

ESTIMATIVA DA TEMPERATURA E DA PRESSÃO DE VAPOR D'ÁGUA DO AR NO TOPO DE UMA CULTURA DE BATATA¹

ESTIMATION OF TEMPERATURE AND WATER VAPOR PRESSURE ON THE UPPER LEVEL OF A POTATO CANOPY

Arno Bernardo Heldwein² e Günter Krzysch³

RESUMO

Foram desenvolvidos e testados modelos para estimar a temperatura (T_{ad}) e a pressão parcial de vapor do ar (e_{ad}) na parte superior do dossel vegetativo de batata para os períodos noturno e primeiras horas da manhã, a partir de variáveis meteorológicas obtidas na estação. O saldo de radiação (Q^*) e a temperatura do ar no abrigo (T_a) foram as variáveis que melhor estimaram a T_{ad} , sendo os parâmetros dos modelos obtidos separadamente para os períodos das 18h às 3h e das 3h às 10h e para duas condições de velocidade do vento ($\geq 1 \text{ m s}^{-1}$ e $< 1 \text{ m s}^{-1}$). Ao testar os modelos para T_{ad} com um banco de dados diferente daquele usado para calcular os parâmetros dos modelos, obteve-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,955 e desvio padrão (s) de $0,69^\circ\text{C}$. A melhor estimativa de e_{ad} foi obtida com a pressão parcial de vapor (e_a) e a temperatura do ar (T_a) medidas no abrigo, a velocidade do vento a 2m de altura e Q^* , porém foi necessário obter modelos para os períodos de tempo de 18h às 22h ($R^2 = 0,818$), 22h às 3h ($R^2 = 0,856$ e $R^2 = 0,936$), sob duas condições de velocidade de vento, e 3h às 10h ($R^2 = 0,912$). No teste destes modelos obteve-se $R^2 = 0,882$ e $s = 0,69\text{hPa}$.

Palavras-chave: Micrometeorologia, temperatura, pressão de vapor d'água, modelos, batata.

SUMMARY

Models to estimate air temperature (T_{ad}) and partial water vapor pressure (e_{ad}) on the upper level of a potato canopy were developed and tested. The T_{ad} was better estimated by using standard weather station net radiation (Q^*) and shelter air temperature (T_a). The model parameters were obtained separately for the periods from 18 to 3h and 3 to 10h and two wind velocity conditions ($\geq 1 \text{ m s}^{-1}$ e $< 1 \text{ m s}^{-1}$). By testing these models with

different data collection, determination coefficient (R^2) of 0,955 and standard deviation (s) of $0,69^\circ\text{C}$ were obtained. The e_{ad} was better estimated by using shelter partial water vapor pressure (e_a) and air temperature (T_a), wind velocity at 2m height (u_2) and Q^* , for the time periods from 18 to 22h ($R^2 = 0,818$), 22 to 3h ($R^2 = 0,856$ and $R^2 = 0,936$), for two wind velocity conditions, and 3 to 10h ($R^2 = 0,912$). By testing all results obtained with these models with a different data collection, $R^2 = 0,882$ and $s = 0,69\text{hPa}$ were obtained.

Key words: micrometeorology, temperature, water vapor pressure, model, potato.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da temperatura e da umidade do ar no dossel vegetativo é fundamental em estudos ecológicos das culturas e de todos os organismos vivos que se desenvolvem no ambiente que as mesmas propiciam. O valor e a variação destes elementos micrometeorológicos condicionam não só o crescimento e o desenvolvimento das plantas, mas também a ocorrência de epifitias e pragas.

A medida contínua desses elementos micrometeorológicos implica em custos adicionais com equipamentos e, quando forem usados registradores mecânicos, também com pessoal para realizar a cotação dos valores registrados e sua digitação. Assim, a estimativa da temperatura e da umidade do ar no dossel vegetativo a partir de variáveis meteorológicas medidas na estação, podem ser a maneira mais prática e barata para determinados fins, como por exemplo seu uso como índices em programas de alertas meteorológicos.

A temperatura do ar próximo à superfícies de troca de energia, como por exemplo a do solo e da parte

¹Trabalho extraído da tese de doutorado do primeiro autor.

²Dr., Prof. Tit., Depart. de Fitotecnia, UFSM. 97119-900 Santa Maria-RS, E-mail: heldwein@ccr.ufsm.br.

³Dr., Prof. C-4, Institut für Nutzpflanzenforschung, TU-Berlin, Albrecht-Thear-Weg nr.5, 14145 Berlin.

superior de um dossel, depende diretamente da temperatura dessa superfície. Quando a superfície apresenta vegetação, a transpiração exerce efeito significativo na variação da temperatura durante o período diurno, enquanto que a noite esse efeito é pequeno, visto que os estômatos estão fechados. A variação do balanço de radiação, da velocidade do vento, do grau de nebulosidade, do teor de vapor d'água do ar e das características físicas da superfície desempenham papel fundamental na variação da temperatura da superfície e do ar adjacente. BOOTSMA (1976), AGENDES (1985), HELDWEIN et al. (1988) demonstraram que existe estreita correlação entre a temperatura do ar próximo à superfície do solo e no abrigo da estação meteorológica. HELDWEIN et al. (1988) obtiveram modelos de regressão para estimar a temperatura mínima do ar a 0,05 m da superfície gramada e desnuda do solo a partir da temperatura mínima do abrigo, do grau de nebulosidade e da pressão de vapor d'água das 21h e da velocidade média do vento à 2m entre 21 e 9h, hora legal.

A relação entre a temperatura do ar em algumas culturas e os elementos meteorológicos medidos na estação sob influência de diferentes condições de tempo são discutidos por ROBERTSON (1953), TAMM et al. (1959), EIMERN (1964), RAHN & BROWN (1971), BEINHAUER (1975) e PEDRO Jr. & GILLESPIE (1982). ROBERTSON (1953) estimou a temperatura do dossel a partir do balanço de radiação, da evapotranspiração e da velocidade do vento medidos na estação meteorológica. RAHN & BROWN (1971) e BEINHAUER (1975) estimaram a diferença da temperatura mínima do ar entre o dossel e o abrigo meteorológico, a partir da temperatura mínima de relva, da velocidade do vento e da precipitação. Para estimar a temperatura do ar no período noturno nas culturas de soja, milho e maçã (PEDRO Jr. & GILLESPIE, 1982) e na cultura de cebola (GILLESPIE & BARR, 1984), foram usados a temperatura do ar no abrigo e o balanço de radiação, obtendo-se coeficientes de determinação de 0,97, 0,98, 0,95 e 0,98 para as quatro culturas, respectivamente.

Para culturas de maior porte e menos densas são esperadas diferenças de temperatura e umidade do ar bem menores entre o dossel e o abrigo. LHOME & JIMENEZ-ORTEGA (1992), por exemplo, obtiveram êxito na estimativa do período de molhamento por orvalho num cultivo de bananeiras ao adotarem diretamente os valores da temperatura e da umidade do ar registrados com termohigrógrafo no abrigo meteorológico no programa de cálculo. Anteriormente, PEDRO Jr. & GILLESPIE (1982), utilizando psicrômetros ventilados mais precisos que o higrógrafo mecânico, já haviam obtido êxito na estimativa do período de molhamento por orvalho, com a utilização direta da umidade do ar medida na estação meteorológica. No teste de comparação entre os valores medidos nas culturas de milho e soja e os medidos no abrigo da estação, obtiveram R^2 igual a 0,98 e 0,99, respectivamente e desvio padrão igual a 0,34hPa e 0,53hPa, respectivamente. No entanto, HELDWEIN (1993) demonstrou que para um cultivo

de batata em relação a uma estação meteorológica instalada sobre solo desnudo, as diferenças de pressão parcial de vapor (estação menos cultivo) podem alcançar extremos de -3,18 até 7,00hPa. Na presença de radiação solar geralmente a pressão de vapor é maior no dossel de batata do que no abrigo meteorológico (EIMERN, 1964), situação que geralmente se mantém ao anoitecer até cerca de 1h após a redução da velocidade do vento e/ou início da formação do orvalho (HELDWEIN, 1993).

As variações da pressão parcial do vapor d'água num dossel de plantas dependem principalmente da densidade do dossel, da intensidade das trocas do ar e das taxas de evapotranspiração e de condensação e evaporação do orvalho no terço superior do dossel (EIMERN, 1964). A variação diária da pressão de vapor no abrigo meteorológico e acima de um cultivo de batata normalmente apresenta dois picos máximos, sendo um ao anoitecer e outro no final da manhã (BERGER-LANDEFELD et al., 1956 e EIMERN, 1964), enquanto que no interior do dossel o pico do anoitecer é pouco frequente (EIMERN, 1964). A explicação da variação da pressão de vapor no dossel vegetativo em relação àquela no abrigo meteorológico é, portanto, bem mais complexa do que a da temperatura do ar. Possivelmente é esta uma das razões de não se encontrar modelos de estimativa da pressão de vapor nas culturas a partir de dados da estação.

Modelos analíticos para a estimativa contínua da temperatura do ar e da pressão de vapor a partir de dados medidos e observados nas estações meteorológicas padrão não foram encontrados na literatura e os modelos empíricos encontrados para a estimativa da temperatura do ar no dossel são escassos. Para a modelagem do tempo de molhamento das plantas por orvalho no período noturno e início da manhã esta informação é imprescindível.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar modelos para estimar a temperatura do ar e a pressão parcial do vapor d'água no nível superior de um cultivo de batata, durante a noite e primeiras horas da manhã, exceto sob condições chuva.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em 1990 no "Institut für Nutzpflanzenforschung" da Universidade Técnica de Berlim (lat.=52°28'N; long.=13°18'E; alt.=51m), num cultivo de batata (*Solanum tuberosum*, L.), cv Granola. Na estação meteorológica foram medidas: a temperatura do ar com termistor (T_a); a umidade relativa do ar com higrógrafo de cabelo (UR), ambas no abrigo meteorológico; a velocidade do vento a 2m de altura (u_2) com anemômetro de conchas. O valor médio do saldo de radiação das folhas no topo do dossel vegetativo (Q^*) foi estimado pelo modelo utilizado por (HELDWEIN, 1993):

$$Q^* = 0,5(1+r)K\downarrow + 0,96L_A - 0,96 \delta T_f^4 \quad (1)$$

onde: r é a refletividade do dossel ($\cong 0,25$ para a condição da altura do sol $< 10^\circ$ e $\cong 0,20$, para as demais), $K\downarrow$ a radiação solar global incidente, L_A a contraradiação de ondas longas da atmosfera, δ a constante de Stephan-Boltzmann ($5,674 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e T_f a temperatura das folhas em K, obtida por cálculo iterativo através do balanço de energia para folhas individuais, conforme PEDRO Jr. & GILLESPIE (1982). Os coeficientes 0,5 e 0,96, absorvância das folhas individuais para radiação solar e para radiação da faixa dos comprimentos de onda da radiação do infravermelho longo, foram adotados, respectivamente, com base nos valores para outras espécies apresentados por GATES (1980) e os medidos por HELDWEIN & KRZYSCH (1995). A $K\downarrow$ foi estimada pelo método de adição múltipla "IGMK" descrito por STUHLMANN et al. (1990), no qual adotou-se como simplificação o método de MATEER (1963) para estimar a transmissividade das nuvens (T_c). Os coeficientes de absorção (A_c) e de reflexão das nuvens (R_c) foram obtidos por:

$$A_c = R_c = 0,5(1 - T_c) \quad (2)$$

conforme (HELDWEIN, 1993). A L_A foi estimada pelo modelo de IDSO & JACKSON (1969), efetuando-se a correção em função do grau de nebulosidade em oitavos (C) e do coeficiente κ , cujo valor varia de 0,04 a 0,25 conforme o gênero das nuvens (Bolz, 1949 apud BRUTSAERT, 1982), obtendo-se um fator de correção (FC) por:

$$FC = 1 + \kappa(0,125 C)^2 \quad (3)$$

A temperatura da folha foi estimada pelo método do balanço de energia para folhas individuais conforme PEDRO Jr. & GILLESPIE (1982), com a modificação de determinar a "dimensão característica das folhas" (D_f), utilizada no cálculo do coeficiente de transporte forçado, com fluxo laminar e turbulento, conforme GATES & PAPIAN (1971) e para convecção livre conforme MONTEITH (1973) ao invés daqueles recomendados por PARKHURST et al (1968), uma vez que para folhas recortadas e ou extremidades afiladas em que a dimensão na direção do fluxo (w_x) passa a ser menor do que 0,5cm, o valor de $w_x^{-0,5}$ cresce demasiadamente, tendendo ao infinito quando w_x tende a zero (HELDWEIN, 1993).

A pressão parcial de vapor no abrigo (e) foi obtida a partir da umidade relativa e da temperatura do ar medidas no mesmo. Na parte superior do dossel das plantas de batata a temperatura do ar (T_{ad}) e a pressão parcial de vapor (e_{ad}) foram medidas com termômetros de resistência elétrica de platina (Pt-100), sendo o sensor de medida da umidade envolto por um tecido de nylon entremeadado por eletrodos de resistência elétrica. Esse envoltório foi embebido com solução de LiCl, que, pela absorção de umidade devido sua higroscopicidade, fechava circuito elétrico dissipando esta umidade pelo calor gerado, mantendo assim o sistema numa determinada temperatura de equilíbrio (T_e em $^\circ\text{C}$), proporcional à pressão parcial do vapor d'água no ar (e_{ad} , em

hPa), conforme a seguinte relação (QU, 1993):

$$e_{ad} = 1,33333 \dots (-18,8784 + 3,33979 T_e - 0,2237982 T_e^2 + 7,946775 \cdot 10^{-3} T_e^3 - 1,524232 \cdot 10^{-4} T_e^4 + 1,527642 \cdot 10^{-6} T_e^5 - 6,61967809 \cdot 10^{-9} T_e^6). \quad (4)$$

Os valores médios de 15 minutos medidos nas noites ímpares serviram para a obtenção dos modelos gerados com ou sem transformação dos dados meteorológicos escolhidos pelo procedimento "Stepwise" do Software SAS, enquanto os das noites pares foram usados no teste dos modelos obtidos pela sua comparação com os valores estimados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar na parte superior do dossel de plantas da cultura de batata (T_{ad}) foi melhor estimada com o modelo geral:

$$T_{ad} = a + b_1 T_a + b_2 Q^*, \quad (5)$$

sendo os coeficientes a , b_1 e b_2 , apresentados na Tabela 1, específicos para os períodos das 18 às 3h e das 3 às 10h e para duas condições de velocidade do vento a 2m de altura (para $u_2 \geq 1 \text{ m s}^{-1}$ e para $u_2 < 1 \text{ m s}^{-1}$). Na comparação entre os valores estimados e os observados do banco de dados para teste (noites pares), o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio padrão (s) foram 0,955 e $0,69^\circ\text{C}$, respectivamente, sendo sua distribuição ao longo da linha 1:1 apresentada na Figura 1a. Quando a análise foi feita com todos os dados do período das 18 às 10h das noites ímpares, isto é, quando não se considerou o efeito do horário e da velocidade do vento, obteve-se o modelo:

$$T_{ad} = 0,888 + 0,86998 T_a + 0,019712 Q^* \quad (6)$$

Os parâmetros deste modelo para o período completo não diferem muito daqueles obtidos por PEDRO Jr. & GILLESPIE (1982) para as culturas de soja, milho e macieira e por GILLESPIE & BARR (1984) para a cultura da cebola. A avaliação conjunta dos resultados obtidos neste trabalho e por outros autores, permite inferir que nas noites em que não chove, condição avaliada também neste trabalho, é basicamente o saldo de radiação que determina a diferença de temperatura do ar entre o abrigo e o nível de troca energia radiante do dossel, inclusive porque além da ação direta no resfriamento da superfície, geralmente tem ação indireta sobre o gradiente térmico à noite, pois a velocidade do vento é influenciada pela condição de estabilidade térmica. Embora a velocidade do vento tenha apresentado uma pequena contribuição na melhora do coeficiente de determinação da regressão múltipla, seu respectivo parâmetro angular nesta regressão não foi significativo pelo teste t. É possível que a inércia do anemômetro, cujo início de movimento ocorria à velocidades maiores do que $0,18 \text{ m.s}^{-1}$, tenha contribuído para estes resultados. Provavelmente os valores dos

Tabela 1. Modelos de regressão para estimar a temperatura do ar na parte superior de um dossel vegetativo de batata (T_{ad}), a partir da temperatura do ar no abrigo meteorológico (T_a) e do balanço de radiação (Q^*), em função do horário e da velocidade do vento a 2 m de altura na estação meteorológica.

Período	Velocidade Vento	Modelo de Regressão	R^2 modelo	R^2 Teste
18h às 3h	$\geq 1\text{m. s}^{-1}$	$T_{ad} = 2,6279 + 0,79519 T_a + 0,027591 Q^*$	0,959	0,932
18h às 3h	$< 1\text{m. s}^{-1}$	$T_{ad} = 1,1308 + 0,86772 T_a + 0,038706 Q^*$	0,895	0,862
3h às 10h	$\geq 1\text{m. s}^{-1}$	$T_{ad} = 2,3022 + 0,81070 T_a + 0,019485 Q^*$	0,975	0,974
3h às 10h	$< 1\text{m. s}^{-1}$	$T_{ad} = 1,3076 + 0,85892 T_a + 0,035114 Q^*$	0,948	0,924
18h às 10h	todas	$T_{ad} = 0,8880 + 0,86998 T_a + 0,019712 Q^*$	0,934	0,912

parâmetros da equação (5), se modifiquem em função da permeabilidade do dossel ao fluxo forçado de ar, visto que para as culturas de cebola e macieira o parâmetro linear e o parâmetro angular para Q^* são menores e o parâmetro angular para T_a é maior do que para os dosséis de cultura de soja e batata, que são mais densos. O mais provável é que o limite de 1m s^{-1} está próximo da condição de transição entre neutralidade e estabilidade de aproximadamente $1,5\text{m s}^{-1}$ a 2m de altura estimado por HELDWEIN (1993) para noites com possível formação de orvalho. Por isso a utilização de modelos com parâmetros específicos para cada uma das

classes de velocidade do vento tenha proporcionado melhores estimativas da T_{ad} . A divisão do banco de dados em dois subperíodos, um mais relacionado ao período de decréscimo da temperatura e o outro mais ao período de ascensão da temperatura, propiciou igualmente a obtenção de melhores resultados. Na avaliação dos erros de estimativa da radiação solar global e de radiação de ondas longas incidentes, foram obtidos coeficientes de determinação de 0,85 e 0,78 e de coeficientes de variação de 40,3 e $15,0\text{W.m}^{-2}$, respectivamente.

Já a pressão parcial do vapor d'água do ar no dossel (e_{ad}) foi melhor estimada quando o período noturno foi dividido em três subperíodos e para algumas variáveis se utilizou dados transformados. Os melhores modelos obtidos são apresentados na Tabela 2.

Relacionando os valores estimados com estes quatro modelos parciais com os respectivos valores medidos nas noites pares, obteve-se $R^2 = 0,882$ e $s = 0,69\text{hPa}$ (Figura 1b). A obtenção de um modelo único para o período das 18 às 10h sem considerar a velocidade do vento, e sem transformação de dados resultou na obtenção de $R^2 = 0,820$ quando da obtenção do modelo e $R^2 = 0,810$ quando do teste do modelo. A explicação mais aceitável para uma melhor estimativa quando o banco de dados foi analisado separadamente para os três subperíodos, se deve ao fato de que no início da noite, pelo menos até o início da formação de orvalho, a pressão parcial de vapor e, por conseguinte, a temperatura do ponto de orvalho apresenta a tendência a sofrer uma variação inversa à da velocidade do vento, pois com a diminuição da velocidade do vento o transporte do vapor d'água diminui e a concentração do mesmo pode inclusive aumentar. Além disso a condição de estabilidade térmica em geral vai se acentuando até o início do amanhecer e os fluxos de energia do balanço de radiação também se modificam ao longo do período das 18 às 10h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGENDES, M.O. de O. Temperaturas mínimas próximas ao solo em Pelotas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., Londrina, 1985. **Anais ...**, Campinas : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ Fundação Instituto Agrônomo

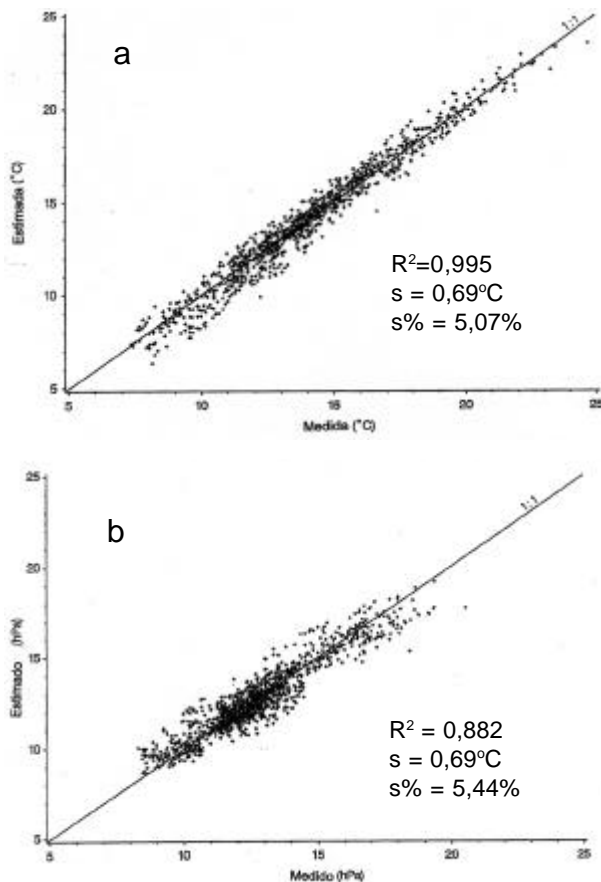


Figura 1. Distribuição dos valores de temperatura do ar (a) e de pressão parcial de vapor do ar (b) observados e estimados na parte superior de um dossel de plantas de batata ao longo da linha 1:1.

Tabela 2. Modelos de regressão para estimar a pressão parcial do vapor d'água do ar na parte superior de um dossel vegetativo de batata (e_{ad}), em diferentes horários, em função das variáveis pressão parcial do vapor d'água (e), temperatura do ar (T_a), velocidade do vento a 2m de altura e saldo de radiação (Q^*), determinadas na estação meteorológica.

Período	Velocid. do vento	Modelo de Regressão	R ² modelo	R ² teste
18 às 22h	Todas	$e_{ad} = -29,429 - 0,018964e^2 + 12,68685(\log e) - 0,304570u_2^2 + 3,68777\sqrt{T_a}$	0,818	0,868
22 às 3h	$\geq 1m.s^{-1}$	$e_{ad} = 5,785 + 0,018997e^2 + 0,29929T_a - 0,348597u_2^2$	0,856	0,849
22 às 3h	$< 1m.s^{-1}$	$e_{ad} = 1,832 + 0,013880e^2 - 0,44460\sqrt{ Q^* } + 2,95777\sqrt{T_a}$	0,936	0,898
3 às 10h	Todas	$e_{ad} = 0,918 + 0,36376T_a + 0,52322e + 0,0065397Q^*$	0,912	0,911
18 às 10h	Todas	$e_{ad} = 1,275 + 0,36376T_a + 0,565847e - 0,573352u_2 + 0,006515Q^*$	0,820	0,810

- BEINHAEUER R. Die Abhängigkeit und Schätzung von Temperaturdifferenzen zwischen einem Sommerweizenbestand und der Klimahütte. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 15, p. 87-95, 1975.
- BERGER-LANDEFELD, U., KIENDL, J., DANNENBERG, H. Beobachtungen über das Temperatur und Dampfdruckunruhe über Pflanzenbeständen. **Meteorologischer Rundschau**, Berlin, v. 9, p. 120-130, 1956.
- BOOTSMA, A. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in hilly terrain. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 16, p. 425-445, 1964.
- BRUTSAERT, W.H. **Evaporation into the atmosphere. Theory, History and Application**. New York : D. Riedel Publ. Comp., 1982. 299 p.
- GATES, D.M. **Ecological Biophysics**. New York : Springer-Verlag, 1980. 611 p.
- GATES, D.M., PAPIAN, L.E. **Atlas of energy budgets of plant leaves**. London/New York : Academic Press, 1971. 278 p.
- GILLESPIE, T.J., BARR, A. Adaptation of dew estimation scheme to a new crop and site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 289-295, 1984.
- HELDWEIN, A.B. **Ermittlung der Taubenetzung von Pflanzenbeständen durch Anwendung mikrometeorologischer Verfahren sowie mittels konventioneller Methoden**. Berlin : TU-Berlin, 1993, 206 p. Dissertação (Dr. Sci. Agrar.) - Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, 1993.
- HELDWEIN, A.B., ESTEFANEL, V., MANFRON, P.A et al. Análise das temperaturas mínimas registradas em Santa Maria - RS. I - Estimativa das temperaturas mínimas do ar registradas a 5cm sobre solo desnudo e solo gramado. **Revista do Centro Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 3-14, 1988.
- HELDWEIN, A.B., KRZYSCH, G. Determinação do coeficiente de emissividade de folhas de batata e girasol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 63-66, 1995.
- ISO, S.B., JACKSON, R.D. Thermal radiation from the atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 74, n. 23, p. 5397-5403, 1969.
- LHOME, J.P., JIMENES-ORTEGA, F. Estimating dew duration on banana and platein leaves from standart meteorological observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam., v. 62, p. 263-274, 1992.
- MATEER, C.L. On the relationship between global radiation and cloudiness at Ocean Station P. **Archiv für ä Meteorology, Geophysik und Bioklimatologie, Ser. B**, Vien, v. 12, p. 482-490, 1963.
- MONTEITH, 1973. **Principles of Environmental Physics**. London : Edward Arnold, 1973. 241 p.
- PARKHURST, D.F., DUNCAN, P.R., GATES, D.M. et al. Wind-tunel modeling of convection of heat between air and broad leaves plants. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 5, p. 33-47, 1968a.
- PARKHURST, D.F., DUNCAN, P.R., GATES, D.M. et al. Convection heat transfer from broad leaves plants. **Journal of Heat Transfer**, ?local?, v. 90, p. 71-76, 1968b.
- PEDRO Jr., M.J., GILLESPIE, T.J. Estimating dew duration. II. Utilizing standard weather station data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 283-296, 1982.
- ROBERTSON, G.W. Some agrometeorological problems in Canada. **Royal Meteorological Society, Can. Br.**, v. 4, n. 2, p. 5-11, 1983.
- QU, W. **Mikrometeorologische Untersuchungen zur Ermittlung der aktuellen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände**. Berlin : TU-Berlin, 1993, 165 p. Dissertação (Dr. Sci. Agrar.) - Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, 1993.
- TAMM, E., KRZYSCH, G., FUNKE, H. Untersuchungen über die Ausbildung des Klimas in landwirtschaftlichen Nutzpflanzenbeständen. **Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau**, Berlin, v. 109, p. 335-383, 1959.
- STUHLMANN, R., RIELAND, M., RASCHKE, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. **Journal Applied Meteorology**, Boston, v. 29, p. 586-603, 1990.