

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E SUA RELAÇÃO COM A PRECIPITAÇÃO OCORRIDA NA REGIÃO DE PELOTAS – RS¹

MÁRCIA OLIVEIRA CURI HALLAL²; EDGAR RICARDO SCHÖFFEL³; GABRIEL FRANKE BRIXNER⁴ E ANDRÉ LUIZ RADÜNZ⁴

¹ Tese do primeiro autor no Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar (PPGS PAF/UFPel).

² Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), 96100-000, Pelotas (RS), Brasil, marcihallal@hotmail.com

³ Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel), Universidade Federal de Pelotas (UFPel), ricardo_schoffel@ufpel.edu.br

⁴ Mestrando do PPG SPAF, Universidade Federal de Pelotas.

1 RESUMO

O objetivo do presente estudo foi estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith e relacionar essa estimativa com os valores de precipitação ocorrida nos mesmos períodos. Foram utilizados dados meteorológicos diários da Estação Agroclimatológica de Pelotas obtidos entre os anos de 1971 e 2010. Os valores estimados foram organizados por decêndios, mensal e sazonalmente para fornecer informações mais precisas e para caracterizar o comportamento da evapotranspiração em cada estação do ano, comparando-os com os valores de precipitação para verificar os períodos de deficiência da chuva. Os valores médios anual da evapotranspiração de referência para Pelotas é de 2,25 mm d⁻¹, sendo os maiores valores obtidos no verão (3,97 mm d⁻¹) e na primavera (3,37 mm d⁻¹) e os menores no outono (1,40 mm d⁻¹) e no inverno (1,08 mm d⁻¹). Na comparação entre a estimativa da evapotranspiração e a precipitação, foi observada grande diferença dos resultados de acordo com a escala de tempo analisada. A escala de decenal identifica períodos de déficit de precipitação não detectáveis nas escalas mensal e anual, pois o desvio padrão da série de dados de precipitação é muito grande e isso mascara longos períodos de estiagem, como o período compreendido entre 20 de outubro e 20 de janeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Penman-Monteith, ETo, chuva.

**HALLAL, M. O. C.; SCHÖFFEL, E. R.; BRIXNER, G. F.; RADÜNZ, A. L.
ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION AND ITS RELATION
WITH PRECIPITATION OCCURRED IN THE REGION OF PELOTAS - RS**

2 ABSTRACT

The objective of the present study was to estimate the reference evapotranspiration using the Penman-Monteith method and to relate this estimative with the values of precipitation occurred in the same periods. Were used daily meteorological data from the Agroclimatic Station of Pelotas in the period between the years 1971 and 2010. The estimated values were organized in ten-day periods, monthly and seasonally in order to provide more precise information and to characterize the behavior of the evapotranspiration in each season of the year. These values were compared to the precipitation in order to verify the periods when the difference of precipitation and evapotranspiration was negative. We concluded that the annual

average of the reference evapotranspiration for Pelotas is 2.25 mm d^{-1} and the highest values were obtained in summer and spring (3.97 and 3.37 mm d^{-1} respectively); that in the period comprehended between October 20th and January 20th the difference between precipitation and reference evapotranspiration is negative and that the monthly average is not a good predictor to analyse this difference because, as the standard deviation of the data serie of precipitation is too big, it masks long periods of drought.

KEYWORDS: Penman-Monteith, ETo, rain.

3 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumento da produção de alimentos mundial pressiona à expansão de áreas agricultáveis em todo o mundo (FAO, 2012), impulsionando, também, o uso da irrigação nas regiões em que a chuva não atende adequadamente às necessidades hídricas dos cultivos.

Na ausência de um método de controle da irrigação e com receio de comprometer a produção, geralmente, o produtor rural faz mau uso da irrigação desconsiderando, muitas vezes, o desperdício de energia e de água, usada no processo. Por consumir grande quantidade da água os agricultores tem responsabilidade de gerir adequadamente esta riqueza natural.

A necessidade de sistemas de produção mais eficientes para garantir a sustentabilidade da agricultura irrigada torna importante o manejo de irrigação para que se faça uso racional da água e de energia na produção agrícola, evitando o desperdício ou a falta de água, adotando critérios que indiquem o momento e a quantidade necessária à determinada cultura (Roque, 2007).

A quantidade de água transpirada pela planta mais a água evaporada diretamente da superfície do solo ou da superfície da planta representam a taxa de evapotranspiração da cultura e, sua quantificação é essencial indicativo da necessidade de irrigação. A evapotranspiração da cultura pode ser obtida através da evapotranspiração de referência corrigida por um coeficiente específico de cada cultura o qual é variável de acordo com as características inerentes a cada espécie vegetal como a resistência do dossel, a altura do cultivo, a rugosidade do cultivo, o albedo, a cobertura do solo e as características radiculares do cultivo (Pereira et al., 2002).

A evapotranspiração é expressa em milímetros por unidade de tempo. Essa unidade expressa a quantidade de água transferida de uma superfície cultivada para a atmosfera em unidade de altura de água (Allen et al., 1998). É possível obter esse valor através de estimativas aferidas por vários métodos diretos que utilizam variáveis meteorológicas registradas nas estações agrometeorológicas convencionais ou automáticas.

Em maio de 1990 a FAO (Food and Agriculture Organization) indicou o método de Penman-Monteith como o mais adequado e preciso para estimar a evapotranspiração de referência e recomendou procedimentos para calcular os diferentes parâmetros incluídos no método, definindo a cultura hipotética com altura de $0,12$ metros, resistência superficial de 70 s m^{-1} e albedo de $0,23$ (Allen et al., 1998).

Para a região de Palotina no Paraná, Syperreck et al. (2008) estimaram a evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith obtendo valores médios diários maiores entre os meses de outubro e março quando há maior disponibilidade de energia no sistema solo-planta-atmosfera. Neste período os valores variaram de $3,04$ a $3,78 \text{ mm d}^{-1}$, em contraste com os valores dos meses de maio, junho e julho que oscilaram entre $1,06$ e $1,23 \text{ mm d}^{-1}$. No

período analisado, entre 1994 e 2003, a média anual da evapotranspiração de referência obtido pelo método de Penman-Monteith foi de 2,58 mm d⁻¹. Já no estado de Sergipe em quatro micro regiões irrigadas a estimativa da evapotranspiração de referência observada teve pouca oscilação ao longo do ano, variando de 4,0 a 4,4 mm d⁻¹ (Souza et al., 2010).

Nos municípios de Cachoeira do Itapemirim, Sooretama e Venda Nova do Imigrante, localizados respectivamente, nas regiões Norte, Sul e Serrana do estado do Espírito Santo, Reis et al. (2007) estimaram a evapotranspiração de referência, com dados coletados nas plataformas do CEPTEC/INPE, e verificaram que na localidade serrana os valores oscilaram entre 2,31 e 2,36 mm d⁻¹; na região sul entre 2,43 e 2,48 mm d⁻¹ e na região norte entre 2,78 e 2,82 mm d⁻¹.

Na Estação Experimental de Campos de Goytacazes (RJ), Mendonça et al. (2003) estimaram a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith com dados meteorológicos medidos entre setembro de 1997 e dezembro de 2000. O valor médio da evapotranspiração do período foi de 3,5 mm d⁻¹ sendo que os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março apresentaram as maiores médias, equivalentes a 4,5; 4,6; 5,4 e 4,1 mm d⁻¹, respectivamente, e os valores mais baixos registrados foram de 2,0 e 2,4 mm d⁻¹, ocorridos nos meses de julho e agosto, respectivamente.

Portanto, verifica-se uma grande variação da estimativa da evapotranspiração de referência, pois estes valores estão relacionados diretamente as condições climáticas da região. Devido grande diversidade do clima torna-se necessário que sejam feitos estudos regionais específicos e sazonais para estimar com maior precisão o valor da evapotranspiração às condições locais de determinada região. O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith relacionando essa estimativa com os valores de precipitação ocorrida nos mesmos períodos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com dados meteorológicos do acervo histórico da Estação Agroclimatológica de Pelotas, Rio Grande do Sul, considerando o período entre os anos de 1971 a 2010. A região de Pelotas (31°52'S e 52°21'W, 13 m de altitude) possui clima do tipo subtropical úmido, com temperatura média anual de 17,8 °C, sendo que a temperatura média do mês mais frio (julho) é de 12,3 °C e do mês mais quente (janeiro) é de 23,2 °C, com chuva anual de 1367 mm, regularmente distribuída ao longo do ano (EAPEL, 2011).

Os valores da evapotranspiração de referência foram estimados na escala diária, de acordo com a parametrização do método de Penman-Monteith realizada pela FAO 56 (SMITH, 1991), a partir da seguinte equação:

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 s(Rn - G) - \gamma \frac{900}{T - 273} U_2 (e_s - e_a)}{s - \gamma(1 - 0,34U_2)} \quad (1)$$

Onde: Rn = saldo diário de radiação (MJ m⁻² d⁻¹), G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹), T = temperatura média diária (°C), U₂ = velocidade média diária do vento medido a 2 m de altura (m s⁻¹), e_s = pressão de saturação de vapor (kPa), e_a = pressão atual de vapor (kPa), s = declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹), γ = coeficiente psicométrico (kPa °C⁻¹). As pressões de vapor, a declividade da curva de pressão de vapor e os coeficientes psicométricos foram obtidos pelas expressões:

$$e_s = 0,61078 \cdot 10^{\frac{7,5T}{237,3-T}} \quad (2)$$

$$e_a = e_s - \gamma(T - T_u) \quad (3)$$

$$e_s = 0,61078 \cdot 10^{\frac{7,5T_u}{237,3-T_u}} \quad (4)$$

Com e_a obtido por medições psicométricas e e'_s sendo a pressão de vapor de saturação, medida em kPa, à temperatura do bulbo úmido (T_u). A declividade da curva de pressão de vapor e os coeficientes psicométricos foram obtidos pelas expressões:

$$s = \frac{4098 e_s}{(T - 237,3)^2} \quad (5)$$

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (6)$$

Onde P é a pressão atmosférica diária em kPa. O fluxo de calor no solo foi calculado utilizando diferença da temperatura média (T_d) dia com a temperatura média dos 3 dias anteriores (T_{3d}) pela expressão:

$$G = 0,38(T_d - T_{3d}) \quad (7)$$

O saldo de radiação foi calculado, conforme metodologia recomendada pela FAO 56, resultado do somatório do saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns} , em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) com o saldo de radiação de ondas longas (R_{nb} , em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$). A equação utilizada para estimar R_{ns} teve seus coeficientes calibrados para a região de Pelotas por Steinmetz (1999) e é dada por:

$$R_{ns} = (1 - r) \left(0,25 - 0,50 \frac{n}{N} \right) Q_0 \quad (8)$$

Para estimar R_{nb} foi utilizada a expressão:

$$R_{nb} = - \left(0,9 \frac{n}{N} - 0,1 \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \sigma (T_{kx}^4 - T_{kn}^4) \frac{1}{2} \quad (9)$$

Onde: r = coeficiente de reflexão considerado igual a 0,23 para o gramado, utilizado como cultura de referência, n = horas de brilho solar, $\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ K}^{-4}$ (constante de Stefan-Boltzmann), T_{kx} e T_{kn} temperaturas diárias máxima e mínima do ar, respectivamente, em Kelvin e N = fotoperíodo, calculado pela equação:

$$N = \frac{2h_n}{15} \quad (10)$$

$$h_n = \arccos(-\operatorname{tg}\phi\operatorname{tg}\delta) \quad (11)$$

Q_o = radiação extraterrestre diária determinada pela expressão:

$$Q_o = 37,586 d_r (h_n \operatorname{sen}\phi \operatorname{sen}\delta - \cos\phi \cos\delta \operatorname{sen}h_n) \quad (12)$$

Onde: d_r = distância relativa Terra-Sol, h_n = ângulo horário na hora do nascer do sol (equação 11), ϕ = latitude do local (em radianos), δ = declinação solar do dia (em radianos)

Com:

$$d_r = 1 - 0,033 \cos\left(\frac{NDA \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (13)$$

$$\delta = 0,4093 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{NDA} - 1,405\right) \quad (14)$$

Onde NDA é o número do dia do ano.

Com os valores diários de ETo estimados pelo método de Penman-Monteith, os dados foram agrupados por decêndio, mês e estação do ano. Para o primeiro decêndio foram considerados os dados do dia 1 ao dia 10; para o segundo do dia 11 ao dia 20 e para o terceiro do dia 21 ao último dia de cada mês, portanto este variando de 8 a 11 dias. Posteriormente, esses valores foram comparados com os dados de chuva de cada período na região. Ainda, foram computados os dias consecutivos em que a diferença entre chuva e evapotranspiração foi negativa, ou seja, dias sem chuva ou dias em que esta foi menor do que a evapotranspiração. Essa quantificação foi realizada apenas para os meses de maior evapotranspiração (setembro a março).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias e o desvio padrão dos valores diários da ETo foram calculados decendialmente e estão representadas na Figura 1, na qual é possível observar que esses valores apresentam um padrão de comportamento bem definido, decrescendo gradualmente de janeiro a junho e tornando-se crescente de julho a dezembro. Os valores extremos foram obtidos no segundo decêndio de junho ($0,72 \text{ mm d}^{-1}$) e no primeiro decêndio de janeiro ($4,00 \text{ mm d}^{-1}$). Nota-se, que o desvio padrão das séries é muito pequeno o qual proporciona credibilidade às médias decendiais encontradas. Observa-se na Figura 1 que os maiores valores médios diários ocorrem no mês de janeiro quando a evapotranspiração oscila entre $3,34 \text{ mm d}^{-1}$ e $4,16 \text{ mm d}^{-1}$, já o mês de junho mostra os menores valores variando de $0,64 \text{ mm d}^{-1}$ a $0,90 \text{ mm d}^{-1}$.

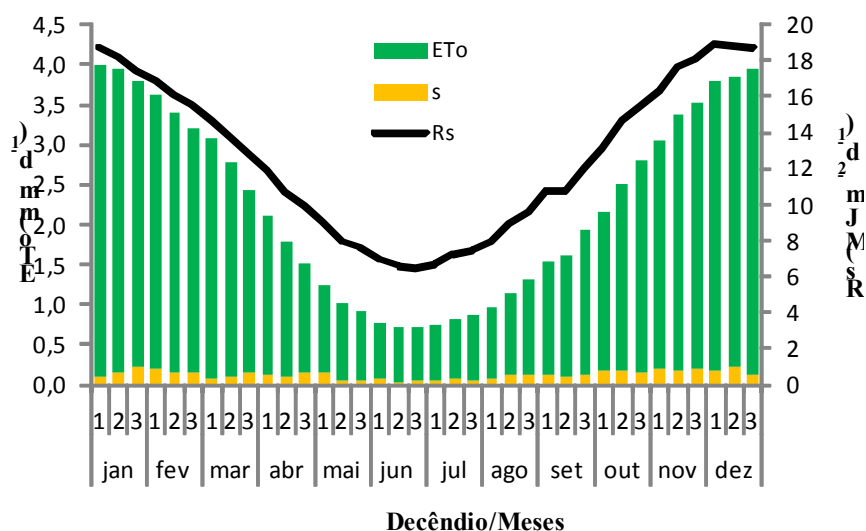


Figura 1. Valores médios diários da radiação solar global (Rs), da evapotranspiração de referência (ETo) e do desvio padrão (σ) de ETo, por decêndio de cada mês, na região de Pelotas-RS, no período de 1971 a 2010.

Esta ampla variação da ETo ao longo do ano, representada na Figura 1, está diretamente relacionada a disponibilidade de energia solar envolvida neste processo, pois a radiação solar global, que apresenta alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,91$) com a estimativa da ETo pelo método de Penman-Monteith. Essa variação diminui nos meses de inverno, para o hemisfério Sul, e aumenta nos meses do verão. Ainda na Figura 1, visualiza-se o comportamento da radiação solar global (Rs) em Pelotas, que varia de $18,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $6,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ entre janeiro e junho, e de $7,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $18,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de julho a dezembro mostrando o mesmo padrão de comportamento da ETo. Isto está de acordo com os resultados encontrados por Marcuzzo et al. (2008) para a região de São Carlos-SP, onde os máximos valores de ETo foram obtidos durante os meses com maior radiação solar global.

A amplitude encontrada entre os valores médios mensais para a evapotranspiração na região de Pelotas, de $0,74 \text{ mm d}^{-1}$ a $3,90 \text{ mm d}^{-1}$, é maior do que a relatada por Syperreck (2008), com dados de 1994 a 2003, para Palotina, município do oeste do Paraná. No estudo paranaense os valores oscilam entre $1,06 \text{ mm d}^{-1}$ e $3,78 \text{ mm d}^{-1}$, ocorridos em junho e dezembro, respectivamente e apresentam média anual de $2,58 \text{ mm d}^{-1}$, levemente superior aos $2,25 \text{ mm d}^{-1}$ verificados na média do período total do estudo em Pelotas.

Ao analisar os dados meteorológicos de quatro perímetros irrigados localizados nos municípios de Canindé de São Francisco, Tobias Barreto, Lagarto e Itabaiana, pertencentes ao estado de Sergipe, Souza et al. (2010) obtiveram estimativas de evapotranspiração de referência (ETo) utilizando vários métodos e em todos eles verificaram que os maiores valores da ETo foram obtidos nos sete primeiros e sete últimos decêndios do ano, tal qual Pelotas, que nestes períodos apresentaram os valores de ETo superiores a 3 mm d^{-1} . Nos decêndios de alta demanda atmosférica em Sergipe os valores da ETo oscilaram entre $4,5 \text{ mm d}^{-1}$ e $5,5 \text{ mm d}^{-1}$ enquanto que no período de menor demanda, nos meses de maio, junho e julho, variaram de $2,5 \text{ mm d}^{-1}$ a $3,5 \text{ mm d}^{-1}$. A média anual da ETo nestas regiões foi de $4,2 \text{ mm d}^{-1}$, superior ao valor de $2,25 \text{ mm d}^{-1}$ ocorrido em Pelotas. Embora com valores mais elevados, a variabilidade anual teve o mesmo padrão daquela ocorrida em Pelotas. Isso pode ser justificado pela posição geográfica, pois segundo Martins et al. (2007), os valores da

radiação solar nas regiões norte e nordeste são superiores aos da região sul do país na maioria dos períodos do ano.

Por influência dos valores da temperatura do ar cujas normais climatológicas em Pelotas variam de 22,9 °C no verão, 19 °C na primavera, 16,4 °C no outono a 13,2 °C no inverno, havia a suspeita de que o verão seria a estação do ano com maior evapotranspiração de referência e, portanto, que exigisse mais atenção e cuidados com o suprimento de água para os cultivos. Entretanto, analisando sazonalmente a ETo, verifica-se que a primavera também necessita igual atenção pois, como mostrado na Tabela 1, os valores da evapotranspiração de referência são próximos daqueles observados no verão. Nota-se, também, que as ETo do verão e da primavera foram mais do que o dobro daquelas estimadas para o outono e inverno, mostrando grande variabilidade entre as estações. A máxima ETo foi observada para o período do verão, com uma média diária de 3,54 mm d⁻¹, o que está de acordo com Camargo & Camargo (2000).

Esses resultados são condizentes com o saldo diário de radiação, cujas médias do verão e primavera são muito próximas, respectivamente, 13,8 MJ m⁻² d⁻¹ e 12,9 MJ m⁻² d⁻¹, e com a radiação extraterrestre, que apresenta valores semelhantes no verão (40,22 MJ m⁻² d⁻¹) e na primavera (39,73 MJ m⁻² d⁻¹), como consequência do ângulo de declinação solar o qual proporciona maior exposição solar nessas estações.

Tabela 1. Valores médios sazonais da evapotranspiração de referência (ETo, mm d⁻¹) e seu desvio padrão (σ) para a região de Pelotas-RS, no período de 1971 a 2010.

	Primavera	Verão	Outono	Inverno
ETo	3.00	3.54	1.40	1.08
σ	0.68	0.44	0.60	0.33

Os valores do desvio padrão foram mais altos na primavera e no outono (Tabela 1), isso pode ser atribuído ao fato de serem estações de transição, ou seja, a primavera apresenta baixa demanda evapotranspirativa no início (setembro) e elevada ETo no final da estação (novembro e dezembro) e o outono, alta demanda no começo (março e abril) e mais baixa ETo no final da estação (junho). Estes resultados diferem daqueles obtidos por Petry (2004) que, considerando 13 anos de dados meteorológicos na avaliação da necessidade de irrigação na Depressão Central do Rio Grande do Sul, para o período entre agosto e dezembro, observou menor desvio padrão da ETo nos meses de agosto e setembro.

Ainda na Tabela 1, verifica-se que no inverno foi obtida a menor ETo (1,08 mm d⁻¹), bem como, o menor desvio padrão entre as estações, cerca de 0,33 mm d⁻¹, isso está relacionado ao fato desta estação do ano dispor de menor energia solar, além de apresentar altas umidades relativas do ar aliado à regularidade das precipitações mais significativas neste período.

A evapotranspiração de referência média anual apresenta a mesma regularidade em todos os anos do período analisado aproximando-se muito da média de ETo de todo o período do estudo (2,5 mm d⁻¹). As ETo médias anuais estão representadas na Figura 2 que também contém a representação das ETo máximas absolutas de cada ano, onde pode-se observar uma oscilação de valores desta última, entre 5 e 7 mm d⁻¹ ocorrida nos anos de 2009 e 1976, respectivamente.

Quando se buscou identificar os meses em que ocorreram ETo máximas absolutas, observou-se que a maioria desses valores ocorreu no mês de dezembro, onde se registraram

dezoito eventos, seguido do mês de janeiro, com quatorze ocorrências, de fevereiro com quatro e de novembro com apenas um registro.

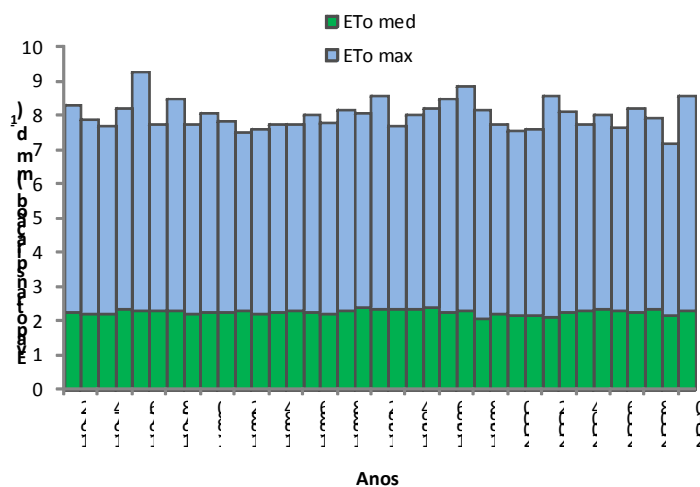


Figura 2. Valores da evapotranspiração de referência média (ETo med) e máxima absoluta anual (ETo max) estimados pelo método de Penman-Monteith, na região de Pelotas-RS, no período de 1971 a 2010.

Na Figura 3 estão representados os valores acumulados da evapotranspiração de referência e da chuva ocorrida em Pelotas, na qual é possível observar pouca variabilidade da ETo anual com valores próximos a 900 mm a^{-1} . Porém, para o somatório da chuva anual observa-se uma variação entre 890 mm a^{-1} a 2314 mm a^{-1} ocorrido nos anos de 1988 e 2002, respectivamente. A chuva do ano de 2002 foi uma exceção entre os demais anos e o valor registrado foi muito superior a normal climatológica anual da região, que é de $1366,9 \text{ mm}$. Em nove meses daquele ano foram registrados valores de chuva superiores a normal climatológica mensal, próximos de 340 mm nos meses de dezembro e março. A variação da chuva esta relacionada com a ocorrência e intensidade de fenômenos La Niña e El Niño, os quais apresentam forte influência sobre esta variável no sul do Brasil.

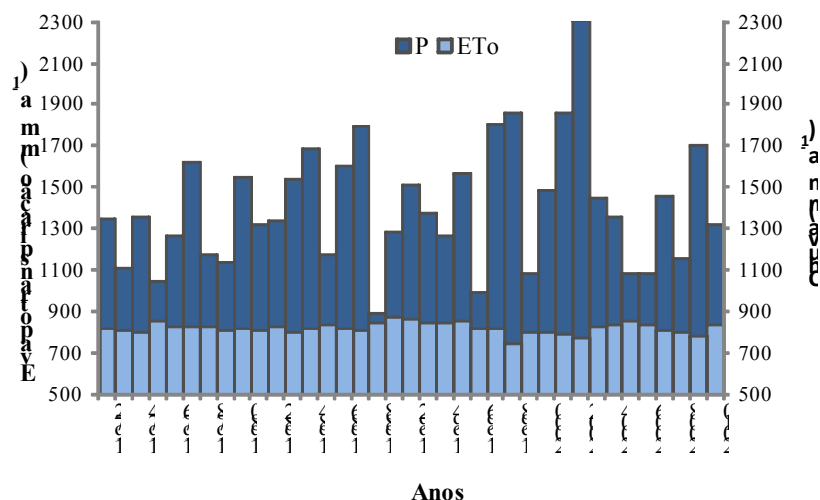


Figura 3. Total anual da evapotranspiração de referência (ETo) e da chuva (P), ocorrida em Pelotas-RS, no período de 1971 a 2010.

Conforme pode ser observado na Figura 3, na comparação entre os valores anuais a chuva mostra valores superiores à evapotranspiração. Porém, quando se considera um intervalo de tempo menor, como dez dias a evapotranspiração é superior a precipitação em alguns desses períodos. Na maioria dos meses a chuva em cada decêndio foi maior do que a evapotranspiração de referência ocasionando, no período de maio a setembro, diferença positiva entre eles (Figura 4), entretanto, em alguns decêndios da primavera e do verão ocorre déficit de precipitação, mais especificamente no período compreendido entre 20 de novembro e 20 de janeiro. Por exemplo, é possível observar na figura 4 que no primeiro decêndio de janeiro, a diferença média entre essas duas variáveis é de aproximadamente -10,5 mm no decêndio, a qual acarreta déficit hídrico de 1,5 mm d⁻¹. Essa análise permite inferir sobre a disponibilidade de água aos cultivos de acordo com o tipo de cultura e fase fenológica, bem como sobre a possível necessidade de irrigação em cada período.

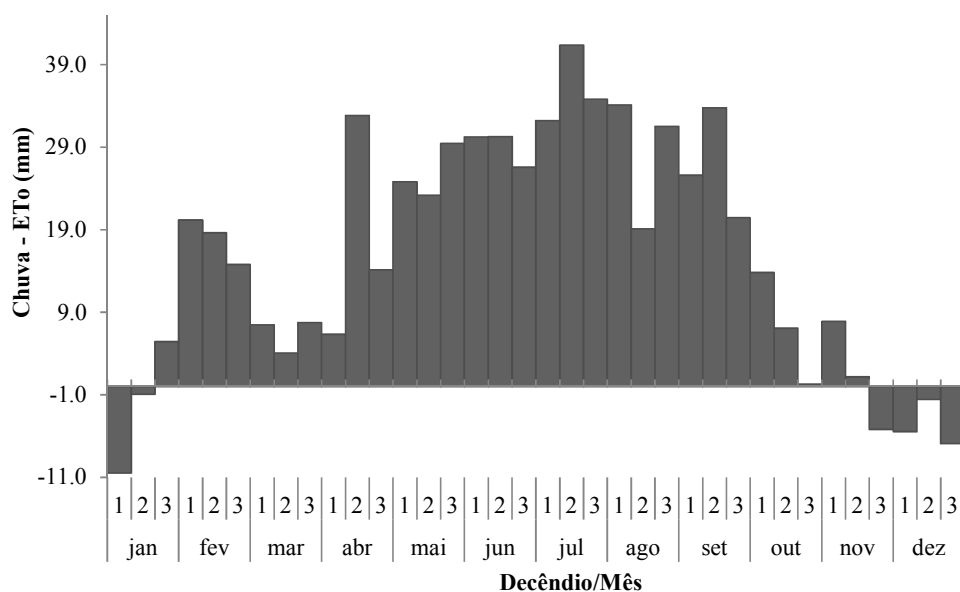


Figura 4. Diferença entre chuva e estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), por decêndio de cada mês, para Pelotas-RS, no período de 1971 a 2010.

Pela Figura 4 visualiza-se que, para a região de Pelotas, a diferença entre a chuva e a evapotranspiração de referência tem um déficit diário que varia de -1 a -10,5 mm no decêndio, entre o 3º decêndio de novembro e 2º de fevereiro, sendo que para este período o déficit acumulado pode chegar a -30,61 mm. Esses dados corroboram com os de Carlesso et al. (2001), segundo os quais no período de primavera/verão no Rio Grande do Sul apresenta uma elevada demanda evaporativa da atmosfera onde a precipitação no período, no geral, é insuficiente para atender a necessidade hídrica das culturas.

Para os demais decêndios do ano foram observados valores positivos, o que corresponde a precipitações superiores a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith, sendo que do primeiro decêndio de maio ao segundo de setembro foram obtidos valores superiores a 20 mm no decêndio, e obtendo o valor máximo no segundo decêndio de julho com 41,3 mm no decêndio.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2008) para o município de Uruguaiana, localizado no oeste do Rio Grande do Sul. Utilizando dados de 1977 a 2006, a autora estimou a evapotranspiração pelo método de Thornthwaite e verificou que dezembro e

janeiro também foram os meses em que os valores médios mensais de evapotranspiração foram superiores aos de precipitação.

No entanto, para Marilândia no estado do Espírito Santo, que apresenta condições climáticas típicas de clima tropical, distintas das características da região sul, resultados obtidos por Silva et al. (2010), foram diferentes. Os autores estimaram a evapotranspiração de referência, pelo método de Hargreaves e Samani, e verificaram que no mês de janeiro os valores de ETo e de chuva se igualam, em novembro e dezembro a chuva supera a ETo e nos demais meses a ETo é maior do que a chuva, concluindo que existe a necessidade de suplementação de água para as culturas na maioria dos meses do ano na região.

As diferenças entre as médias diárias mensais da chuva e da evapotranspiração dos meses de setembro a março, indicam situações anuais que oscilam entre déficit e excedente de precipitação. Na Figura 5 estão ilustrados os meses de setembro e janeiro os quais apresentaram comportamentos extremos na região de Pelotas. No mês de setembro (Figura 5B) essa diferença é positiva na maioria dos anos, sugerindo que neste mês há poucos casos de déficit, entretanto em muitos anos do período analisado verificam-se períodos de dias consecutivos no mês em que essa diferença foi negativa. Exemplos dessa situação ocorreram nos anos de 1976, quando a média diária do mês foi de 2,3 mm e houve 15 dias consecutivos que acumularam déficit de 31,4 mm; em 1983 num período de 21 dias consecutivos em que a evapotranspiração foi maior que a precipitação, atingindo o déficit de 32,4 mm; e no ano de 1999, cuja média diária do mês (1,9 mm) não expressa o déficit de 37,9 mm, acumulados numa sequência de 16 dias.

Na Figura 5A observa-se que o mês de janeiro apresenta, em vários anos, médias mensais negativas, porém, os valores não refletem a intensidade do déficit causado por períodos de dias consecutivos em que a diferença diária entre precipitação e evapotranspiração foi negativa. No ano de 1980, por exemplo, a média diária mensal desse mês ($-2,1 \text{ mm d}^{-1}$) indica um déficit do 65,1 mm no mês, mas esse valor é bastante inferior aos 103 mm de déficit registrados em um período de 24 dias consecutivos. Analogamente, no ano de 2006 o déficit resultante de nove dias consecutivos foi de 33 mm e a média de $-0,1 \text{ mm d}^{-1}$ sinaliza um déficit de apenas 3,1 mm no mês. Essa situação também se verifica em anos que a média do mês de janeiro é positiva. Exemplo disso foi o ocorrido em 2002, quando a média mensal de 2,0 mm mascara o déficit de 48,7 mm, ocasionados por 14 dias consecutivos de diferenças negativas entre chuva e evapotranspiração. Nos meses de outubro, novembro, dezembro, fevereiro e março também ocorrem situações em que as médias não refletem o comportamento da diferença da chuva ocorrida e da evapotranspiração de referência estimada.

Com base nesses dados, verifica-se que é necessária atenção quando se utilizam dados médios de chuva e de evapotranspiração de referência. Em Pelotas, valores de precipitação formam uma série de dados que apresenta desvio padrão muito grande, devido à existência de muitos valores nulos fazendo com que a média não seja o melhor índice estatístico para representar os dados. Nestes casos, a média mascara uma situação, pois valores positivos para a média de um mês podem não refletir a ocorrência de vários dias consecutivos sem chuva, com consequências importantes no crescimento dos cultivos, dependendo da tolerância da cultura e da fase fenológica que se encontra quando ocorrem esses períodos de déficit de chuva.

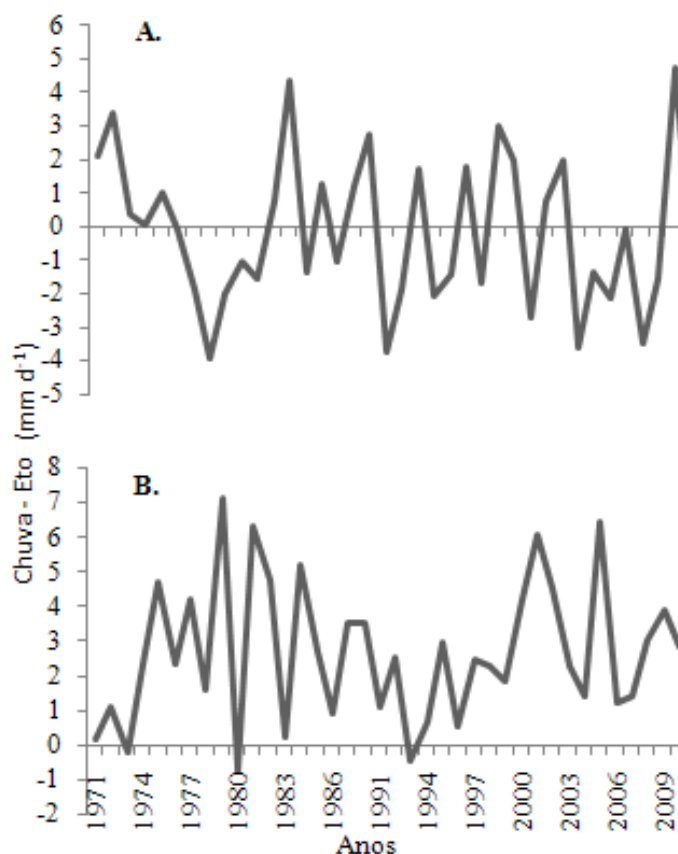


Figura 5. Média diária mensal da diferença entre a chuva e a evapotranspiração de referência, (ET_0 , mm d^{-1}) representadas anualmente, para a região de Pelotas-RS, nos meses de janeiro (A) e de setembro (B).

Na Tabela 2 estão apresentadas as séries de dias consecutivos em que a diferença entre a chuva (P) e a ET_0 foi negativa e a quantidade de vezes que estes eventos ocorreram nos meses de setembro a março. Períodos de 4 a 8 dias consecutivos de precipitação menor que a evapotranspiração são frequentes e merecem atenção, pois causaram déficit de até 38 mm. Períodos mais longos são mais escassos, porém há estimativa de déficit de até 100 mm nestes períodos, os quais podem ocasionar prejuízos na produção das culturas e por essa razão também devem ser considerados.

Tabela 2. Número de repetições de séries de dias consecutivos com diferença de chuva (P) e evapotranspiração de referência (ETo) negativa, nos meses de setembro a março do período de 1971 a 2010.

Nº de dias	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
4	22	15	17	17	21	15	18
5	20	12	12	13	14	18	16
6	10	14	12	9	12	8	10
7	4	12	6	14	11	11	5
8	3	5	13	11	5	11	6
9	5	4	6	9	6	7	8
10	3	5	3	4	5	4	6
11	2	2	7	1	3	6	6
12	8	2	3	5	3	3	4
13	3	4	7	2	3	2	3
14	1	1	2	4	1	0	4
15	2	2	0	3	3	1	1
16	2	1	0	0	1	0	2
17	1	3	0	0	1	1	2
18	0	3	1	0	0	0	1
19	2	1	1	0	2	0	0
20	0	0	2	0	1	0	1
21	1	0	0	2	0	0	0
22	0	0	0	0	1	0	0
23	0	0	0	0	2	0	0
24	0	0	0	1	1	0	0
25	0	0	1	1	0	0	0
26	0	1	0	0	0	0	1
27	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	1	0

Entre setembro e março existem longos períodos de dias secos em Pelotas. Entre 24 de dezembro de 2002 a 19 janeiro de 2003, por exemplo, registraram-se 27 dias consecutivos em que a diferença entre chuva e ETo foi negativa, gerando um déficit de 116,9 mm no período. Outro episódio de escassez de precipitação ocorreu entre novembro de 2006 e fevereiro de 2007 quando houve dois períodos de 25 dias e um de 15 dias sem chuvas gerando 245 mm de déficit entre chuva e ETo.

6 CONCLUSÕES

1. A média anual da evapotranspiração de referência (ETo) para Pelotas é de 2,25 mm d⁻¹. A primavera apresenta valor médio de 3,00 mm d⁻¹, próximos aos 3,54 mm d⁻¹ observados no verão enquanto, outono e inverno apresentam valores de 1,40 e 1,08 mm d⁻¹, respectivamente.

2. A soma total anual da precipitação ocorrida em Pelotas é maior que o total da ETo, porém na média decendial observa-se que de 20 de novembro a 20 de janeiro a diferença entre chuva e ETo é negativa, sendo que para todos os demais decêndios o saldo é positivo nesta relação.

3. A média mensal da chuva e da evapotranspiração de referência não é um bom preditor para analisar a diferença entre estas duas variáveis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. - Rome, 1998. **FAO Irrigation and drainage paper n56**

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Uma revisão analítica da Evapotranspiração Potencial**. Bragantina, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CARLESSO, R.; PETRY, M. T; ROSA, G. M. Manejo da irrigação por aspersão visando a redução de custos de produção e energia. In: Carlesso et al. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Imprensa Universitária, p. 84-113, 2001.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS - EAPEL. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet/estacao/index.html>> 27 set. 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Scarcity and degradation of land and water: growing threat to food security. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/en/item/95153/icode>> 15 out. 2012.

MARCUZZO, F. F. N.; ARANTES, E. J.; WENDLAND, E. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial e direta para a região de São Carlos-SP. **Irriga**, v.13, n.3, p.323-338, 2008.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. P.; GUARNIERI, R. A.; SILVA, S. A. B.; YAMASHITA, C. S.; CHAGAS, R. C.; ABREU, S. L. Mapeamento dos recursos de energia solar no Brasil utilizando Modelo de Transferência Radiativa Brasil-SR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 1., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Energia Solar, 2007, 1 CD-ROM.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; SALASSIER, B.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A. ; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHA, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Livraria e Editora Agropecuária, 2002, 478p.

PETRY, M. T. **Simulação da necessidade de irrigação no estado do Rio Grande do Sul para compensar perdas por deficiência hídrica de milho, soja e feijão**. Santa Maria: UFSM, 2004. 174p. Tese Doutorado.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEPOZZONE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, Chile, v.25, n.3, p.75-84, 2007.

ROQUE, M. W, **Variabilidade espacial de atributos físicos hídricos do solo cultivado com feijão irrigado submetido a diferentes sistemas de preparo**. Campinas, SP, 2007. 198p. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SILVA, J. G. F.; RAMOS, H. E. A., IGREJA, G. C.; FREITAS, R. A.; ROCHA, G. A. Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Marilândia- ES. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO E DO CARIBE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 9 E CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39, 2010, Vitória. **Anais do...**Jaboticabal: SBEA, 2010.CD Rom.

SILVA, M. V; CAMPOS, C. R. J. Balanço hídrico climatológico para Uruguaiana- RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16 E ENCONTRO DE PÓS- GRADUAÇÃO, 10, 2008, Pelotas. **Anais do...**Pelotas: UFPel. 2008. CD Rom.

SMITH, M. **Report n the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome FAO, 45p. 1991.

SOUZA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G; NETTO, A. O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado do Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.14, n.6, p.633-644, 2010.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativa de evapotranspiração de referencia para região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, p.603-609, 2008.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N.; SOARES, W. R. Estimativa da radiação solar global a partir da insolação na região de Pelotas, Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**, v. 2, n.1, p. 77-85, 1999.