiração da cultura (ETc) estimada no sistema Razão de Bowen representou 66,07 % da evapotranspiração da cultura (ETc) medida no lisímetro de pesagem, porém também com baixa linearidade,  $R^2 = 0,508$ . O coeficiente de Wilmott foi bem superior ao registrado no ciclo de inverno, 0,789. Esse valor maior do coeficiente de Wilmott, no ciclo de inverno, deveu-se aos menores valores de evapotranspiração da cultura (ETc) ao longo do mesmo o que, provavelmente, contribuíram para minimizar as diferenças entre os valores medidos e estimados.

A baixa correlação obtida entre os dados medidos pelo lisímetro e estimados pelo SRB, quando todos os dias foram considerados, diferiu dos resultados encontrados por Tanner et al. (1987); Nie et al. (1992); Malek et al. (1993); Azevedo (1999) e Silva (2000). Entretanto, em ambiente protegido há uma baixa renovação dos constituintes do ar, devido aos reduzidos movimentos convectivos e velocidade do vento. Em consequência, a uma retenção do vapor d'água, dificultando a medição por parte do SRB dos gradientes, principalmente, o de vapor d'água. Condições estas, bem distintas das que, geralmente, ocorrem externamente.



**Figura 1.** Variação da evapotranspiração de cultivo (ETc) medida no lisímetro e estimada no sistema Razão de Bowen, nos ciclos de outono.



**Figura 2.** Variação da evapotranspiração da cultura (ETc) medida no lisímetro e estimada no sistema Razão de Bowen, nos ciclos de inverno.

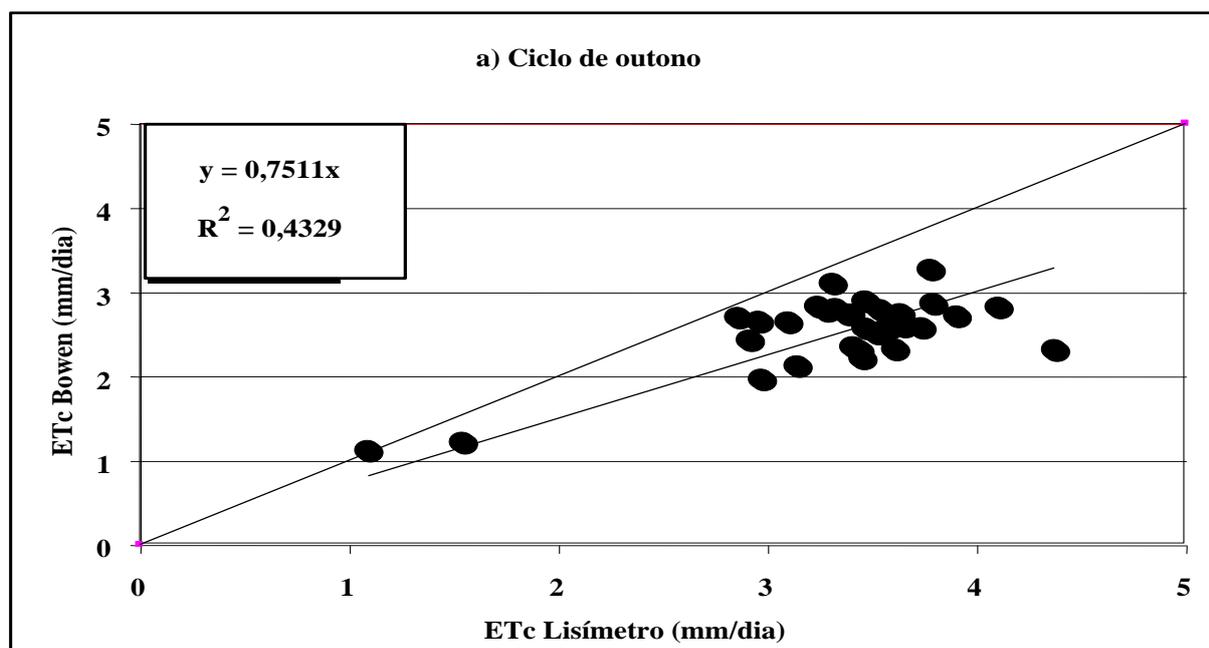


Figura 3. Correlação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) medida no lisímetro e estimada no sistema Razão de Bowen, no ciclo de outono.

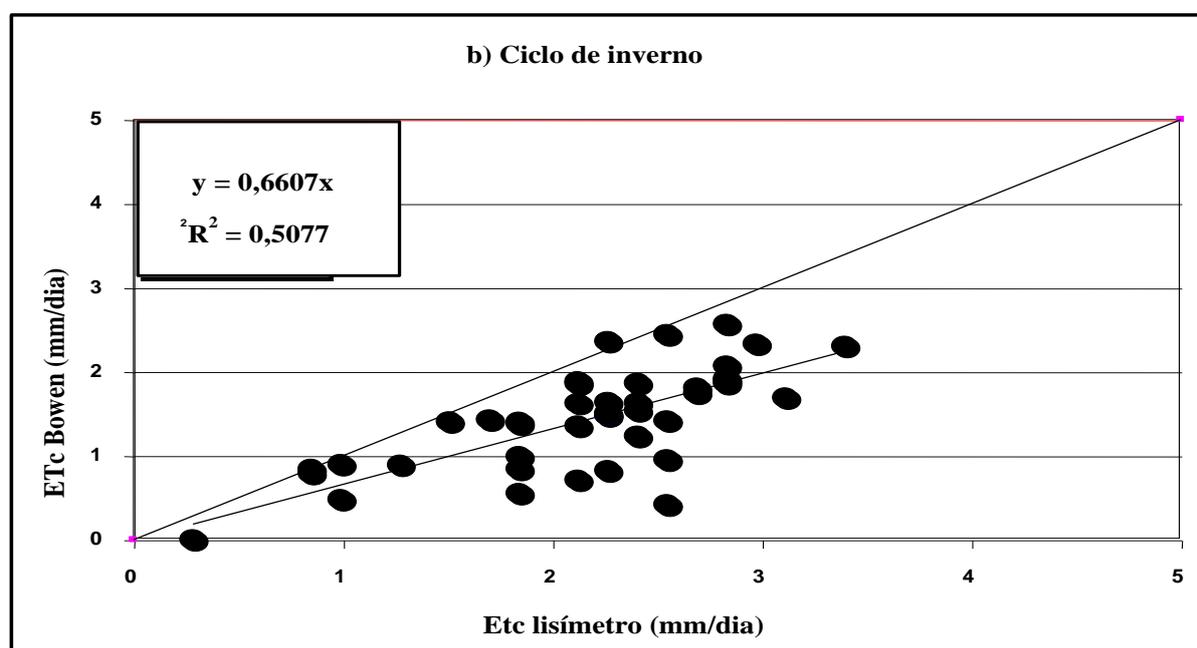


Figura 4. Correlação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) medida no lisímetro e estimada no sistema Razão de Bowen, no ciclo de inverno.

## 6 CONCLUSÕES

1. O SRB subestimou os valores da evapotranspiração da cultura (ETc) medidos pelo lisímetro de pesagem.
2. Os baixos valores do gradiente de pressão parcial do vapor dificultaram a estimativa da evapotranspiração pelo SRB no interior do ambiente protegido.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, B.M. **Evapotranspiração de referência obtida com a Razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos.** 1999. 81p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- CUNHA, R.C. et al. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.1-14, 1996.
- MALEK, E.; BINGHAM, G.E.; MCCURDY, G. Annual mesoscale study of water balance in a Great Basin heterogeneous desert valley. **Journal of Hydrology**, New York, v.191, n.2, p.223-244. 1997.
- NIE, D.; FLITCROFT, I.D.; KANEMASU, E.T. Performance of Bowen ratio systems on a slope. **Agricultural and Forest Meteorology**, New York, v.59, n.3-4, p.165-181, 1992.
- PEREZ, P. J. et al. Assessment of reliability of Bowen raui method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, New York, v.97, n.1, p.141-150, 1999.
- ROSSET, M. et al. Seasonal variation in radiation and energy balances of permanent pastures at different altitudes. **Agricultural and Forest Meteorology**, New York, v. 86, p.245-258, 1997.
- SCATOLINI, M.E. **Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos.** 1996. 71p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996. 71p.
- SENTELHAS, P.C et al. **Análise dos dados climáticos e de balanço hídrico climatológico de Piracicaba (1917-1997).** Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo 1998. 81p.
- SILVA, F.C. **Determinação da evapotranspiração utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem.** 2000. 72p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- TANNER, B.D.; GREENE, J.P.; BINGHAM, G.E. A Bowen-ratio design for long term measurements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, Texas, v.30, n.único, p.1-6, 1987.
- VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz.** Piracicaba, SP, 178p. 1973. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.