

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 3, p. 53-58, 1995.

Aprovado para publicação em 22/02/95.

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA BATATA NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE BOTUCATU-SP, BRASIL.

ESTIMATE OF THE MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION OF POTATO CROP UNDER EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS OF BOTUCATU, SP, BRAZIL.

André Belmont Pereira¹, Nilson A. Villa Nova², Robinson Luís Tuon³ e Valter Barbieri⁴.

RESUMO

A cultura da batata é altamente exigente em água, sendo sua produtividade dependente das condições de umidade do solo. No presente trabalho, desenvolveu-se um modelo para estimativa das exigências hídricas da cultura ao longo do ciclo, em termos da demanda ambiental combinada com os sub-períodos do ciclo representadas pelo índice de área foliar (IAF) da cultura. Para isto, conduziu-se um experimento em evapotranspirômetros de sub-irrigação, no campo experimental do Departamento de Ciências Ambientais da FCA-UNESP, Botucatu-SP, Brasil (latitude: 22°51'S, longitude: 48°26'W e altitude: 786 m), para a cultivar Itararé (IAC-5986) durante a estação de inverno, com o objetivo de medir o consumo de água ao longo do ciclo da cultura. Estas medidas foram correlacionadas com a demanda ambiental de cada fase, representada por diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), e com o índice de área foliar correspondente. As equações de estimativa de ET_o praticamente não diferiram entre si, sendo que os melhores resultados foram obtidos quando se utilizou os métodos de Penman (ET_{oP}), Penman-Monteith (ET_{oPM}), Hargreaves (ET_{oH}), Tanque Classe A (ET_{oA}) e a evaporação do tanque (ECA), dados por: $ET_m = 0,361 IAF^2 + 1,395 ET_{oP}$ ($r^2=0,977$); $ET_m = 0,368 IAF^2 + 1,336 ET_{oPM}$ ($r^2=0,981$); $ET_m = 0,360 IAF^2 + 0,910 ET_{oH}$ ($r^2=0,981$); $ET_m = 0,368 IAF^2 + 0,788 ET_{oA}$ ($r^2=0,987$); $ET_m = 0,392 IAF^2 + 0,590 ECA$ ($r^2=0,987$), respectivamente.

¹ Engº Agrº, M.Sc., UEPG, Caixa Postal 992/3, CEP 84010-000, Ponta Grossa, PR.

² Engº Agrº, Dr., ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP.

³ Matemático, M.Sc., ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP.

⁴ Engº Agrº, Dr., ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP.

Palavras-chave: evapotranspiração, modelos, consumo de água, índice de área foliar, batata.

SUMMARY

The potato crop is highly water-demanding, being its productivity dependent upon soil moisture conditions. A model has been developed in the present study for assessing the crop water requirements throughout its cycle in terms of environmental demand combined with the cycle stages been represented by the corresponding leaf area index (LAF). Thus, an experiment with sub-irrigation lysimeters was conducted at experimental field of the weather station located at the School of Agriculture, Botucatu, SP, Brazil (latitude: 22°51'S, longitude: 48°26'W and altitude: 786 m), for the Itararé cultivar (IAC-5986) during winter station, to measure water consumption throughout the crop cycle. Such measurements were related to the environmental demand for each stage, represented by both the different ETo estimate methods and the corresponding leaf area index. The ETm estimate equations obtained by the different ETo estimate methods virtually did not present any significant difference. The best results were obtained when applying Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves (EToH), Class A Pan (EToA) methods and pan evaporation (ECA), given by: $ETm = 0,361 IAF^2 + 1,395 EToP$ ($r^2=0,977$); $ETm = 0,368 IAF^2 + 1,336 EToPM$ ($r^2=0,981$); $ETm = 0,360 IAF^2 + 0,910 EToH$ ($r^2=0,981$); $ETm = 0,368 IAF^2 + 0,788 EToA$ ($r^2=0,987$); $ETm = 0,392 IAF^2 + 0,590 ECA$ ($r^2=0,987$), respectively.

Key words: evapotranspiration, models, water consumption, leaf area index, potato crop.

INTRODUÇÃO

Para a implantação de um projeto de irrigação são essenciais, tanto no planejamento preliminar quanto para a posterior condução, o conhecimento do sub-período de máximo consumo de água da cultura, a altura da lâmina de água a ser aplicada para cada sub-período do ciclo e a frequência de aplicação. Para resposta destas questões, é necessário conhecer-se a evapotranspiração máxima de cada sub-período (ETm), seja através da estimativa do valor do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo, definido pela relação entre a evapotranspiração máxima (ETm) e a evapotranspiração potencial ou de referência (ETo), como também, através de modelos matemáticos propostos em função da demanda

evaporativa da atmosfera e do fator planta, os quais refletem as variáveis condicionantes do processo de perda d'água das culturas.

A evapotranspiração tem sido, há muito, objeto de atenção de diversos pesquisadores. Dentre eles, THORNTHWAITE (1948) e PENMAN (1956) foram os investigadores que definiram o termo evapotranspiração potencial ou de referência, como sendo aquela que pudesse refletir a demanda evaporativa da atmosfera (DEA). Da mesma forma, DOORENBOS & KASSAM (1979) apresentaram a terminologia evapotranspiração máxima ou demanda climática ideal de água (ET_m), como o parâmetro que viesse a expressar o consumo hídrico das culturas sob condições de suprimento adequado de água no solo.

A determinação da ET_m é imprescindível não só na agricultura irrigada, sendo até mesmo útil na agricultura não irrigada, pois permite ajustamentos de épocas de semeadura dentro da estação de crescimento, em função da disponibilidade hídrica média da região, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações pluviais (BERLATO & MOLION, 1981), além de possibilitar a identificação da necessidade de utilização de irrigações complementares.

Com vistas a obtenção de altas produções, DOORENBOS & KASSAM (1979) verificaram que as exigências hídricas da batata (ET_m), com ciclo fenológico oscilando entre 120 a 150 dias, estão na faixa de 500 a 700 mm, dependendo do clima. ENCARNAÇÃO (1987), trabalhando em evapotranspirômetros com nível de lençol freático constante, nas condições de Piracicaba-SP, obteve uma demanda de 271,3 mm de água para todo ciclo da batata, com um consumo médio de 1,7 mm/dia na germinação, 2,3 mm/dia no período vegetativo, 3,1 mm/dia na floração e formação dos tubérculos, 3,4 mm/dia no período de desenvolvimento dos tubérculos I, 3,7 mm/dia no período de desenvolvimento dos tubérculos II e 1,4 mm/dia na maturação. FRANKE & KONIG (1994), através do método do balanço hídrico, nas condições edafoclimáticas de Santa Maria-RS, obteve um consumo hídrico de 524,9 mm durante o ciclo da batata, para a cultivar baronesa, e um consumo médio de 2,54, 7,28, 9,41, 3,78 e 6,36 mm aos 14, 23, 35, 53 e 91 dias após a emergência, respectivamente.

Face ao exposto, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer modelos de estimativa da evapotranspiração máxima da cultura da batata cultivada no inverno no município de Botucatu-SP, como uma função da demanda evaporativa da atmosfera (DEA) e do índice de área foliar (IAF) da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento que deu origem ao presente trabalho foi instalado na campo experimental do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Botucatu, com coordenadas geográficas locais de 22°51' S de latitude, 48°26' W de longitude e 786 m de altitude, sendo o clima definido como subtropical com inverno moderadamente seco (Cfb transição Cwb), segundo classificação de W. Köppen. O solo da área experimental foi classificado como Terra Roxa Estruturada, textura argilosa, latossólica (CARVALHO et al., 1983).

O genótipo de batata escolhido foi a cultivar Itararé (IAC-5986), por se tratar de variedade que ocupa o primeiro lugar em ensaios nacionais. A semeadura foi manual e, devido ao tamanho comercial das caixas, adotou-se para os evapotranspirômetros o espaçamento mínimo viável (0,55 x 0,35 m). A adubação da cultura baseou-se na recomendação de especialistas da Secção de Raízes e Tubérculos do Instituto Agrônomo de Campinas (DIAS, 1986). A área de cada evapotranspirômetro era de 2,06 m², o qual continha 8 plantas, perfazendo, portanto, uma densidade de plantio de aproximadamente 38.800 plantas/ha. A semeadura foi realizada em 27 de abril e a colheita em 09 de agosto de 1990, tendo a cultura apresentado um ciclo fenológico de 104 dias.

A estação evapotranspirométrica constou de um conjunto de três evapotranspirômetros de nível de lençol freático variável, onde procurou-se manter o nível de água constante e a cerca de 0,5 m da superfície (PEREIRA, 1991).

Devido a inércia do sistema, os valores medidos da evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) foram agrupados em períodos de 5 dias, descartando-se os períodos de chuva. Estes, por sua vez, foram correlacionados aos valores da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman (ET_{oP}), Penman-Monteith (ET_{oPM}), Thornthwaite (ET_{oTH}), Linacre (ET_{oL}), Hargreaves (ET_{oH}), Radiação Solar (ET_{oRS}) e do Tanque Classe A (ET_{oA}), além de serem também correlacionados à evaporação medida no tanque classe A (ECA).

As equações de estimativa de ET_o utilizadas na descrição dos modelos propostos neste trabalho, podem ser encontradas, individualmente ou em conjunto, nos trabalhos de DOORENBOS & KASSAM (1979), THORNTHWAITE (1948), PENMAN (1956), VILLA NOVA (1967), MONTEITH (1965, 1981, 1985), VILLA NOVA & REICHARDT (1989), PEREIRA (1991) e SMITH (1991).

Para a obtenção do modelo de regressão definido para o IAF, como uma variável dependente da idade fisiológica da planta, analisou-se o comportamento do referido parâmetro observado por

VARILLAS (1991) para o mesmo genótipo da espécie vegetal em nossas condições. Assim, uma análise de regressão múltipla foi elaborada com a finalidade de propor modelos que pudessem expressar a evapotranspiração máxima da batata (ETm) em função da disponibilidade de parâmetros meteorológicos locais e do IAF da cultura, sem que seja necessária a obtenção do coeficiente de cultura (Kc) para cada sub-período da espécie considerada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios diários da evapotranspiração máxima (ETm) e os de IAF da cultura, agrupados por quinqüídios, bem como, os valores de evaporação medida no tanque classe A (ECA) e de evapotranspiração de referência estimada pelos métodos estabelecidos (ETo), são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- índice de área foliar (IAF) e valores médios diários por quinqüídios da evapotranspiração máxima medida (ETm) (média de três evapotranspirômetros), da evaporação determinada no Tanque Classe A (ECA) e da evapotranspiração de referência estimada (ETo), expressos em mm/dia, ao longo do ciclo da cultura da batata, cultivar Itararé. Botucatu, SP. 1990.

| DAE | IAF | ETm | ECA | EToPM | EToP | EToA | EToH | EToRS | EToL | EToTH |
|-----|--------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| 30 | 0.3223 | 2.34 | 3.78 | 1.59 | 1.54 | 2.83 | 2.76 | 3.52 | 3.31 | 1.25 |
| 35 | 0.8377 | 2.69 | 4.62 | 1.55 | 1.51 | 3.46 | 2.73 | 3.29 | 5.12 | 2.47 |
| 40 | 1.2759 | 3.10 | 3.26 | 1.81 | 1.79 | 2.61 | 2.44 | 2.96 | 4.86 | 2.26 |
| 45 | 1.6371 | 3.69 | 4.10 | 1.72 | 1.66 | 3.24 | 2.39 | 2.71 | 4.72 | 2.20 |
| 50 | 1.9211 | 4.19 | 3.84 | 1.60 | 1.48 | 3.03 | 2.22 | 2.64 | 3.08 | 1.17 |
| 55 | 2.1281 | 3.74 | 3.68 | 1.95 | 2.02 | 2.91 | 2.91 | 3.47 | 3.13 | 1.20 |
| 60 | 2.2579 | 3.16 | 3.16 | 1.36 | 1.36 | 2.43 | 2.28 | 2.99 | 2.58 | 0.85 |
| 65 | 2.3107 | 3.93 | 3.06 | 1.61 | 1.55 | 2.42 | 2.45 | 3.10 | 3.48 | 1.38 |
| 70 | 2.2863 | 4.51 | 3.96 | 1.44 | 1.39 | 3.29 | 2.52 | 2.92 | 3.92 | 1.70 |
| 75 | 2.1849 | 3.37 | 2.64 | 1.21 | 1.26 | 2.08 | 1.86 | 2.20 | 3.30 | 1.33 |
| 80 | 2.0063 | 3.97 | 3.08 | 1.75 | 1.52 | 2.25 | 2.25 | 2.91 | 2.88 | 1.06 |
| 90 | 1.4179 | 1.47 | 2.08 | 1.15 | 1.16 | 1.73 | 1.30 | 1.59 | 2.42 | 0.87 |
| 95 | 1.0081 | 2.77 | 4.40 | 1.98 | 1.78 | 3.17 | 2.56 | 3.79 | 2.80 | 0.91 |
| 100 | 0.5211 | 2.16 | 3.66 | 1.76 | 1.65 | 2.74 | 2.58 | 3.36 | 2.71 | 0.97 |

EToPM, EToP, EToA, EToH, EToRS, EToL, EToTH = evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith, Penman, Classe A, Hargreaves, Radiação Solar, Linacre e Thornthwaite, respectivamente.

O coeficiente de cultura (Kc) variou ao longo do ciclo fenológico da cultura, assumindo baixos valores na fase de emergência, valores máximos durante o período em que o desenvolvimento das plantas

é completo e declinando com a etapa de maturação. Comportamento semelhante se observa para o índice de área foliar (IAF) da cultura, o qual está associado a energia solar interceptada, através do processo fotossintético.

A equação de estimativa do índice de área foliar (IAF) da cultura de interesse em nossas condições foi:

$$IAF = -4,3889 + 0,2033 DAE - 0,001542 DAE^2 \quad r^2 = 0,990 \quad 1$$

onde DAE é o número de dias após a emergência das plantas e r^2 o coeficiente de determinação da regressão.

Na Tabela 2 são apresentadas as equações de regressão múltipla da evapotranspiração máxima da cultura (ETm) em função da demanda evaporativa da atmosfera (DEA) e do índice de área foliar (IAF) da cultura. A DEA é expressa pela evaporação medida no tanque classe A (ECA) e pela evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelos diferentes métodos considerados.

Tabela 2- Equações de regressão múltipla de estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) da batata (mm/dia), cultivar Itararé (IAC-5986), período semeadura-maturação, em função do índice de área foliar (IAF) e da ETo estimada por diferentes métodos.

| Método de estimativa da ETm | Equação de Regressão | r^2 |
|--|-----------------------------------|-------|
| Evaporação lida no tanque Classe A (ECA) | $ETm = 0,392 IAF^2 + 0,590 ECA$ | 0,987 |
| Penman-Monteith | $ETm = 0,368 IAF^2 + 1,336 EToPM$ | 0,981 |
| Penman | $ETm = 0,361 IAF^2 + 1,395 EToP$ | 0,977 |
| Classe A | $ETm = 0,368 IAF^2 + 0,788 EToA$ | 0,987 |
| Hargreaves | $ETm = 0,360 IAF^2 + 0,910 EToH$ | 0,981 |
| Radiação Solar | $ETm = 0,395 IAF^2 + 0,691 EToRS$ | 0,977 |
| Linacre | $ETm = 0,403 IAF^2 + 0,578 EToL$ | 0,974 |
| Thornthwaite | $ETm = 0,478 IAF^2 + 1,211 EToTh$ | 0,960 |

EToPM, EToP, EToA, EToH, EToRS, EToL e EToTH = evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith, Penman, Tanque Classe A, Hargreaves, Radiação Solar, Linacre e Thornthwaite, respectivamente.

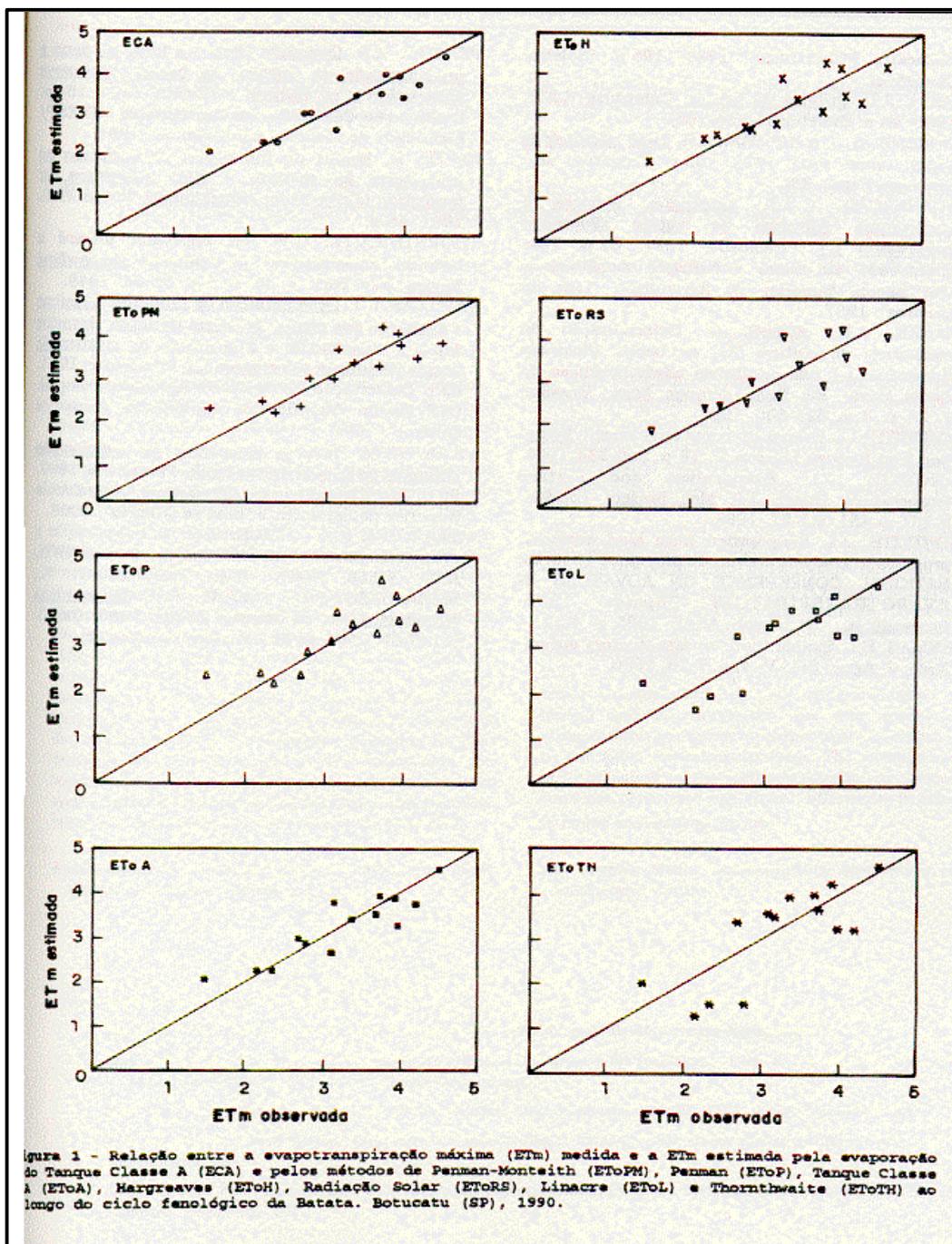
Observa-se, pela análise das equações apresentadas na Tabela 2, bem como, pela análise de variância a que foram submetidos os dados de evapotranspiração máxima estimados pelos diferentes métodos adotados, que as mesmas não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 1% de probabilidade, no entanto, vale ressaltar que as equações que consideram as variáveis ECA e EToA na avaliação da DEA foram as que apresentaram os mais elevados valores de coeficiente de determinação (r^2). Tal constatação corrobora com os resultados obtidos para valores de coeficientes de cultura (K_c) calculados, para diferentes sub-períodos da cultura, através do método do tanque classe A, os quais estiveram mais próximos daqueles preconizados pela FAO. Isto pode ser explicado pelo fato do tanque classe A, quando utilizado corretamente, integrar todas as variáveis meteorológicas que agem em conjunto sobre a superfície evaporante, de modo a constituir, portanto, o critério que melhor poderá refletir a realidade física do processo de perda d'água.

A figura 1 revela o comportamento de cada um dos modelos propostos para estimativa da evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) tomados em relação a demanda máxima medida em lisímetros de sub-irrigação. Observa-se que os modelos fundamentados na ECA e em ETo estimada pelos métodos de Penman-Monteith, Penman, Hargreaves e Tanque Classe A foram os que apresentaram os melhores ajustes à evapotranspiração máxima observada. Os modelos definidos por ECA e EToA, adotados para avaliação da DEA, evidenciaram os menores desvios entre valores calculados e medidos de ET_m , expressos por r^2 . Entretanto, através da análise baseada na estimativa do desvio padrão, verifica-se que os modelos que consideram ETo estimada por Penman-Monteith e Penman revelam uma sensibilidade maior perante as oscilações do processo de perda d'água da cultura. Isso pode ser explicado, pelo fato de que o método proposto por Penman-Monteith integra, além do balanço de energia radiante e dos princípios aerodinâmicos, fatores da planta que também estão envolvidos nos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera, não sendo considerados nos demais métodos.

A análise feita com base na estimativa da variância e do desvio padrão sobre os dados calculados de ET_m demonstrou que os modelos baseados em EToPM, EToP, ECA, EToH, EToA, EToRS, EToL e EToTH apresentaram os seguintes valores de desvio padrão: 0,704, 0,709, 0,731, 0,732, 0,732, 0,758, 0,872 e 1,054, respectivamente, os quais poderão melhor evidenciar a dispersão dos dados plotados em gráfico do tipo 1:1, conforme se verifica na Figura 1.

Pela presente análise, associada a obtenção do coeficiente de determinação da regressão, observa-se que os modelos de estimativa da ET_m baseados em EToPM, EToP, ECA, EToH e EToA foram os que apresentaram as menores dispersões, sendo, portanto, os preferenciais em estudos de manejo de irrigação

para as nossas condições e cultura.



CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração máxima da batata (ETm) pode ser descrita por um modelo que leva em considera-

ção o índice de área foliar (IAF) da cultura e as condições meteorológicas de uma dada região.

2. Na estimativa da ET_m da batata deve-se utilizar os métodos baseados em ET_oPM, ET_oP, ECA, ET_oH e ET_oA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERLATO, M.A. , MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).
- CARVALHO, W.A., SPÍNDOLA, C.R. , PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado. Botucatu: FCA/UNESP, 1983. 195 p. (Boletim Científico).
- DIAS, C.A.C. Cultura da batata. Campinas, CATI, 1986. 44 p. (Boletim Técnico, 65).
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (*Solanum tuberosum* L.). Piracicaba, 1987. 62 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). USP/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987.
- FRANKE, A.E., KONIG, O. Determinação do coeficiente de cultura (K_c) da batata (*Solanum tuberosum* L.) nas condições edafoclimáticas de Santa Maria, RS. Pesq. agropec. bras., Brasília, V. 29, n. 4, p. 625-630, 1994.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biology. London, V. 19, p. 205-234, 1965.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and surface temperature. Quart. J.R. Met. Society. London, V.107, n.451, p.1-27, 1981.
- MONTEITH, J.L. Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN EVAPOTRANSPIRATION, Chicago, 1985. Proceedings..., St Joseph: ASAE, 1985. p. 4-12.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. Neth. J. Agric. Sci., V. 4, p. 9-29, 1956.
- PEREIRA, A.B. Demanda climática ideal de água e produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L. cv. Itararé). Botucatu, 1991. 155 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura). UNESP/

Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1991.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements.** Rome: FAO, 1991. 45 p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, V. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

VARILLAS, I. T. **Determinação de unidades térmicas e avaliação dos efeitos de níveis térmicos elevados sobre o crescimento e a produção de cultura de batata (*Solanum tuberosum* L.).** Piracicaba, 1991. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). USP/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1991.

VILLA NOVA, N.A. **A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1967. 66 p. Tese (Doutorado em Agronomia). USP/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1967.

VILLA NOVA, N.A. , REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F., OCCHIPINTI, A.G., VILLA NOVA, N.A., REICHARDT, K., MAGALHÃES, P.C., CLEARY, R.W. **Engenharia Hidrológica**, Rio de Janeiro: ABRH, 1989. Cap.3. p.145-97. (Coleção de Recursos Hídricos, 2).