

# Capítulo 5

## Manejo de Irrigação em Alfafa

*Fernando Campos Mendonça  
Joaquim Bartolomeu Rassini*

PROCI-2008.00230  
MEN  
2008  
SP-PP-2008.00230

Manejo de irrigacao da alfafa.  
2008 SP-PP-2008.00230



CPPSE-18203-1

PROCI (2008 00230) - ID. 18203

## Introdução

A intensificação do uso das pastagens é o fator mais importante para a viabilidade técnico-econômica da produção de leite, pois a alimentação é o item de maior custo nos sistemas de produção animal.

Sempre que for possível aumentar a oferta e a qualidade da pastagem, haverá redução do custo de alimentação dos animais, devido à redução do uso de máquinas e implementos, infra-estrutura de armazenamento e serviço e mão-de-obra. Nesse contexto, a utilização da alfafa em pastejo rotacionado é muito interessante, pela possibilidade de oferta de forragem de excelente qualidade, com alta produtividade e redução do custo da alimentação do rebanho.

Embora a alfafa seja uma forrageira muito tolerante ao estresse por déficit hídrico, também apresenta alta resposta à disponibilidade de água. Para ter boa produtividade e qualidade da forragem de alfafa, é necessário garantir que não haja períodos de déficit hídrico acentuado. Na maior parte das localidades, isto só é possível com o auxílio da irrigação, que propicia melhores resultados de produção e oferta de forragem de excelente qualidade por todo o ano.

Para se evitar o desperdício e se aumentar a eficiência do uso de água, é necessário fazer o manejo da irrigação, que consiste no conjunto de técnicas para projetar, instalar, manter e operar o sistema de irrigação.

## Clima

Originalmente, a alfafa é uma planta de clima temperado, mas tem capacidade de adaptação a uma grande variedade de climas e altitudes, o que possibilita o seu cultivo em localidades ao nível do mar ou em altitudes elevadas. Atualmente, há diversas variedades produtivas adaptadas ao clima tropical. Quanto à temperatura ambiente, a alfafa de flor amarela (*Medicago falcata*) sobreviveu a temperaturas inferiores a  $-26^{\circ}\text{C}$  no Alasca, e algumas variedades comuns (*Medicago sativa*) foram cultivadas no Vale da Morte na Califórnia, EUA, onde ocorrem temperaturas de até  $54^{\circ}\text{C}$  (RASSINI et al., 2007b).

A germinação da alfafa ocorre a partir de  $2^{\circ}\text{C}$  e torna-se mais rápida com o aumento da temperatura, até uma faixa ótima de  $20^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ . O desenvolvimento das plântulas é favorecido por temperaturas mais altas ( $20^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ ), que estimulam rápida expansão das folhas. Entretanto, temperaturas amenas ( $15^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ) favorecem o desenvolvimento da planta durante a fase de estabelecimento da cultura. O crescimento da cultura ocorre mesmo em temperaturas acima de  $30^{\circ}\text{C}$  ou abaixo

de 10 °C, porém a produtividade é maior em regiões com temperaturas em torno de 25 °C, em condições de baixa umidade relativa do ar. Temperaturas mais altas causam redução do tamanho das células e das folhas, aumentando a resistência à difusão de CO<sub>2</sub>, causando, conseqüentemente, redução na produtividade da alfafa (BULA, 1972; DELANEY et al., 1974; FIELD et al., 1976).

Em regiões de alto potencial para o cultivo da alfafa no Brasil, temperaturas altas reduzem o período entre cortes e podem justificar o decréscimo de produtividade que se observa no verão. O intervalo de corte é de 35 a 42 dias, no período de outono-inverno, e de 28 a 32 dias, no período de primavera-verão (RASSINI et al., 2007b).

No período de primavera-verão, têm-se obtido maiores produtividades, mas, nas regiões com inverno ameno, a produtividade pode ser aumentada com o uso da irrigação. Alvim e Botrel (1995) mostraram que, sob condições de irrigação, aproximadamente 42 % da produção anual da alfafa pode ser obtida no período de outono-inverno. A temperatura influencia diretamente o crescimento vegetativo e o intervalo de cortes. De modo geral, quanto maior a temperatura, menor o intervalo (DOORENBOS e PRUITT, 1977).

Experimentos realizados com alfafa sob irrigação mostraram, com 11 cortes em um ano, que a distribuição de produção na região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais foi de 30,4 % no outono, 27,1 % na primavera, 23,7 % no inverno e 18,8 % no verão. No Estado de São Paulo, verificou-se uma distribuição de 42,3 % na primavera, 22,1 % no verão, 11,3 % no outono, e 24,3 % no inverno. Há uma tendência de maiores produções no período de outono-inverno, o que é desejável em sistemas de produção animal, pois nessa época do ano a produção das forrageiras tropicais é baixa, mesmo sob irrigação (RASSINI et al., 2007a).

## **Necessidades hídricas e irrigação da alfafa**

### **Estresse hídrico**

A necessidade hídrica de qualquer cultura é representada pela evapotranspiração no balanço hídrico e corresponde à quantidade de água que passa à atmosfera pela evaporação do solo e transpiração das plantas, somada à quantidade d'água que é incorporada à massa vegetal. A quantidade retida pela planta é muito pequena com relação à água evaporada e transpirada e, por isto, se considera que a necessidade de água do conjunto solo-planta é praticamente igual à água transferida à atmosfera pela evaporação do solo e transpiração das plantas (evapotranspiração da cultura).

As necessidades hídricas da alfafa estão associadas à finalidade de seu cultivo. Caso o objetivo seja a produção de forragem (pastejo ou feno), o ideal é manter uma alta disponibilidade de água no solo para que a planta mantenha-se em plena vegetação. Já na produção de sementes, há duas fases: a inicial, na qual se deve manter alta disponibilidade hídrica; e a final, na qual se deve restringir a disponibilidade hídrica a um grau que induza a planta a iniciar o processo reprodutivo.

Paula e Silva (1998) afirmam que a alfafa tem um sistema radicular profundo que pode estender-se até a 3 m em solos profundos, e que a máxima profundidade das raízes é alcançada depois do primeiro ano. Entretanto, não se deve considerar uma camada de solo tão profunda para contabilizar a água disponível à cultura, pois a maioria das raízes estão nas camadas mais próximas à superfície. Taylor e Marble (1986) realizaram experimentos de produção de sementes em regiões de seca acentuada, verificando que os mais altos rendimentos foram obtidos com irrigação e considerando uma camada de solo de 0,6 m para extração de água.

A umidade adequada do solo é essencial para a germinação e o estabelecimento das plântulas de alfafa. Heichel (1983) afirmou que a germinação é inibida em potenciais osmóticos de -1,2 MPa a -1,5 MPa. A redução do potencial de água de -0,005 MPa para -1,0 MPa durante quatro semanas causou uma redução de 28 % no número de caules da muda de alfafa; o número de brotos foi reduzido em 31 % e, o peso da planta, caiu 58 %.

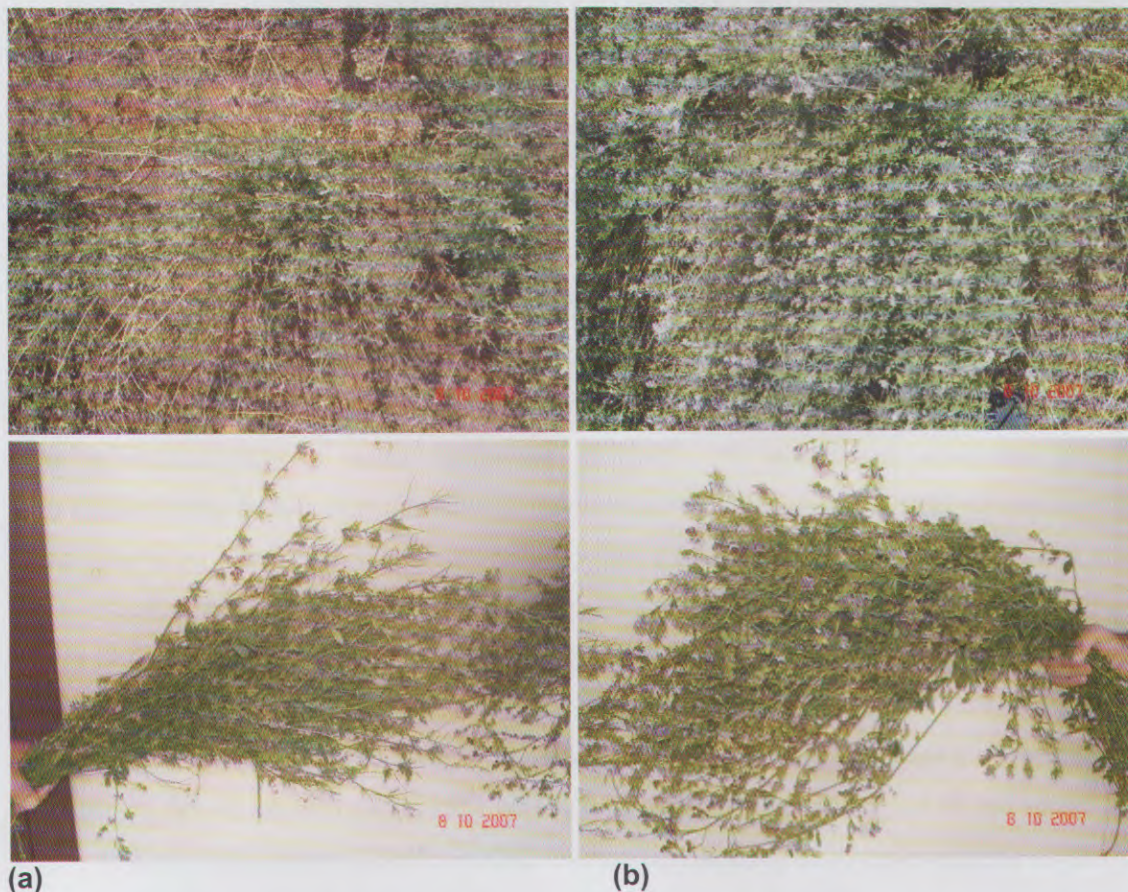
Quando a evapotranspiração máxima é de 5 mm/dia a 6 mm/dia, pode esgotar-se ao redor de 50 % do total da água disponível no solo antes que absorção da água precedente afete a evapotranspiração do cultivo (DOORENBOS e KASSAN, 1994).

Quando a demanda da evaporação excede a capacidade da planta em transportar água através de seu sistema, ocorre o chamado estresse hídrico. Embora o estresse hídrico reduza a produtividade, a alfafa apresenta uma habilidade de recuperar-se quando ele acaba (DONAVAN e MEEK citados por GUITJENS, 1990).

Observações feitas em um campo experimental de produção de sementes da Embrapa Pecuária Sudeste mostraram que plantas de alfafa sob estresse hídrico severo tiveram redução considerável de área foliar, número de vagens por planta e produção de sementes (Fig. 1).

O aumento do estresse hídrico no solo diminui o crescimento das raízes e a nodulação, e a atividade da nitrogenase nos nódulos pode se reduzir até 85 % (HEICHEL, 1983).

Embora o estresse hídrico reduza a produtividade, a alfafa consegue recuperar-se quando o estresse acaba. Brown e Tanner citados por Guitjens (1990) concluíram que o estresse hídrico na última metade do ciclo de crescimento da cultura não afetou a densidade de caules e folhas e o total de peso seco, mas a densidade de caules diminuiu 23 % quando o estresse ocorreu durante os primeiros 14 dias da rebrota, e uma vez reduzido este número, as irrigações posteriores não foram capazes de aumentar o mesmo.



**Fig. 1.** Aspecto de plantas de alfafa não-irrigada (a) e irrigada (b), na época de seca.

Fotos: Fernando Campos Mendonça

Apesar de ser prejudicial, se muito severo, é necessário que as plantas sofram certo grau de déficit hídrico para estimular a produção de sementes. A alfafa é conhecida por responder positivamente a um estresse hídrico moderado, mas são pouco conhecidos os efeitos da irrigação com déficit sobre a viabilidade e o tamanho das sementes. Shock et al. (2007) realizaram um experimento com duas cultivares de alfafa, no Estado do Oregon (USA), no qual a indução do florescimento era feita com a aplicação de uma lâmina d'água equivalente a 65 % da evapotranspiração máxima da cultura (65 % ET<sub>m</sub>). Após a indução, eram aplicados os tratamentos, quatro lâminas d'água de irrigação (80 %, 60 %, 40 % e 20 % de ET<sub>m</sub>), com turnos de rega de 3 a 4

dias. Os autores concluíram que uma reposição de 50 % ETm após o florescimento maximizou a produtividade e a qualidade das sementes, ultrapassou o padrão de 85 % de sementes viáveis, que é a norma estadual para sementes de alfafa.

### Consumo de água

A evapotranspiração potencial de qualquer cultura agrícola tende a crescer com o aumento da densidade de plantas. No caso da alfafa, essa densidade é menor em áreas de produção de sementes e maior em áreas de pastejo e fenação. Portanto, o manejo da irrigação deve ser adaptado à finalidade de cultivo.

A evapotranspiração ocorre em resposta à demanda atmosférica por água, mas a intensidade deste processo é modificada pela quantidade de água disponível às plantas no solo. Um decréscimo na água disponível no solo pode afetar o transporte de água através da planta e, portanto, o seu crescimento (BLAD citado por GUITJENS, 1990). Para alfafa, Guitjens (1990) afirma que o potencial matricial de água no solo não deve ser inferior a -200 kPa.

Durante o ciclo fenológico, geralmente a alfafa aumenta seu consumo hídrico no início da floração (produção de sementes) e imediatamente após o corte (silagem, fenação ou pastejo) (BRASIL, 1987). Algumas pesquisas mostram que o requerimento de água da alfafa é maior que do milho e sorgo, que realizam fotossíntese pela via C<sub>4</sub>. As estimativas do requerimento de água da alfafa variam conforme a variedade, as condições de crescimento, as saídas e a disponibilidade de água no solo (HEICHEL, 1983).

O consumo anual médio de água da alfafa está entre 800 mm e 1600 mm, dependendo do clima e da duração do período vegetativo (BRASIL, 1987).

Heichel (1983) encontrou taxas de evapotranspiração máxima da alfafa por volta de 7,6 mm/dia a 9,0 mm/dia, embora extremos de 4,1 mm/dia a 12 mm/dia também tenham sido encontrados. Cunha et al. (1994) utilizaram um lisímetro de pesagem para medir a evapotranspiração máxima diária da alfafa em Eldorado do Sul, RS, em 7 períodos de corte, encontrando valores de 1,7 mm/dia a 7,1 mm/dia. A ETm diária da alfafa não excedeu a 10 mm/dia.

Trabalho de Briggs e Shantz, citado por Heichel (1983), no qual os autores relataram que o requerimento de água da alfafa está entre 631 a 834 kg H<sub>2</sub>O/kg MS de alfafa. Cita também o trabalho de Shantz e Piemeisel, que encontraram um requerimento de 890 a 957 kg H<sub>2</sub>O/kg MS de alfafa, dependendo do cultivar; e o de Gifford e Jensen, que relataram um requerimento de água de 800 a 1360 kg H<sub>2</sub>O/kg MS de alfafa, para alfafa crescendo em solo úmido ou seco, respectivamente.

Rassini (2001) cita os trabalhos de Gheorgiù, na Itália, e de Bosniak, na antiga Iugoslávia. O primeiro autor mostrou que o consumo de água da alfafa foi de 5873 m<sup>3</sup>/ha (587,3 mm) no primeiro ano e de 6292 m<sup>3</sup>/ha (629,2 mm) no segundo. O segundo autor concluiu que a exigência anual de água variou de 545 mm a 730 mm, e que a irrigação suplementar proporcionou aumentos de 50 % a 55 % no rendimento de feno de alfafa.

Quando a alfafa cresce em campo irrigado, a produção de massa seca por kg de água aumenta, o que evidencia uma maior eficiência do uso de água em áreas irrigadas. Considerando-se todos os fatores que levam à perda d'água, as taxas de requerimento de água variam de 512 a 663 kg H<sub>2</sub>O/kg MS. Esses valores sugerem que o requerimento de água de 1 ha de alfafa é de cerca de 56 mm/t MS a 73 mm/t MS, para satisfazer suas necessidades hídricas durante a estação de crescimento (HEICHEL, 1983).

O máximo requerimento de água da alfafa ocorre nos períodos pós-corte e produção de sementes (HEICHEL, 1983). Quando não se pode contar com água das chuvas, a irrigação nessas fases é primordial para um bom desenvolvimento da planta e conseqüente aumento na produtividade.

### Eficiência do uso de água

Ao se medir o consumo de água da alfafa, também é importante determinar a eficiência do uso de água, para verificar se há desperdício e ineficiência no sistema de produção. Segundo Cunha et al. (1994), a forma mais comum de se medir tal eficiência é a razão entre a massa seca (MS) produzida acima do solo e a evapotranspiração total (ET) no período entre dois cortes sucessivos. Assim, tem-se:

$$EUA = (MS/ET) \quad (1)$$

em que,

EUA – eficiência de uso de água, kg MS/ha/mm

MS – produção de massa seca, kg

ET – evapotranspiração da cultura entre dois cortes sucessivos, mm

Wright (1988) mediu o consumo de água da alfafa durante 5 anos, citando um consumo de 1022 mm em cultivo de abril a outubro, o que dá um consumo de água de 58,1 mm/t MS/ha e uma eficiência do uso da água de 17,2 kg/ha/mm. Cunha et al. (1994a) realizaram trabalho semelhante na região Sul do Brasil, verificando que a eficiência de uso de água variou de 3,71 a 9,59 kg de MS/ha/mm, entre os diferentes cortes.

Em um experimento sobre pastejo rotacionado com alfafa, na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, os primeiros resultados mostram que a eficiência de uso da água variou de 9,6 kg MS/mm a 19,4 kg MS/mm, conforme se vê na Tabela 1.

**Tabela 1.** Produção de forragem em pasto de alfafa rotacionado e irrigado em São Carlos, SP.

Período	Massa de forragem (kg MS/ha)	Irrigação (mm)	Chuva (mm)	EUA
				(kg MS/mm)
13/8 a 12/9/2007	2053,3	146,0	---	14,1
20/8 a 19/9/2007	2145,3	165,9	---	12,9
24/8 a 25/9/2007	1668,8	172,5	2,2	9,6
2/9 a 2/10/2007	2194,4	155,9	2,2	13,9
10/9 a 10/10/2007	2019,7	199,1	2,2	10,0
17/9 a 17/10/2007	2161,1	114,7	3,2	18,3
29/9 a 29/10/2007	1969,1	101,9	54,4	12,6
3/10 a 2/11/2007	2026,2	101,9	55,6	12,9
9/10 a 8/11/2007	2870,7	74,3	125,6	14,4
22/10 a 21/11/2007	2752,4	21,2	199,8	12,5
29/10 a 28/11/2007	2957,0	36,1	150,6	15,8
6/11 a 6/12/2007	3012,3	38,2	117,2	19,4

### Métodos de medição ou estimativa do consumo de água

O aumento na produtividade de qualquer cultivo depende de certos fatores, tais como a genética, o clima, o solo, o manejo da cultura e da irrigação. Entre as dificuldades para expansão do cultivo da alfafa no Brasil está o desconhecimento da necessidade de irrigação da cultura no País (PAIM, 1994).

Há vários métodos de medir ou estimar o consumo de água de qualquer cultura, com métodos diretos e indiretos. Os principais métodos diretos são o gravimétrico e a lisimetria. Os principais métodos indiretos são as equações com dados meteorológicos e os evaporímetros.

### Gravimetria

A gravimetria, ou o método gravimétrico, consiste na pesagem de amostras de solo em períodos subseqüentes, na umidade atual e após secagem em estufa a 105 °C 110 °C (BERNARDO et al., 2006). A umidade do solo é calculada da seguinte forma:



$$U_a = \frac{Mu - Ms}{Ms} \quad (2)$$

em que,

U – umidade do solo, g água/g solo (ou simplesmente g/g)

Mu – massa de solo úmido, g

Ms – massa de solo seco, g

A partir do valor da umidade atual ( $U_a$ ), da umidade no ponto de murcha permanente ( $U_{pmp}$ ) e da densidade global do solo ( $dg$ ), calcula-se o armazenamento atual, ou capacidade de água disponível atual, em uma camada de solo ( $CAD_a$ ):

$$CAD_a = (U_a - U_{pmp}) \cdot dg \cdot 10 \cdot z \quad (3)$$

em que,

$CAD_a$  – capacidade de água disponível atual, mm

$U_a$  – umidade atual do solo, g/g

$dg$  – densidade global do solo, g/cm<sup>3</sup>

$z$  – profundidade da camada de solo, cm

A diferença entre os valores do armazenamento atual em períodos subseqüentes é o consumo de água da cultura.

Embora o método gravimétrico seja bastante preciso, sua utilização é difícil devido à necessidade de amostragens freqüentes. Não é recomendável para o manejo de irrigação em propriedades rurais, mas funciona bem para calibrar métodos de estimativa da evapotranspiração das culturas.

### Lisimetria

Lisímetros são tanques enterrados no solo, dentro dos quais se mede a evapotranspiração. É o método mais preciso para a determinação direta da evapotranspiração potencial de uma cultura (ETP), que é a evapotranspiração em condições de cultivo sem estresse hídrico (BERNARDO et al., 2006).

O lisímetro deve ser suficientemente largo para reduzir o efeito da sua parede interna sobre a evapotranspiração da cultura e, suficientemente profundo, para evitar a restrição do desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas nele. Bernardo et al. (2006) observam que a vegetação plantada dentro do lisímetro deve ser a mesma que a vegetação externa. A Fig. 2 mostra um lisímetro de pesagem, composto por um envoltório de placas de concreto, uma caixa d'água de PVC e um sistema de suporte com mecanismo de pesagem.

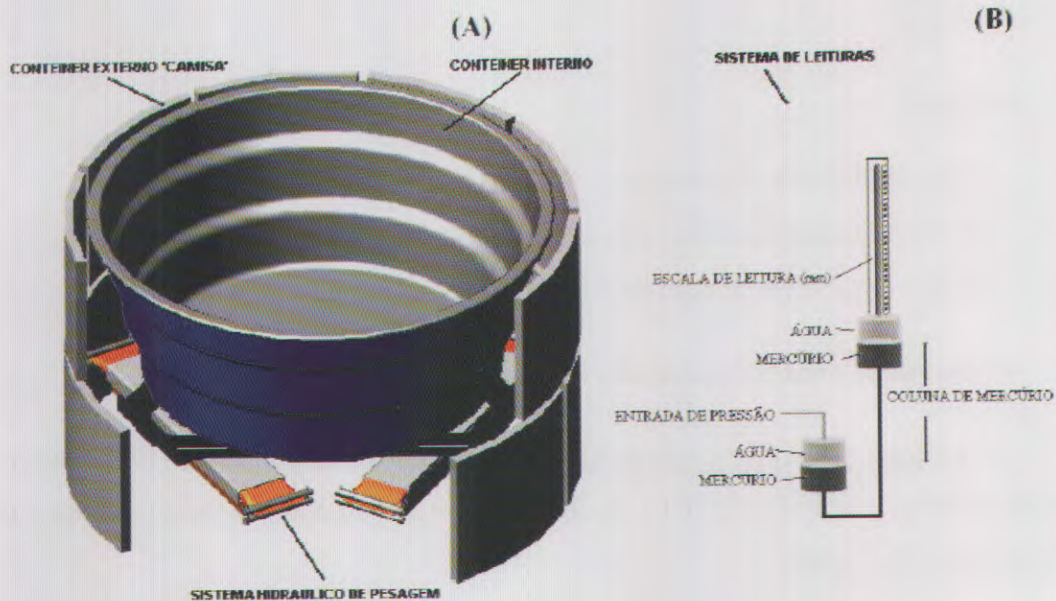


Fig. 2. Esquema de lisímetro de pesagem (A) com dispositivo hidráulico e sistema de leitura (B).

Fonte: Silva (2005).

Após o plantio e estabelecimento da cultura no lisímetro, as diferenças de peso que ocorrem referem-se, principalmente, às saídas ou entradas de água (evapotranspiração, chuva ou irrigação). Silva (2005) utilizou lisímetros de pesagem para medição da evapotranspiração do maracujazeiro, afirmando que esse tipo de equipamento apresenta qualidade e precisão dos resultados.

Entretanto, os lisímetros são equipamentos impróprios para manejo de irrigação em propriedades rurais, pois seu manejo é complexo. São equipamentos mais apropriados à pesquisa, usados para se calibrar métodos de estimativa de evapotranspiração.

### Métodos com equações e dados meteorológicos

É um método de estimativa da evapotranspiração a partir de dados meteorológicos e de equações desenvolvidas a partir de calibração com métodos diretos (principalmente lisimetria). Com as equações, calcula-se a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), que é o consumo de água de uma cultura usada como padrão (geralmente a grama Batatais, ou *Paspalum notatum*). Chega-se à evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) indiretamente, por meio de um coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que relaciona a evapotranspiração da cultura à evapotranspiração de referência. O  $K_c$  é calculado da seguinte forma:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (4)$$

em que,

Kc - coeficiente de cultura;

ETc - evapotranspiração da cultura (no caso, a alfafa), em mm/dia;

ETo - evapotranspiração de referência (grama Batatais), em mm/dia.

As equações mais utilizadas são citadas por Bernardo et al. (2006):

a) Método de Blaney-Criddle: desenvolvida por meio da relação entre valores mensais de evapotranspiração (ET), de temperatura média e percentagem mensal de horas anuais de luz solar.

$$ETo = c \cdot [(0,457 \cdot T + 8,13) \cdot P] \quad (5)$$

em que

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, mm/mês

T - temperatura média mensal, °C

P - percentagem mensal de horas anuais de luz solar, %

c - coeficientes regionais de ajuste da equação

Os valores de P variam em função da latitude e estão na Tabela 2. O valor de "c" varia em função das condições regionais de brilho solar, velocidade diurna do vento e umidade relativa mínima diurna. Seus valores são apresentados na Tabela 3.

Para se determinar a ETo mensal de uma cultura usando-se as Tabelas 2 e 3, é só verificar qual é a temperatura média mensal (Tm), a percentagem mensal de horas anuais de luz solar (P), a média mensal da umidade relativa mínima diurna do ar (UR<sub>min</sub>), a média mensal diurna da velocidade do vento a 2 m de altura do solo (U<sub>2</sub>) e a razão entre as horas de luz solar mensal atual e o fotoperíodo (n/N), de acordo com a região, e utilizar a Equação 5.

Para se calcular a ETo para todo o ciclo de uma cultura, basta somar os valores de ETo mensal dos meses que compõem seu ciclo.

Como esta equação foi desenvolvida para o cálculo da ETo mensal, deve-se evitar sua utilização no cálculo da ETo diária, pois é pouco precisa neste caso.

**Tabela 2.** Valores da percentagem mensal das horas anuais de luz solar (P) para latitudes sul de 0° a 40°, segundo Blaney-Criddele.

Lat. Sul	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0°	8,50	7,65	8,48	8,23	8,50	8,22	8,49	8,51	8,22	8,48	8,12	8,49
2°	8,57	7,70	8,49	8,20	8,43	8,16	8,42	8,45	8,21	8,51	8,29	8,57
4°	8,63	7,74	8,50	8,17	8,38	8,06	8,35	8,41	8,20	8,55	8,35	8,66
6°	8,69	7,79	8,51	8,13	8,32	7,98	8,27	8,37	8,20	8,58	8,42	8,74
8°	8,77	7,83	8,52	8,09	8,27	7,89	8,20	8,33	8,19	8,60	8,49	8,82
10°	8,82	7,88	8,53	8,06	8,20	7,82	8,14	8,23	8,18	8,63	8,56	8,90
12°	8,90	7,92	8,54	8,02	8,14	7,75	8,06	8,22	8,17	8,67	8,63	8,98
14°	8,98	7,98	8,55	7,99	8,06	7,68	7,96	8,18	8,16	8,69	8,70	9,07
16°	9,08	8,00	8,56	7,97	7,99	7,61	7,89	8,12	8,15	8,71	8,76	9,16
18°	9,17	8,04	8,57	7,94	7,95	7,52	7,79	8,08	8,13	8,75	8,83	8,23
20°	9,26	8,08	8,58	7,89	7,88	7,43	7,71	8,02	8,12	8,79	8,91	9,33
22°	9,35	8,12	8,59	7,86	7,75	7,33	7,62	7,95	8,11	8,83	8,97	9,42
24°	9,44	8,17	8,60	7,83	7,64	7,24	7,54	7,90	8,10	8,87	9,04	9,53
26°	9,55	8,22	8,63	7,81	7,56	7,14	7,46	7,84	8,10	8,91	9,15	9,66
28°	9,65	8,27	8,63	7,78	7,49	7,04	7,38	7,78	8,08	8,95	9,20	9,76
30°	9,75	8,32	8,64	7,73	7,44	6,93	7,28	7,70	8,07	8,99	9,26	9,88
32°	9,85	8,37	8,66	7,70	7,36	6,82	7,18	7,62	8,06	9,03	9,35	10,00
34°	9,96	8,43	8,67	7,65	7,25	6,70	7,08	7,55	8,05	9,07	9,44	10,14
36°	10,07	8,50	8,68	7,62	7,14	6,58	6,98	7,48	8,04	9,12	9,53	10,26
38°	10,18	8,56	8,69	7,58	7,06	6,46	6,87	7,41	8,03	9,15	9,62	10,39
40°	10,32	8,62	8,71	7,54	6,93	6,33	6,75	7,33	8,02	9,20	9,71	10,54

Fonte: Bernardo et al. (2006).

**Tabela 3.** Valores do coeficiente regional "c" em função do brilho solar direto (n/N), da velocidade do vento (Vv) e da umidade relativa mínima (UR<sub>min</sub>).

n/N	Vv (m/s)	UR <sub>min</sub> (%)		
		< 20 %	20 % - 50 %	> 50 %
Baixo ≤ 0,45	0 - 2	0,92	0,82	0,64
	2 - 5	1,06	0,91	0,72
	5 - 8	1,16	0,98	0,77
Médio 0,46 - 0,90	0 - 2	1,02	0,91	0,75
	2 - 5	1,19	1,06	0,83
	5 - 8	1,35	1,12	0,88
Alto > 0,90	0 - 2	1,14	1,02	0,83
	2 - 5	1,23	1,12	0,91
	5 - 8	1,49	1,24	0,97

Fonte: Bernardo et al. (2006).

b) Método de Thornthwaite: publicado em 1948, é um dos primeiros métodos desenvolvidos para estimar ETo. Baseia-se na relação empírica entre a ETo e a temperatura do ar, que expressa a energia disponível no ambiente. Este método foi

desenvolvido e testado em condições de clima úmido. Portanto, subestima os valores de ETo em condições de clima seco por não considerar o poder evaporante do ar.

O valor de ETo é obtido, em mm/mês, pela seguinte formulação (PEREIRA et al., 2001).

$$ET_{pd} = 16 \cdot \left( \frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \quad \text{para } 0 < T_m < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$ET_{pd} = -415,85 + 32,24 \cdot T_m - 0,43 \cdot T_m^2 \quad \text{para } T \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

em que

$ET_{pd}$  – evapotranspiração padronizada para um mês de 30 dias e para um fotoperíodo de 12 h, mm/mês

$T_m$  – temperatura média do mês,  $^\circ\text{C}$

“I” e “a” – índices de calor, obtidos a partir de dados climáticos normais regionais e determinados pelas seguintes expressões:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 \cdot T_{n_i})^{1,514} \quad (8)$$

$$I = 12 \cdot (0,2 \cdot T_a)^{1,514} \quad (9)$$

$$a = 0,49239 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 \quad (10)$$

em que

$T_{n_i}$  – Temperatura média normal do mês “i” (i = 1 a 12),  $^\circ\text{C}$

$T_a$  – Temperatura média anual normal (média histórica),  $^\circ\text{C}$

Após essa etapa, parte-se para o cálculo de ETo, corrigindo-se o valor de ETpd em função do número de dias (ND) e do fotoperíodo médio (N, vide Tabela 4) do mês em questão. Assim, a ETo mensal (mm/mês) é dada por:

$$ET_o = ET_{pd} \cdot \frac{ND}{30} \cdot \frac{N}{12} \quad (11)$$

No caso da determinação de ETo diária (mm/dia), basta determinar ETpd com a temperatura média do ar do dia e utilizar a seguinte formulação:

$$ET_{od} = \frac{ET_{pd}}{30} \cdot \frac{N}{12} \quad (12)$$

Resultados experimentais mostram que este método dá boas estimativas de ETo para condições de clima úmido (CAMARGO, 1962; CAMARGO e SENTELHAS, 1997; MEDEIROS, 1998). No entanto, sua eficácia é discutível em climas super-úmidos e semi-áridos (CAMARGO et al., 1999), necessitando de ajustes para tais condições. Utiliza-se a temperatura efetiva nos cálculos, que é uma correção da temperatura média anteriormente utilizada:

$$T_{ef} = 0,36 \cdot (3 \cdot T_{max} - T_{min}) \quad (13)$$

em que,

$T_{max}$  – temperatura máxima do ar, °C

$T_{min}$  – temperatura mínima do ar, °C

c) Método de Camargo: o método proposto por Camargo (1971) é uma simplificação do método de Thornthwaite (1948). Assim, apresenta as mesmas vantagens (utiliza apenas a temperatura média do ar) e desvantagens (não considera o poder evaporante do ar) que o método original, no qual ele se baseia. A vantagem adicional deste método em relação ao apresentado anteriormente é que não há necessidade do uso de dados normais (média histórica) de temperatura do ar. A ETo é estimada diretamente a partir da seguinte fórmula:

$$ETo = 0,01 \cdot Q_o \cdot T_m \cdot ND \quad (14)$$

em que,

$Q_o$  – irradiância solar no topo da atmosfera, expressa em mm de evaporação equivalente, conforme a Tabela 5.

d) Método de Priestley-Taylor (PRIESTLEY e TAYLOR, 1972): É uma simplificação do método original de Penman (1948). O cálculo de ETo é feito assim:

$$ETo = 1,26 \cdot W \cdot \frac{(Rn - G)}{\lambda} \quad (15)$$

em que,

$Rn$  – saldo de radiação, MJ/(m<sup>2</sup> . d)

$G$  – fluxo de calor no solo, MJ/(m<sup>2</sup> . d)

$\lambda$  – calor latente de evaporação;  $\lambda = 2,45$  MJ/(m<sup>2</sup> . d) a 20 °C

$W$  – fator de ponderação dependente da temperatura (T) e da umidade do ar

**Tabela 4.** Número máximo de horas de brilho solar (fotoperíodo – N) para o 15º dia de cada mês, para latitudes do Hemisfério Sul.

Lat. Sul	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0°	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
2°	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
4°	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
6°	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,6	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
8°	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
10°	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	12,0	12,2	12,5	12,6
12°	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	12,0	12,3	12,6	12,7
14°	12,7	12,4	12,1	11,7	11,3	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
16°	12,8	12,5	12,1	11,6	11,2	11,0	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
18°	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	12,9
20°	13,1	12,6	12,1	11,5	11,0	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
22°	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
24°	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,6	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
26°	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6
28°	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
30°	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9

Fonte: Miranda e Pires (2001).

**Tabela 5.** Irradiância solar extraterrestre ( $Q_0$ ), expressa em mm/d para o 15º dia de cada mês, para latitudes do Hemisfério Sul.

Lat. Sul	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0°	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2°	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4°	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6°	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8°	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10°	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12°	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14°	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16°	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18°	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20°	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22°	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24°	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26°	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28°	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30°	17,2	15,7	13,5	10,6	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

Fonte: Pereira et al. (2001).

$$\text{Para } 0 < T \leq 16 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad W = 0,407 + 0,0145 \cdot T \quad (16)$$

$$\text{Para } T > 16 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad W = 0,483 + 0,01 \cdot T \quad (17)$$

O valor de  $R_n$  pode ser medido por instrumentos meteorológicos, ou estimado por meio das seguintes equações:

$$R_n = \left\{ Q_g \cdot [(1-r)] + \left[ -4,903 \cdot 10^{-9} \cdot T^4 \cdot (0,34 - 0,14 \cdot ea^{0,5}) \cdot (0,1 + 0,9 \cdot n/N) \right] \right\} \quad (18)$$

em que,

$$R_n = Q_o \cdot (a + b \cdot n/N) \quad (19)$$

$$R_n = c \cdot Q_g \quad (20)$$

em que,

a, b e c – coeficientes estatísticos, dependentes do local (latitude e altitude), tipo de vegetação e época do ano;

$Q_g$  – irradiância solar global, MJ/(m<sup>2</sup> · d);

$Q_o$  – irradiância solar extraterrestre, MJ/(m<sup>2</sup> · d) (Ver Quadro 5)

T – temperatura do ar, em Kelvin (K = °C + 273)

ea – pressão atual de vapor d'água na atmosfera, kPa;

n – número efetivo de horas de brilho solar diário (insolação)

N – fotoperíodo ou número máximo de horas de brilho solar diário (Quadro 4).

Para as condições de Piracicaba, SP, os valores de a, b e c para estimativa de  $R_n$  em superfícies gramadas foram determinados por Ometto (1981) e Pereira et al. (1998), sendo:

$$a = 0,17 \text{ e } b = 0,22 \text{ (outubro-março)}$$

$$a = 0,15 \text{ e } b = 0,12 \text{ (abril-setembro)}$$

$$c = 0,574$$

Não se dispondo de medidas de G, esse valor poderá ser desprezado para a escala diária, ou ainda, estimado a partir da seguinte expressão (PEREIRA et al., 2001):

$$G = 0,38 \cdot (T_d - T_{3d}) \quad (21)$$

em que,

$T_d$  – temperatura média do ar no dia em questão, °C

$T_{3d}$  – temperatura média do ar nos três dias anteriores, °C



e) Método de Penman-Monteith (FAO): Penman (1948) combinou o balanço de energia com o método do transporte de massa e derivou uma equação para descrever a evaporação de superfícies de água livre, do solo e da vegetação, partindo de dados obtidos em estações meteorológicas (insolação, temperatura e umidade do ar, e velocidade do vento).

Esse método foi denominado “combinado” e, ao longo do tempo, foi adaptado para calcular a evapotranspiração de superfícies vegetadas por meio da introdução de fatores de resistência da planta à perda de água. Essas resistências foram genericamente denominadas “resistência de cobertura” ( $r_c$ ) e representam todo o conjunto de resistências das superfícies que atuam no processo. A  $r_c$  atua em série com a resistência do ar ( $r_a$ ). A  $r_c$  descreve as resistências ao fluxo de vapor exercidas pelos estômatos, pela cutícula e pelo solo, enquanto  $r_a$  representa a resistência ao transporte de vapor exercida pelo fluxo de ar, dependendo, portanto, da velocidade do vento.

A equação obtida com esse novo conceito de resistência da superfície foi apresentada por Monteith (1965) e foi adaptada por Allen et al. (1989) para a estimativa de  $ET_o$  na escala diária, sendo atualmente recomendada como padrão da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura), com a seguinte equação:

$$ET_o = \frac{\left\{ 0,408 \cdot s \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \left[ \frac{900}{(T_m + 273)} \right] \cdot U_{2m} \cdot (es - ea) \right\}}{[s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)]} \quad (22)$$

em que,

$s$  – taxa de variação da pressão de vapor d’água na atmosfera em função da temperatura do ar, kPa/ °C

$Rn$  – saldo de radiação, MJ/(m<sup>2</sup> . d)

$G$  – fluxo de calor no solo, MJ/(m<sup>2</sup> . d)

$\gamma$  – constante psicrométrica, kPa/ °C

$T_m$  – temperatura média do ar, °C

$U_2$  – velocidade do vento a 2m do solo, m/s

$es$  – pressão de saturação de vapor d’água na atmosfera, kPa

$ea$  – pressão atual de vapor d’água na atmosfera, kPa

As equações recomendadas para a obtenção das variáveis acima são:

$$s = (4098 \cdot es) / (T_m + 237,3)^2 \quad (23)$$

$$es = (es_{T_{max}} + es_{T_{min}}) / 2 \quad (24)$$

$$es_{T_{max}} = 0,6108 \cdot e \left[ \frac{(17,27 \cdot T_{max})}{(237,3 + T_{max})} \right] \quad (25)$$

$$es_{T_{min}} = 0,6108 \cdot e \left[ \frac{(17,27 \cdot T_{min})}{(237,3 + T_{min})} \right] \quad (26)$$

$$ea = (UR_m \cdot es) / 100 \quad (27)$$

$$UR_m = (UR_{max} + UR_{min}) / 2 \quad (28)$$

$$T_m = (T_{max} + T_{min}) / 2 \quad (29)$$

em que,

$T_{max}$  – temperatura máxima do ar, °C

$T_{min}$  – temperatura mínima do ar, °C

$UR_{max}$  – umidade relativa máxima do ar, °C

$UR_{min}$  – umidade relativa mínima do ar, °C

Os procedimentos de medida e estimativa de  $R_n$  são apresentados no método de Priestley-Taylor, enquanto a estimativa de  $G$  é apresentada na Equação 20.

Este método apresenta excelentes resultados (ALLEN et al., 1989, 1994 e 1998). No Brasil, seu emprego é bastante difundido nos meios acadêmicos, mas a falta de dados meteorológicos necessários ao seu emprego é problema para sua aplicação no meio agrícola.

f) Método do Tanque Classe A: Este método é baseado na proporcionalidade existente entre a evaporação do tanque Classe A e a  $E_{To}$ . Logicamente, devido às diferenças entre a superfície de água livre e a superfície de uma cultura, e entre os mecanismos de resistência ao transporte de água e vapor que atuam nesses dois meios, a quantidade de água transferida à atmosfera por evaporação (tanque Classe A) e evapotranspiração (cultura) difere significativamente, necessitando-se de um coeficiente de ajuste para converter a evaporação do tanque Classe A (ECA) em evapotranspiração. Esse coeficiente é denominado coeficiente de tanque, e é utilizado na seguinte fórmula:

$$E_{To} = ECA \cdot K_p \quad (30)$$

O valor de  $K_p$  é sempre menor que 1 e é função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar, do tipo e do tamanho da bordadura circunvizinha ao tanque. O valor de  $K_p$  depende da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e da bordadura (tipo e comprimento da cobertura do solo no entorno do tanque).

Os valores de  $K_p$  normalmente são apresentados na forma de tabelas (DOORENBOS e KASSAN, 1994; ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2001). No entanto, para facilitar a interpolação e o uso de sistemas informatizados, o  $K_p$  pode ser obtido pelas seguintes equações apresentadas por Allen et al. (1998):

Bordadura vegetada (grama):

$$K_p = 0,108 - 0,0286 \cdot U_2 + 0,0422 \cdot \ln(B) + 0,1434 \cdot \ln(UR_m) - 0,00063 \cdot [\ln(B)]^2 \cdot \ln(UR_m) \quad (31)$$

Bordadura sem vegetação:

$$K_p = 0,61 + 0,00341UR_m - 0,000162U_2 \cdot UR_m - 0,00000959U_2 \cdot B + 0,00327U_2 \cdot \ln(B) - 0,00289U_2 \cdot \ln(86,4U_2) - 0,0106 \ln(86,4U_2) \cdot \ln(B) + 0,00063 [\ln(B)]^2 \cdot \ln(86,4U_2) \quad (32)$$

em que,

$U_2$  – velocidade média do vento a 2 m de altura do solo, m/s

$B$  – extensão da bordadura, m

$UR_m$  – umidade relativa média do ar, %

\* Atenção aos limites das equações 30 e 31, que são:

$U_2$  entre 1 e 8 m/s

$B$  entre 1 e 1000 m

$UR_m$  entre 30 e 84 %

## Manejo da irrigação

A suplementação hídrica por irrigação é uma das técnicas que podem ser adotadas para se minimizar os efeitos do déficit hídrico. Na maioria dos casos, os custos são elevados, e o acréscimo desejado e necessário na produtividade pode não ser atingido, comprometendo os resultados desejados pelo produtor. Isto pode ser atribuído, em grande parte, à falta de informações e ao conseqüente manejo inadequado da irrigação, principalmente com relação à quantidade de água e ao momento de aplicação.

Grande parte dos estudos de irrigação em alfafa foi conduzida em regiões de clima temperado ou subtropical, portanto há necessidade de experimentos sobre consumo de água e sua relação com os aspectos produtivos para a cultura em regiões de clima tropical, visando a adaptação tecnológica para cultivos nessas regiões.

Para um manejo correto da irrigação, é necessário conhecer as exigências hídricas da cultura no local e as características dos métodos e dos sistemas de irrigação utilizados, levando-se em conta os mais eficazes e de menor custo possível, objetivando maximizar o retorno econômico.

Conforme Rassini et al. (2007b), as necessidades hídricas da alfafa estão em torno de 800 mm/ano a 1.600 mm/ano, dependendo do clima e do crescimento da planta. Em cada ciclo de crescimento e corte, há uma variação no consumo de água (evapotranspiração) proporcional à área foliar da planta.

No manejo da irrigação, essa variação do consumo é representada pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que é a razão entre a evapotranspiração da alfafa ( $ET_c$ ) e a evapotranspiração da cultura de referência ( $ET_o$ ), no caso a grama Batatais.

Os valores de  $K_c$  ficam por volta de 0,4 após o corte, aumentando para 1,05 a 1,2 imediatamente antes do próximo corte (forragem), ou até a metade da floração (produção de sementes). Neste caso, o valor de  $K_c$  se reduz bruscamente após este período (DOORENBOS e PRUITT, 1977).

O manejo da irrigação é um recurso para racionalizar a aplicação complementar de água às culturas. Requer certos procedimentos para que os resultados sejam satisfatórios, tais como a estimativa ou medição da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ , em mm/dia), a capacidade de armazenamento de água do solo (CAD, em mm) e a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação ( $T_a$ , em mm/h).

A lâmina de água de irrigação deve repor o consumo dentro de um período de tempo, que é determinado pela capacidade de armazenamento e disponibilização de água do solo. Para isto, é feita uma análise prévia com o balanço hídrico, a fim de se descobrirem os desequilíbrios entre a oferta e a demanda de água no sistema de produção. Por exemplo:

Máxima demanda de água da cultura: 4,5 mm/dia

CAD<sup>1</sup> (prof. 50 cm): 32 mm

AFD<sup>2</sup> (prof. 50 cm): 16 mm

Turno de rega:  $16 \div 4 = 4$  dias

<sup>1</sup> Capacidade de Água Disponível, ou máximo armazenamento de água no solo.

<sup>2</sup> Água Facilmente Disponível; é a parte da CAD que as plantas conseguem absorver sem sofrer estresse hídrico.

Portanto, o sistema de irrigação utilizado nessa área deverá ter a capacidade de cobrir toda a área num período de 4 dias, em condições de consumo máximo.

Ocorre, porém, que nem sempre o consumo é máximo. É necessário medir o consumo para se determinar qual a lâmina d'água de irrigação e se evitar o desperdício. Método EPS para manejo de irrigação.

Geralmente, o produtor rural tem dificuldade de determinar a evapotranspiração das plantas. Há diversos métodos desenvolvidos com esta finalidade, mas eles necessitam de várias fórmulas e muitos parâmetros climáticos, a maioria delas pouco acessível ao produtor rural. Isto tem levado os irrigantes a cometer um grande erro do ponto de vista técnico, econômico e ecológico, que é a aplicação de água em quantidade predeterminada e num intervalo de tempo também predeterminado. Por exemplo, a aplicação de 15 mm a cada 3 dias, ou de 30 mm a cada 6 dias.

Como o clima muda constantemente, se o intervalo de tempo entre irrigações (turno de rega) for fixo, a lâmina d'água será variável; e se a lâmina d'água de irrigação for prefixada, o turno de rega será variável.

Para se evitar a prática incorreta de turno de rega prefixado e lâmina d'água diária prefixada, foi desenvolvido o método EPS de manejo de irrigação (Evaporação - Planta - Solo). O método é prático e, principalmente, fácil de usar. Apesar de ser empírico, como diversos outros métodos, envolve apenas dois parâmetros climáticos: evaporação de água e precipitação pluvial (chuva). Esses dois parâmetros respondem por mais de 90 % da demanda hídrica das plantas.

No Método EPS, a evaporação de água pode ser medida com o tanque Classe A ou com o evaporímetro de Piché, e a precipitação pluvial é medida com o pluviômetro (Fig. 3).

Princípio de operação do manejo EPS: quando a diferença entre a evaporação do tanque Classe A e a precipitação pluvial (ECA - PRP) atingir valores entre 20 mm e 30 mm, deve-se proceder à irrigação. A mesma regra vale para a diferença entre a evaporação do Piché e a precipitação pluvial (EPi - PRP).

A quantidade de água a aplicar varia de acordo com a planta forrageira, mas há uma relação entre a evaporação de água (ECA ou EPi) e a evapotranspiração da cultura (ETc). Um trabalho de pesquisa conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste indicou que, para alfafa, a relação é:  $ETc = 0,72 \times ECA$  (ou  $ETc = 0,72 \times EPi$ ). Portanto, para cada 100 mm de ECA ou EPi, tem-se uma evapotranspiração de 72 mm na alfafa.

Em sistemas com lâmina d'água fixa, o turno de rega é variável. Inicia-se a irrigação quando a diferença (ECA – PRP ou EPI – PRP) atingir valores entre 20 mm e 30 mm, o que ocorre em intervalos irregulares de tempo. Na Tabela 6, há um exemplo de manejo com lâmina fixa e turno de rega variável.



**Fig. 3.** (A) Tanque Classe A e pluviômetro, utilizados no manejo de irrigação (método EPS); (B) Evaporímetro de Piché, que pode ser utilizado em substituição ao tanque do tipo classe A.

Fotos: Joaquim Bartolomeu Rassini e Fernando Campos Mendonça.

Em sistemas com turno de rega fixo, a lâmina d'água de irrigação é variável. Para se decidir irrigar ou não, calcula-se a diferença (ECA - PRP, ou EPI - PRP) acumulada durante o turno de rega para se verificar se foi atingido um valor mínimo. A irrigação será feita se a diferença atingir valores entre 15 mm e 20 mm ao fim do turno. Senão, acumula-se a diferença por mais um turno. Na Tabela 7, há um exemplo de manejo com turno fixo e lâmina variável.

Especificamente para a alfafa, devem ser feitas duas considerações quanto ao manejo da irrigação:

a) Não se deve irrigar a cultura imediatamente antes do corte ou do pastejo, pois o umedecimento da camada superficial do solo nesse momento dificulta a colheita de forragem e predispõe ao aparecimento de "mofo" no material colhido (no caso de corte) ou à compactação do solo (no caso de pastejo).

b) Durante a instalação do alfafal e o início do desenvolvimento da planta (diferenciação foliar), irrigações muito freqüentes podem ser prejudiciais, provocando o crescimento superficial do sistema radicular. Recomenda-se que a planta tenha um ligeiro déficit hídrico por 5 a 7 dias nessa fase, para forçar o desenvolvimento de um sistema radicular profundo.

**Tabela 6.** Lâmina d'água fixa e turno de rega variável (com tanque Classe A<sup>(1)</sup>).

Dia	ECA	PRP	ECA - PRP	Irrigação	
				Sim / Não	(mm)
1	4,5	---	4,5	N	---
2	4,8	---	9,3	N	---
3	4,2	---	13,5	N	---
4	4,7	---	18,2	N	---
5	4,5	3,0	19,7	N	---
<b>6</b>	<b>5,0</b>	---	<b>24,7</b>	<b>S</b>	<b>17,8</b> <b>(24,7 x 0,72 = 17,8)</b>
7	5,5	---	5,5 <sup>(2)</sup>	N	---
8	5,9	---	11,4	N	---
9	6,1	---	17,5	N	---
<b>10</b>	<b>6,3</b>	---	<b>23,8</b>	<b>S</b>	<b>17,1</b> <b>(23,8 x 0,72 = 17,1)</b>

<sup>(1)</sup> Pode-se utilizar o tanque Classe A ou o evaporímetro de Piché.

<sup>(2)</sup> A diferença é zerada sempre que for feita a irrigação.

**Tabela 7.** Turno de rega fixo e lâmina d'água variável (com evaporímetro de Piché<sup>(1)</sup>).

Dia	ECA	PRP	EPI - PRP	Irrigação	
				Sim / Não	(mm)
1	4,1	---	---	---	---
2	4,8	---	---	---	---
3	4,2	5,0	---	---	---
4	4,3	---	---	---	---
5	5,1	3,0	---	---	---
<b>Acumulado (1 a 5)</b>	<b>22,5</b>	<b>8,0</b>	<b>14,5</b> <b>(22,5 - 8,0 = 14,5)</b>	<b>Não</b>	---
6	5,0	---	---	---	---
7	4,2	---	---	---	---
8	4,1	---	---	---	---
9	3,9	---	---	---	---
10	4,1	---	---	---	---
<b>Acumulado (1 a 10)</b>	<b>21,3</b>	---	<b>35,8</b> <b>(14,5 + 21,3 - 0 = 35,8)</b>	<b>Sim</b>	<b>25,8</b> <b>(35,8 x 0,72 = 25,8)</b>

<sup>(1)</sup> Pode-se utilizar o tanque Classe A ou o evaporímetro de Piché.

### Sistemas de irrigação

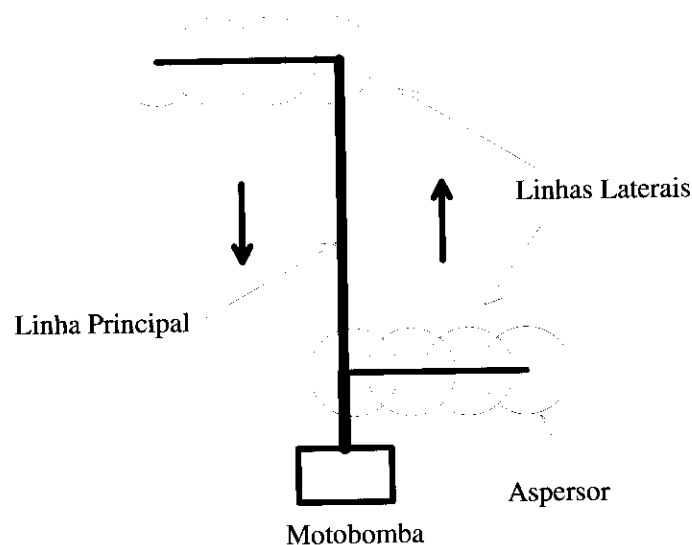
Na cultura da alfafa, podem ser utilizados sistemas de irrigação por superfície ou por aspersão. Apesar de ser um método simples, geralmente a irrigação por superfície implica na sistematização do terreno e é mais utilizada no cultivo de arroz irrigado. Portanto, apesar de poder ser utilizado, não é o tipo de sistema mais comum na cultura da alfafa.

Os sistemas de irrigação por aspersão são compostos, basicamente, por aspersores, tubos e conexões, e pelo conjunto motobomba. A água é captada pelo conjunto motobomba e chega aos aspersores através da tubulação (tubos e conexões), que pode ser de aço zincado, alumínio, PVC ou polietileno (PE).

Os sistemas de irrigação por aspersão utilizados na cultura da alfafa são: aspersão convencional, aspersão em malha, pivô central e autopropelido.

Nos sistemas de irrigação por aspersão convencional (Fig. 4), geralmente são colocados vários aspersores em uma mesma "linha lateral" (tubulação onde estão instalados os aspersores). Os sistemas de aspersão convencional são divididos em 3 tipos:

- a) portátil: todas as partes são móveis, inclusive o conjunto motobomba; são mais utilizados em cultivos itinerantes (batata, tomate e outros);
- b) semi-portátil: conjunto motobomba e linha principal fixos, e linhas laterais móveis;
- c) fixo: todas as partes fixas, inclusive linhas laterais.



**Fig. 4.** Sistema de irrigação por aspersão convencional.

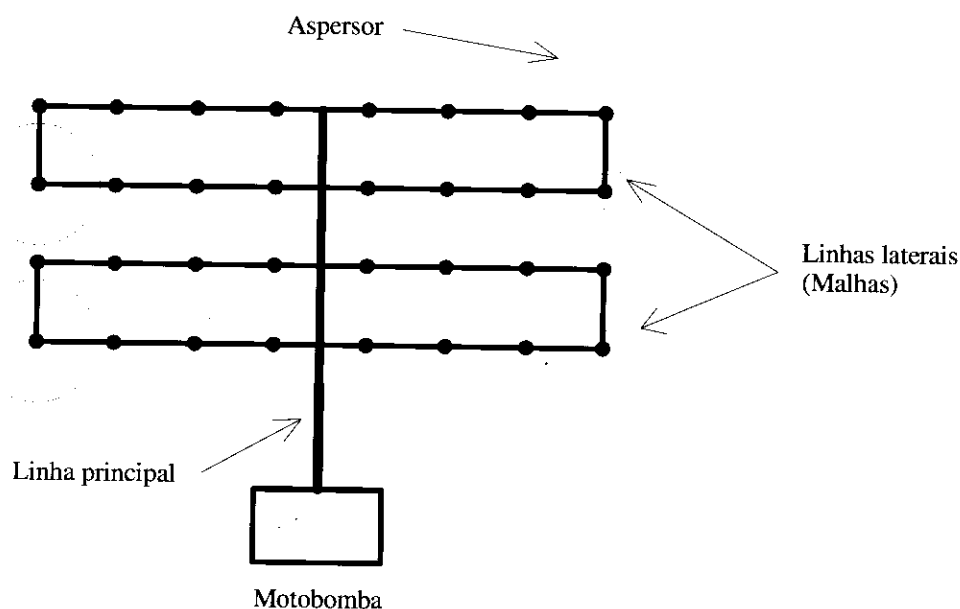
Fonte: Rassini et al. (2007b).

Os sistemas de aspersão convencional portáteis e semi-portáteis têm baixo custo de aquisição, por volta de R\$ 1.500,00 a R\$ 2.500,00 por hectare (a preços do ano 2007). Entretanto, apresentam maiores custos de manutenção (5 % do preço de aquisição) e de operação (mão-de-obra + energia), devido à constante movimentação das tubulações e dos aspersores e à maior potência da motobomba por hectare irrigado (3 cv/ha a 8 cv/ha).



Dentro da aspersão convencional, também há o sistema denominado canhão hidráulico, que funciona com aspersor único, utilizado de forma portátil e instalado sobre linhas laterais. São utilizados aspersores de grande porte, que geralmente operam com pressões de 40 mca<sup>3</sup> a 100 mca, raio molhado de 30 m a 80 m e vazão de 30 m<sup>3</sup>/h a 100 m<sup>3</sup>/h. Esses sistemas apresentam alto custo de operação, devido à necessidade de motobombas de grande potência. Além disso, produzem gotas d'água grandes, que podem prejudicar a cultura da alfafa. Por isso, não têm sido muito utilizados na irrigação dessa cultura.

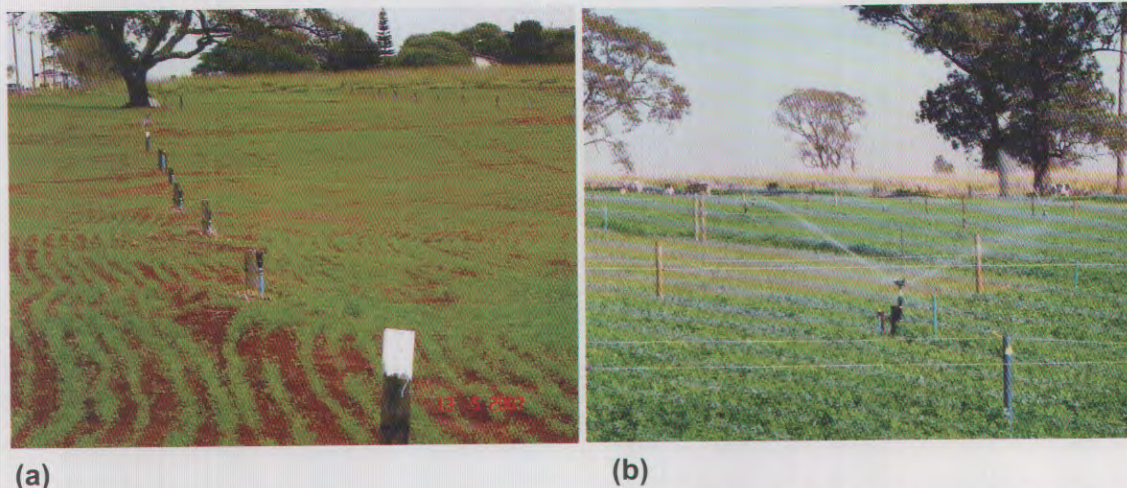
Há cerca de 10 anos tem-se popularizado o sistema de aspersão em malha, devido à sua praticidade operacional. É um sistema de aspersão fixo, cujas linhas laterais são chamadas de "malhas" e no qual só os aspersores mudam posição. Coloca-se apenas um aspersor por malha (Fig. 5 e 6), para que a vazão do mesmo venha pelos dois lados da malha e seja possível utilizar tubos de pequeno diâmetro (geralmente 25 mm ou 32 mm).



**Fig. 5.** Sistema de irrigação por aspersão em malha.

Fonte: Rassini et al. (2007b).

<sup>3</sup> metros de coluna de água.



**Fig. 6.** Sistema de aspersão em malha: (a) alfafal recém-implantada; (b) alfafal em pleno pastejo rotacionado.

Fotos: Fernando Campos Mendonça e Reinaldo de Paula Ferreira.

Os sistemas de aspersão em malha apresentam custos de aquisição em torno de R\$ 2.200,00 a R\$ 3.200,00 por hectare. Apresentam baixo custo de manutenção (3 % do preço de aquisição) e de operação (mão-de-obra + energia), devido à ausência de movimento da tubulação e à menor potência por hectare irrigado (1 cv/ha a 4 cv/ha).

O pivô central (Fig. 7) é mais utilizado em áreas maiores, acima de 40 ha. É constituído por várias torres triangulares cujo número depende do tamanho da área irrigada, que sustentam uma linha lateral aérea, na qual estão os aspersores do pivô (*sprays*). Os *sprays* são de baixa pressão (10 mca a 14 mca). Por isso, o sistema tem motobomba com média potência por hectare irrigado (3 cv/ha a 6 cv/ha). A linha lateral do pivô central recebe água de uma adutora subterrânea, que vai da motobomba ao centro da área irrigada ("ponto do pivô"). O pivô irriga uma área circular e se move por meio de motores elétricos instalados em suas torres.



**Fig. 7.** Pivô central - ponto do pivô, torres e *sprays* ("aspersores").  
Fotos: Fernando Campos Mendonça.

Pivôs centrais apresentam alto custo de instalações, e é por isso que são economicamente mais interessantes em grandes áreas, onde os custos de instalação podem ser divididos por uma área irrigada maior. De modo geral, os custos de instalação de um pivô giram em torno de R\$ 3.000,00 a R\$ 5.000,00 por hectare e seus custos de manutenção são equiparáveis aos da aspersão convencional. Entretanto, seus custos de operação (energia e mão-de-obra) são baixos, pois têm baixa relação potência/área, e um operador consegue operar, facilmente, áreas de até 300 ha.

### Considerações finais

O manejo de irrigação de qualquer cultura inclui o manejo da água (entradas e saídas) e do equipamento (sistema de irrigação). A irrigação adequada só é possível com um bom sistema e um bom método de monitoramento do consumo de água, e para isto é fundamental ter um bom projeto e fazer a manutenção constante dos equipamentos.

A estimativa do consumo de água pela cultura da alfafa é mais interessante que sua medição direta, porém é necessário fazer a calibração dos métodos indiretos por meio de pesquisas de âmbito regional, para acerto do manejo da irrigação.

O método EPS de manejo apresenta a vantagem de ser simples e utilizar poucos dados para o cálculo da lâmina d'água de irrigação. É possível que um refinamento do método melhore ainda mais os resultados obtidos com sua utilização.

Sugerem-se as seguintes linhas de pesquisa com relação ao manejo de irrigação:

- a) Necessidades hídricas da alfafa para produção de forragem e de sementes;
- b) Irrigação com déficit para aumento da área total irrigada;
- c) Determinação da profundidade ótima do solo para o manejo de água em solos tropicais;
- d) Determinação de coeficientes de correlação entre evaporação do evaporímetro de Piché e evapotranspiração da alfafa, na produção de sementes e nas diversas fases do crescimento vegetativo, em pastejo rotacionado.

## Referências

ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43, n. 2, p. 35-90, 1994.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Bull., 56).

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A. Época de plantio de alfafa (*Medicago sativa*) na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 510-521, 1995.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 625 p.

BULA, R. J. Morphological characteristics of alfalfa grown at several temperatures. **Crop Science**, Madison, v. 12, n. 4, p. 683-686, 1972.

BRASIL. Ministério da Irrigação. Programa Nacional de Irrigação. **Tempo de irrigar**: Manual do irrigante. São Paulo: Matter. 1987. 160 p.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 163-213, 1962.

CAMARGO, A. P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1971. 24 p. (Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim Técnico, 116).

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CUNHA, G. R. da; PAULA, J. R. F. de; BERGAMASCHI, H.; SAIBRO, J. C. de; BERLATO, M. A. Evapotranspiração e eficiência no uso da água em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 23-27, 1994.

DELANEY, R. H.; DOBRENZ, A. K.; POOLE, H. T. Seasonal variation in photosynthesis, respiration, and growth components of nondormant alfalfa (*Medicago sativa*). **Crop Science**, Madison, v. 14, n. 1, p. 58-61, 1974.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de água de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194 p. (FAO. Riego y Drenaje, 24).

- FIELD, T. R. O.; PEARSON, C. J.; HUNT, L. A. Effects of temperature on the growth and development of alfalfa. **Herbage Abstract**, Farnham Royal, v. 46, n. 4, p. 145-150, 1976.
- GUITJENS, J. C. Alfalfa. In: STEWART, B.; NIELSEN, D. (Ed.). **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 1990. p. 537-568.
- HEICHEL, G. H. Alfalfa. In: TEARE, I. D.; PEET, M.M. **Crop-water relations**. New York: John Wiley, 1983. cap. 4, p.128-155.
- MEDEIROS, S. L. P. Avaliação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 105. 1998.
- MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.) **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: SYMPOSIA OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY. **Proceedings...** Cambridge: University Press, v. 19, p. 205-234, 1965.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Ceres, 1981. 440 p.
- PAIM, N. R. Utilização e melhoramento da alfafa. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DE ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1994, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 1994. p. 141-147.
- PAULA, D. P.; SILVA C. R. **Necessidades hídricas, métodos de irrigação e aspectos econômicos da cultura de alfafa**. Ilha Solteira: FEIS, UNESP, 1998. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/alfafa.htm>>. Acesso em 7 ago. 2008.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society-Series A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; VILLA NOVA, N. A. Estimativa do balanço de energia radiante em função de elementos climáticos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 201-206, 1998.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2001. 480 p.
- PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 100, p. 81-92, 1972.
- RASSINI, J. B. Manejo de água de irrigação para alfafa ( *Medicago sativa* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 1681-1688, 2001.
- RASSINI, J. B.; BERNARDI, A. C. de C.; FERREIRA, R. de P.; MOREIRA, A. Manejo de adubação potássica para a cultura da alfafa. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., Jaboticabal, SP. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, UNESP, 2007a.
- RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. de P.; MOREIRA, A.; TUPY, O.; MENDONÇA, F. C.; BERNARDI, A. C. de C. **Cultivo da alfafa**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007b. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Alfafa/SistemaProducaoAlfafa\\_2ed/index.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Alfafa/SistemaProducaoAlfafa_2ed/index.htm)>. Acesso em: 24 mar. 2008.

SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; SAUNDERS, L. D.; KLAUTZER, J. Alfalfa seed yield and quality. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 992-998, 2007.

SILVA, T. J. A. **Evapotransplração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do balanço de radiação e llsimetria de pesagem hidráulca**. 2005. 99 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – ESALQ, USP, Piracicaba, SP.

TAYLOR, A. J.; MARBLE V. L. Lucerne irrigation and soil water use during bloom and seed set on a red-brown earth in south eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 26, p. 577-581, 1986.

THORNTWHAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate, **Geography Review**, Sheffield, v. 38, p. 55-94, 1948.

WRIGHT, J. L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in southern Idaho. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 4, p. 662-669, 1988.

