

**RICARDO GAVA**

**EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO SOB DIFERENTES TAXAS  
DE COBERTURA COM RESÍDUOS VEGETAIS**

**MARINGÁ  
PARANÁ - BRASIL  
JULHO - 2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

RICARDO GAVA

EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO SOB DIFERENTES TAXAS DE  
COBERTURA COM RESÍDUOS VEGETAIS

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Maringá,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, área de Produção  
Vegetal, para a obtenção do título de  
Mestre.

Maringá  
Paraná - Brasil  
Julho – 2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

G279e Gava, Ricardo, 1986-  
Evaporação da água do solo sob diferentes taxas de  
cobertura com resíduos vegetais. / Ricardo Gava. --  
Maringá, 2010.  
47 f. : il. color., figs., tabs., retrs.

Orientador : Prof. Dr. Paulo S. L. de Freitas.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Maringá, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área  
de concentração: Produção Vegetal, 2010.

1. Evaporação da água - Cobertura morta. 2.  
Evaporação da água - Palha de trigo. 3. Evaporação da  
água - Solo. 4. Evaporação da água - Resíduos  
vegetais. 5. Evaporação da água - Solo - Londrina,  
PR. I. Freitas, Paulo S. L., orient. II. Universidade  
Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. Área de Concentração: Produção Vegetal.  
III. Título.

CDD 21.ed. 630.2515

RICARDO GAVA

**EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO SOB DIFERENTES TAXAS DE  
COBERTURA COM RESÍDUOS VEGETAIS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Maringá,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, área de Produção  
Vegetal, para a obtenção do título de  
Mestre.

APROVADA em 05 de julho de 2010.

---

**Dr. Rogério Teixeira de Faria**

---

**Prof. Dr. Roberto Rezende**

---

**Prof. Dr. Antonio C. A. Gonçalves**

---

**Prof. Dr. Paulo S. L. de Freitas**  
(Orientador)

A MEUS PAIS

ORLANDO GILBERTO GAVA E MARIA ROSA VATTOS GAVA

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, sabedoria, por colocar pessoas boas em meu caminho e por ser o refúgio mais certo nas horas difíceis;

### AGRADEÇO IMENSAMENTE

Aos meus pais, por me mostrarem a importância do estudo mesmo sem eles terem a oportunidade de estudar, me proporcionando a educação necessária para fazer as escolhas corretas e, em meio a tantas dificuldades, me ofereceram apoio moral, financeiro e principalmente o amor incondicional;

A minha irmã e meus tios, por tantos conselhos que me ajudaram nessa realização;

A minha namorada, por estar sempre ao meu lado mesmo quando minhas decisões não nos eram as mais favoráveis, pelo apoio, palavras de carinho, pela verdadeira amizade acima de tudo;

Ao professor Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, que não só orientou esse trabalho, mas orientou toda uma carreira acadêmica para chegar até aqui. Obrigado por sua paciência antes de tudo;

Ao Dr. Rogério Teixeira de Faria, por orientar e propor a pesquisa juntamente com o Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR em Londrina,

fornecendo estrutura, equipamentos e funcionários que resultaram na qualidade do trabalho;

À Universidade Estadual de Maringá – UEM, pela oportunidade de adquirir maior conhecimento científico, e a todos os professores que se dedicam aos avanços da pesquisa, ciência e tecnologia;

À Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná, pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual se tornaria praticamente impossível a conclusão dessa pesquisa;

Em fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram desta etapa da minha vida, ajudando, apoiando e também criticando, pois é através das críticas que melhoramos como pessoas e como profissionais.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**RICARDO GAVA**, filho de Orlando Gilberto Gava e Maria Rosa Vattos Gava, nascido em Cândido Mota, Estado de São Paulo, em 11 de dezembro de 1986.

Em dezembro de 2003, concluiu o ensino médio na cidade de Assis, Estado de São Paulo.

Em abril de 2004, iniciou o curso de Engenharia Agrícola, na Universidade Estadual de Maringá (UEM), campus do Arenito, Cidade Gaúcha, Estado do Paraná.

Participou e organizou diversos eventos técnicos científicos e, sendo sempre um membro participante da comunidade acadêmica representando os alunos, foi presidente do Centro Acadêmico de Engenharia Agrícola.

Em janeiro de 2009, diplomou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), campus do Arenito, Cidade Gaúcha, Estado do Paraná.

Em março de 2009, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Estado do Paraná.

Em outubro de 2009, recebeu o prêmio de 1º lugar no Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, em Maringá, Estado do Paraná.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>03</b>
<b>2.1 Evaporação .....</b>	<b>03</b>
<b>2.2 Plantio direto .....</b>	<b>05</b>
<b>2.3 Lisímetros de precisão .....</b>	<b>09</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Localização da área .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Experimento com diferentes taxas de palha de trigo .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Experimento com diferentes frações de cobertura do solo .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4 Experimento de retenção de água pela palha de trigo .....</b>	<b>16</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1 Evaporação com diferentes taxas de palha de trigo.....</b>	<b>18</b>
4.1.1 Coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) .....	24
<b>4.2 Evaporação com diferentes frações de cobertura do solo.....</b>	<b>26</b>
4.2.1 Coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) .....	32
<b>4.3 Retenção de água pela palha de trigo .....</b>	<b>33</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01.</b> Valores de $K_e$ sob quatro taxas de palha de trigo .....	25
<b>Quadro 02.</b> Valores de $K_e$ sob cinco frações de cobertura do solo .....	32
<b>Quadro 03.</b> Umidade de palha de trigo em condições naturais de campo (massa úmida) e de umidade máxima de retenção .....	33
<b>Quadro 04.</b> Valores diários de evaporação da água do solo sob quatro taxas de palha de trigo em dois períodos de observações .....	41
<b>Quadro 05.</b> Valores acumulados de evaporação da água do solo sob quadro taxas de palha de trigo em dois períodos de observações .....	42
<b>Quadro 06.</b> Redução da evaporação por cobertura morta no PT1 .....	43
<b>Quadro 07.</b> Redução da evaporação por cobertura morta no PT2 .....	43
<b>Quadro 08.</b> Valores diários de evaporação da água do solo nos dois períodos observados sob cinco frações de cobertura do solo .....	45
<b>Quadro 09.</b> Valores acumulados de evaporação da água do solo nos dois períodos observados sob cinco frações de cobertura do solo .....	46
<b>Quadro 10.</b> Redução da evaporação por cobertura morta no PF1 .....	47
<b>Quadro 11.</b> Redução da evaporação por cobertura morta no PF2 .....	47

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b> Localização da área experimental (A) e lisímetro com grama (B) ....	13
<b>Figura 02.</b> Lisímetro contendo solo descoberto (A); diferentes taxas de palha de trigo, 2,5 t ha <sup>-1</sup> (B); 5 t ha <sup>-1</sup> (C); e 10 t ha <sup>-1</sup> (D) .....	15
<b>Figura 03.</b> Distribuição de palha de trigo simulando 25, 50, 75 e 100% de cobertura da superfície do solo.....	16
<b>Figura 04.</b> Evaporação da água do solo no PT1 .....	18
<b>Figura 05.</b> Evaporação da água do solo no PT2 .....	20
<b>Figura 06.</b> Evaporação acumulada no PT1 .....	22
<b>Figura 07.</b> Evaporação acumulada no PT1 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto .....	23
<b>Figura 08.</b> Evaporação acumulada no PT2.....	23
<b>Figura 09.</b> Evaporação acumulada no PT2 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto .....	24
<b>Figura 10.</b> Evaporação da água do solo no PF1.....	26
<b>Figura 11.</b> Evaporação da água do solo no PF2.....	28
<b>Figura 12.</b> Evaporação acumulada da água do solo no PF1 .....	29
<b>Figura 13.</b> Evaporação acumulada no PF1 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto .....	30
<b>Figura 14.</b> Evaporação acumulada da água do solo no PF2.....	31
<b>Figura 15.</b> Evaporação acumulada no PF2 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto .....	31
<b>Figura 16.</b> Lâmina de água retida em diferentes taxas de palha de trigo.....	34
<b>Figura 17.</b> Coeficiente de evaporação no PT1 .....	44
<b>Figura 18.</b> Coeficiente de evaporação no PT2.....	44
<b>Figura 19.</b> Coeficiente de evaporação no PF1 .....	48
<b>Figura 20.</b> Coeficiente de evaporação no PF2.....	48

## RESUMO

GAVA, Ricardo. M.S. Universidade Estadual de Maringá, julho de 2010. **EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO SOB DIFERENTES TAXAS DE COBERTURA COM RESÍDUOS VEGETAIS.** Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

O presente estudo foi realizado no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), em Londrina, Estado do Paraná, (latitude de 23°18`S, longitude de 51°09`O e altitude média de 585 m). O clima de Londrina, segundo a classificação do Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período de inverno. Determinou-se a evaporação da água do solo (E) sob diferentes taxas de cobertura com resíduos vegetais. Os tratamentos foram instalados em lisímetros de pesagem de 2,66 m<sup>2</sup> e 1,3 m de profundidade, que permitem determinar E por diferença de massa com precisão equivalente a 0,1 mm em intervalos de uma hora. Os períodos observados foram de aproximadamente 30 dias, sendo dois períodos com diferentes taxas e dois períodos com diferentes frações de cobertura. Para determinar E sob diferentes taxas de cobertura, utilizou-se 0, 2,5, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de trigo, colocadas de forma homogênea em cada lisímetro. Já para determinar E com diferentes frações de cobertura, fixou-se a quantidade equivalente a 5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de trigo, distribuindo-a em, 25, 50, 75 e 100% de cobertura do solo. Foi realizado um teste de retenção de água pela palha, no Laboratório de Engenharia Agrícola do IAPAR, para determinar a quantidade máxima de água retida pela palha de trigo, pesando-se três amostras de palha coletadas ao acaso em uma lavoura de trigo, em três condições de umidade: seca ao sol, umedecida com água, e seca em estufa. Com diferentes taxas, no período de 22 de setembro a 20 de outubro de 2008 (PT1), a redução de E em relação ao solo descoberto foi de 4, 15 e 24%, enquanto que, no período de 1 a 30 de dezembro de 2008 (PT2), a redução foi de 15, 22 e 25%, respectivamente, para os tratamentos 2,5, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup>. Com diferentes frações de

cobertura, no período de 28 de outubro a 27 de novembro de 2008 (PF1) a redução de E foi de aproximadamente 11, 17, 27 e 26%; em relação ao solo descoberto, enquanto que, no período de 19 de janeiro a 16 de fevereiro de 2009 (PF2), a redução foi de 22, 37, 45 e 56%, respectivamente, para os tratamentos 25, 50, 75 e 100% de cobertura do solo. Na palha seca ao sol, a umidade foi de aproximadamente 14% e após umedecimento atingiu 168%.

**Palavras chave:** Lisimetria, cobertura morta, palha de trigo.

## ABSTRACT

GAVA, Ricardo. M.S. Universidade Estadual de Maringá, July 2010. **EVAPORATION OF WATER FROM SOIL UNDER DIFFERENT RATES OF COVERAGE WITH VEGETABLE REMAINDER.** Advisor: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

This study was conducted at the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in Londrina, Paraná (latitude 23 ° 18 'S, longitude 51 ° 09' and an average altitude of 585 m). The climate of Londrina, according to the classification of Köppen, is type Cfa ie humid subtropical climate, with rainfall in all seasons and can occur in the dry winter season. Determined the soil water evaporation (E) under different rates of coverage with plant residues. Treatments were installed in the weighing lysimeters of 2.66 m<sup>2</sup> and 1.3 m deep, which determine E by difference in mass precisely equal to 0.1 mm in one hour intervals. The observed periods were approximately 30 days, two periods with different rates and two periods with different fractions of coverage. And to determine coverage rates under different, we used 0, 2.5, 5 and 10 t ha<sup>-1</sup> of dry wheat, placed evenly in each lysimeter. And with already to determine the different fractions of coverage, it has been the amount equivalent to 5 t ha<sup>-1</sup> of dry wheat, distributing it in, 25, 50, 75 and 100% soil cover. We conducted a test of retention of water by straw, in the Laboratory of Agricultural Engineering of IAPAR to determine the maximum amount of water retained by the straw of wheat, weighing three samples of straw collected at random in a field of wheat in three humidity conditions: sun-dried, moistened with water and dried in an oven. With different rates, from September 22 to October 20, 2008 (PT1), the reduction of E with respect to bare soil was 4, 15 and 24%, while in period 1 to December 30, 2008 (PT2), the reduction was 15, 22 and 25% respectively for the treatments of 2.5, 5 and 10 t ha<sup>-1</sup>. With different fractions of coverage, from October 28 to November 27, 2008 (PF1) the reduction of E was about 11, 17, 27 and 26% compared to bare soil, while the period of 19 January to February 16, 2009 (PF2) reduction

was 22, 37, 45 and 56% respectively, for treatments 25, 50, 75 and 100% soil cover. Straw sun-dried moisture was approximately 14% and reached 168% after wetting.

**Keywords:** lysimeter, mulching, wheat straw.

## 1. INTRODUÇÃO

A água potável está se tornando cada vez mais escassa. Isso tem gerado muitas discussões sobre a cobrança pelo uso da água que já ocorre em alguns países como o Brasil.

A agricultura é considerada uma das atividades que mais utiliza água, tornando-se cada vez mais importante os estudos sobre o uso mais eficiente da água pelas plantas.

A evaporação (E) é uma das principais formas de perda de água de um solo, principalmente em países de clima tropical como o Brasil. Portanto, é preciso buscar um manejo agrícola que minimize esta ocorrência.

Experimentos visando a redução de E são muito importantes, pois, durante o estágio inicial de desenvolvimento das plantas, a fração de solo coberta por elas é pequena e E representa a maior parte da evapotranspiração (ET). A transpiração (T) passa a ser predominante à medida que as plantas se desenvolvem.

Embora as culturas em geral consumam enorme volume de água em seu ciclo, apenas 2% são incorporados em seus tecidos vegetais e 98% são transferidos para atmosfera pelo processo de ET. Esse fluxo de água, contudo, é necessário para o desenvolvimento vegetal e, por esse motivo, sua taxa deve ser mantida dentro dos limites ótimos para cada cultura.

Por isso, o consumo de água pelas plantas normalmente se refere apenas à água utilizada pela T das plantas e pela E da superfície do solo.

O reservatório de toda essa água é o solo que, temporariamente, armazena-a, podendo fornecê-la às plantas conforme a demanda por ET. Como a recarga natural desse reservatório (chuvas) é descontínua, o volume disponível as plantas é variável.

Quando as chuvas são esparsas, essa função de armazenamento de água pelo solo é ainda mais importante ao bom desenvolvimento vegetativo. O

esgotamento desse reservatório por uma cultura faz necessária sua recarga artificial, que é o caso da técnica da irrigação.

Um solo protegido com resíduos vegetais favorece o armazenamento da água pela alteração do albedo, aumentando a reflexão da radiação, diminuição do escoamento superficial, aumento da retenção de água do solo pelo maior teor de matéria orgânica e proteção da superfície contra os efeitos da erosão eólica.

Quantificando o consumo de água das culturas, seja por perdas ou por utilização na fotossíntese, pode-se chegar a quantidades reais necessárias para se atingir elevada produção e, desta forma, evitar o consumo excessivo pela agricultura.

O objetivo deste trabalho foi determinar a evaporação da água do solo em pousio, sob diferentes taxas e frações de cobertura do solo com palha de trigo, na região de Londrina.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Evaporação

Além da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), que corresponde à demanda evaporativa da atmosfera, determina-se também a ET do cultivo de interesse (ALLEN et al., 1998) e pode ser satisfatoriamente estimada com dados meteorológicos pelo método padrão Penman-Monteith (ALLEN, 1986; SMITH, 1991; ALLEN et al., 1998). Da razão entre ET da cultura cultivada sob ótimas condições de manejo e  $E_{To}$  resulta o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS e KASSAM, 1979), que reflete a habilidade de um cultivo em atender a demanda da atmosfera (JENSEN et al., 1990) e pode ser usado para estimar ET para outros períodos e localidades.

Os coeficientes de cultivo podem ser ajustados para considerar separadamente os efeitos da evaporação e transpiração pelo método de  $K_c$  dual ou combinado (Allen et al., 1998). Nesse caso, dois coeficientes são usados: o coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ) para considerar a transpiração em condições de ausência de estresse hídrico e o coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) para estimar o efeito da evaporação da superfície do solo.

Chuva e irrigação afetam significativamente ET e  $K_c$ , devido ao aumento da taxa de E nos períodos imediatamente após o umedecimento da superfície do solo, principalmente em condições de cobertura parcial do solo (JENSEN et al., 1990).

As estimativas da ET e umidade do solo a partir de modelos meteorológicos apresentam vantagem pela facilidade de cálculo e possibilidade de aplicação em diferentes regiões, porém, necessitam de medidas reais no campo para serem ajustados (FARIA et al., 2005).

PREVEDELLO et al. (2005), trabalhando com modelagem numérica para o processo da evaporação da água do solo, mostram que, através de um

programa computacional, foi capaz de simular o processo unidimensional da evaporação da água do solo, tanto em meios porosos utilizando material arenoso e argiloso, como em meios estratificados, colunas formadas por camadas de espessuras e propriedades hidráulicas distintas, alternando-se esses materiais.

No entanto, modelos que determinam a evaporação da água do solo, em condições de solo com resíduos culturais, não estão disponíveis e esses métodos de estimativa dependem de testes usando medidas de campo, sob o sistema de cultivo. MEDEIROS et al. (2003) apresentam estudo detalhado sobre a estimativa da ETo utilizando a equação de Penman-Monteith FAO, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, testando os principais métodos: Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Tanque Casse A, Hargreaves & Samani e Priestley & Taylor. Segundo eles, as medidas lisimétricas de ETo apresentaram desempenho mediano em relação as estimativas feitas pelo método de Penman-Monteith, denotando que devem ser verificados aspectos do manejo do equipamento. Entre os métodos de estimativa de ETo analisados, os que apresentaram melhor desempenho na escala diária foram aqueles que sofreram ajuste local, Priestley & Taylor e Thornthwaite modificado. Já os métodos que apresentaram os piores desempenhos foram Thornthwaite, Tanque Classe A e Hargreaves & Samani.

Um modelo funcional desenvolvido por RITCHIE (1972) calcula separadamente a evaporação da superfície do solo ( $E_s$ ) e a transpiração da planta ( $E_p$ ). No cálculo da  $E_s$ , o modelo considera as fases de evaporação da água da superfície do solo descritas por PHILIP (1957) e, confirmadas posteriormente, por IDISO et al. (1974). Desta forma, a Fase 1 é considerada quando a superfície do solo está úmida e  $E_s$  ocorre a uma taxa constante, sendo limitado apenas pela ETo. Já a Fase 2, considera-se que a superfície do solo está seca e  $E_s$  passa a depender dos parâmetros físicos do solo. Enquanto que a Fase 3 considera que o solo está muito seco, não dando condições mínimas para o desenvolvimento de uma cultura. Esta fase não é considerada para fins de irrigação.

Para definição da duração da fase 1 de  $E_s$ , RITCHIE (1972) estabeleceu o parâmetro  $U$  e para a fase 2 o parâmetro  $\alpha$ . Ambos podem ser determinados

utilizando-se microlisímetros de pesagem, conforme descrito por RODRIGUES (1996).

## **2.2 Plantio direto**

O trigo e o milho são as culturas mais utilizadas na safra de inverno no Brasil. Em 2009 foram produzidos 4,9 milhões de toneladas de trigo e 17,2 milhões de toneladas de milho. As duas culturas juntas responderam por 83% de um total de 26,5 milhões de grãos produzidos na safra de inverno pelo país (IBGE, 2010).

Somente o Estado do Paraná produziu 2,5 milhões de toneladas de trigo e 4,5 milhões de toneladas de milho na safra de inverno 2008/09 (SEAB, 2010). Isso corresponde a 51% do trigo e 26% do milho produzidos no Brasil.

STONE et al. (2006) constataram que a presença de resíduo de culturas na superfície do solo, em quantidade adequada, é de grande importância na agricultura irrigada, pois altera a relação solo-água, prevenindo a evaporação e reduzindo a taxa de evapotranspiração das culturas, principalmente nos estádios em que o dossel não cobre totalmente o solo. Isto resulta em redução na frequência de irrigação e em economia nos custos de operação do sistema de irrigação.

A palha reduz a evaporação da água na superfície do solo em SPD, em relação ao solo descoberto. Entretanto, em função de uma maior capacidade de armazenagem de água e de um maior conteúdo de umidade no solo, a evaporação ao longo do ciclo no SPD é maior do que no preparo convencional (DALMAGO, 2004).

Sob demandas evaporativas de 8, 6 e 3 mm por dia, em dois tipos de solo, arenoso e muito argiloso, FREITAS et al. (2004) obtiveram reduções na evaporação da água do solo de 13, 17 e 25%, respectivamente, com a cobertura de toda a matéria seca produzida pela cultura do milho (10 t ha<sup>-1</sup>).

Trabalhando com perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional, ANDRADE et al. (2007) encontraram reduções das perdas de água de 19 a 42%, respectivamente, para 3 e 6 t ha<sup>-1</sup> de palha de aveia, em comparação com a semeadura direta em solo descoberto.

A quantidade de palha adequada promove uma maior retenção de água no solo, ficando disponível para as plantas por mais tempo. Isto minimiza os efeitos da estiagem, pois ocorrem menos perdas de água do solo pelo efeito da diminuição de E. Porém, se não houver uniformidade na distribuição do resíduo, este efeito será prejudicado. A eficiência da cobertura morta na diminuição dos estresses térmicos e hídricos depende da quantidade de matéria seca (FREITAS, 2004) e da sua distribuição (DALMAGO, 2004).

Segundo VESETH et al., (2007) o problema de distribuição de resíduo em trigo tem crescido devido principalmente ao aumento da largura de corte das colhedoras e ao uso de variedades mais altas. Colhedoras com plataformas de 9,14 m ou mais já estão disponíveis no mercado, porém, a maioria delas não está equipada para espalhar de maneira uniforme maiores volumes de fitomassa.

Na cultura da soja, a situação não é diferente. ORLANDO et al. (2005), em estudo avaliando diversas colhedoras na colheita da soja, verificaram que houve irregularidade na distribuição da palha pelas colhedoras, independentemente da largura de corte. Citam, ainda, que essa irregularidade na distribuição ocasiona disponibilidade desuniforme de nutrientes, com maiores teores nas faixas onde ocorre a deposição da palha proveniente das peneiras da colhedora. Os autores destacam a importância de um sistema de distribuição de palhão (material proveniente das peneiras) para conseguir distribuição de palha mais próxima do ideal.

Embora as colhedoras sejam as responsáveis pela uniformidade de distribuição, no momento do plantio as semeadoras acabam por alterar esta uniformidade devido aos sulcos de semeadura, que, por esse motivo, devem ser os menores possíveis. Existem sistemas anexados em semeadoras que retiram a palha da frente do facão de corte e, após a passagem da roda compactadora, um

sistema trás a palha de volta recobrando o sulco. Isso colabora para manter a uniformidade da cobertura do solo semelhante aquela anterior a passagem da semeadora. Estudando os efeitos do tratamento de resíduos na temperatura do solo em plantio direto, BRANDELERO et al. (2008) utilizaram sistemas de limpeza na linha de plantio anexados em semeadoras. Os resultados mostraram diferenças na mobilização de resíduos entre os tratamentos e os maiores percentuais de cobertura do solo na linha de semeadura foram obtidos pelo disco de corte associado com o disco de cobertura, chegando a 94% de cobertura. Porém, as diferenças na cobertura do solo na linha de semeadura não resultaram em diferenças significativas na temperatura do solo, sendo que variaram entre 17,1 ° C e 18,5 ° C.

ANDRADE et al. (2002), trabalhando com consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto, em função da porcentagem de cobertura morta do solo utilizando palha de sorgo, encontrou valores de Kr (relação entre a evapotranspiração da cultura e evapotranspiração cultura de referência) de 1,25, 1,24, 1,15, 1,12 e 1,01, respectivamente para os tratamentos com uniformidade de cobertura de 25, 50, 75 e 100%. Desta forma, a evapotranspiração da cultura apresentou valores menores a medida que aumentou a uniformidade de distribuição da cobertura morta.

PEREIRA et al. (2002), trabalhando com o efeito de níveis de cobertura de solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro de 25, 50, 75 e 100%, mostraram que é possível obter significativa economia de água a partir do nível de 50% de cobertura, pois houve diminuição do número de irrigações. Porém, a produtividade não sofreu influência significativa dos níveis de cobertura. Isso mostra que, embora um bom manejo da cobertura do solo tenha inúmeras vantagens, isso não resulta exatamente em aumento de produtividade, assim como mostram CAMARGO et al. (2007) que, ao avaliar produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto, mesmo havendo diferenças na produção de matéria seca das culturas de cobertura utilizadas, não houve reflexo significativo na produtividade do milho. Eles encontraram produção de matéria seca de 3,49, 2,58, 2,56, 1,98 e 0,67 t ha<sup>-1</sup>,

de Aveia preta, Aveia branca, Nabo forrageiro, Braquiária e Testemunha (área em pousio), respectivamente. Enquanto que a produtividade do milho foi de aproximadamente  $7 \text{ t ha}^{-1}$ , não diferindo estatisticamente entre os tratamentos.

SILVA et al. (2006) estudaram a dinâmica da água nas palhadas de milho, milho e soja, utilizadas em plantio direto. Segundo estes autores, as palhadas de milho e de milho apresentaram capacidade maior de armazenar água do que a de soja, e a quantidade de água perdida pelos resíduos, devido a esse armazenamento, é proporcional à evapotranspiração potencial. Eles encontraram uma relação de 3,26, 3,24 e 2,62 g de água por grama de palha de milho, milho e soja, respectivamente.

Segundo GAVA et al. (2009), embora a palha colabore para uma redução da evaporação da água do solo, ela retém parte da água aplicada ou precipitada na área. Um plantio direto com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de palha de trigo pode reter até 1,5 mm de água que será rapidamente perdida para a atmosfera em forma de evaporação. Os autores encontraram uma relação de 2,35 g de água por grama de palha de trigo. Portanto, um sistema de irrigação que aplique pequenas lâminas com alta frequência, perderá boa parte da água por evaporação direta da palha. No caso de SPD com mais de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de cobertura morta, é preferível fazer aplicações utilizando lâminas maiores, com menor intensidade.

Para resíduos da cultura do milho, FREITAS et al. (2004) encontraram quantidades de água retida pelo resíduo após a aplicação de lâmina de 20 mm, de 1,2, 1,4 e 1,8 mm para as condições de 4,8, 6,3 e  $10 \text{ t ha}^{-1}$ . A quantidade de 20 mm de irrigação foi representativa, pois imergindo o resíduo em água, houve aumento na quantidade retida de apenas 0,2 mm para  $10 \text{ t ha}^{-1}$ . Os autores relatam ainda que, para a condição de sistemas de irrigação com alta frequência de aplicação de água, a quantidade de água retida pelo resíduo pode ser significativa, o que faz com que a proporção de água evaporada seja relativamente alta.

### 2.3 Lisímetros de precisão

A quantificação da ET das culturas é necessária para efetuar o balanço hídrico do solo e em aplicações que visam aumentar a eficiência de uso de água pelos cultivos. Apesar dos componentes do balanço hídrico serem estimados com boa precisão por fórmulas ou modelos matemáticos e ainda apresentarem vantagem pela facilidade de cálculo e possibilidade de aplicação em diferentes regiões, a credibilidade desses métodos de estimativa dependem de testes usando medidas de campo, sob o sistema de cultivo predominante (FARIA et al., 2005).

A utilização de lisímetros de pesagem para obtenção destes dados tem se mostrado muito precisa. FARIA et al. (2005), trabalhando com a construção e calibração de lisímetros de alta precisão, constataram excelente linearidade entre as variações de massa e voltagem, para todos os dez lisímetros testados e não se constatou histerese. As medidas de evapotranspiração mostraram precisão para detecção de mudanças de massa de pelo menos 0,1 mm, em intervalos iguais ou maiores que 1 h, adequado para a maioria das aplicações de campo. Os mesmos resultados foram encontrados por SILVA et al. (1999). Segundo estes autores, na faixa horária das 6 às 11 horas, a ocorrência de pequenos aumentos nas leituras do sistema podem ser atribuídas à influência das mudanças de temperatura na célula de carga.

CAMPECHE (2002) alerta que, ao trabalhar com lisímetros de pesagem, em casos de precipitações intermitentes durante o período de radiação líquida positiva ( $R_n > 0$ ), é aconselhável a eliminação dos dados de evapotranspiração medidos pelo equipamento, pois a evaporação registrada pode ser superestimada, devido ao fato da chuva intermitente manter a camada superficial úmida e favorecer a E em caso de presença de radiação, bem como de outros fatores.

SILVA et al. (1999), utilizando dispositivos lisimétricos para a medida da evapotranspiração de referência, avaliaram três diferentes tipos de lisímetro (de pesagem, de drenagem e lisímetro com lençol freático de nível constante). Utilizaram também o modelo de Penman-Monteith e o tanque classe A, para se estimar a evapotranspiração do período. Os valores de  $E_{To}$  obtidos pelo

lisímetro de pesagem apresentaram boa correlação com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith. Já o lisímetro de drenagem e o lisímetro com lençol freático com nível constante mostraram-se inviáveis para a determinação de valores diários de ETo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), em Londrina, Estado do Paraná, (latitude de 23°18`S, longitude de 51°09` e altitude média de 580 m). O clima de Londrina, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período de inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C. O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, segundo EMBRAPA (1999).

As determinações de evaporação sob diferentes taxas de resíduos culturais e diferentes disposições do resíduo sobre o solo foram realizadas em dez lisímetros pesagem instalados no IAPAR, próximos à estação meteorológica do SIMEPAR, e mantidos em pousio. Estes lisímetros constituem-se de tanques metálicos, impermeáveis, com dimensões de 1,4 m de largura, 1,9 m de comprimento e 1,3 m de profundidade e com solo do local, colocados ao nível do solo sobre balança constituída de um sistema de alavancas para redução de massa. Eles detectam variação de massa correspondentes a uma lâmina de 0,1 mm em intervalos de até 1 h, medida por célula de carga que emite sinais elétricos com sensibilidade de 2 +/- 10% mv v<sup>-1</sup> e acuracidade de 0,02% do fundo de escala. São feitas leituras a cada três segundos, coletando-se 200 valores em 10 min. e o sistema de aquisição de dados armazena a média deste intervalo para fim de evitar variações, principalmente causadas pelo vento.

As medidas dos sinais elétricos foram transferidas do sistema de aquisição de dados, por meio de uma interface digital a um computador para serem convertidos para massa e depois em milímetros através das equações de calibração inicial de cada lisímetro.

Os valores de evaporação foram determinados pelo balanço das entradas, saídas e do armazenamento de água nos lisímetros, de acordo com a seguinte equação:

$$E = P + I - R \pm D \pm \Delta A \quad (1)$$

Em que:

E - evaporação ( $\text{mm d}^{-1}$ );

P - precipitação (mm);

I - irrigação (mm);

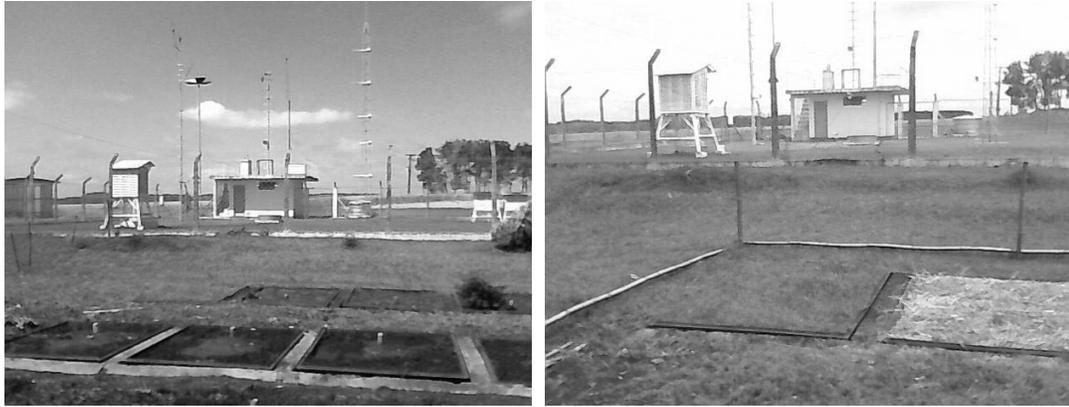
R - escoamento superficial (considerado zero devido à borda de 5 cm do tanque do lisímetro);

D - drenagem (mm);

$\Delta A$  - variação de armazenamento dado pela diferença de massa no período.

### **3.1 Localização da área**

Os lisímetros se localizam ao lado da estação meteorológica do SIMEPAR, que favorece a comparação com os dados da estação como da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) como pode ser observado na Figura 1A. Há ainda um lisímetro cultivado com grama para determinação da evapotranspiração ( $ET_{\text{grama}}$ ) (Figura 1B).



A

B

**Figura 1.** Localização da área experimental (A) e lisímetro com grama (B).

A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método Penman-Monteith – FAO (ALLEN et al. 1998), utilizando os dados diários obtidos da estação meteorológica do SIMEPAR, em Londrina.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (2)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

R<sub>n</sub> - saldo de radiação à superfície, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

G - fluxo de calor sensível no solo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

T - temperatura média do ar a 2 m de altura, °C;

U<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

es - pressão de saturação de vapor, kPa;

ea - pressão atual de vapor, kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de saturação, kPa °C<sup>-1</sup>;

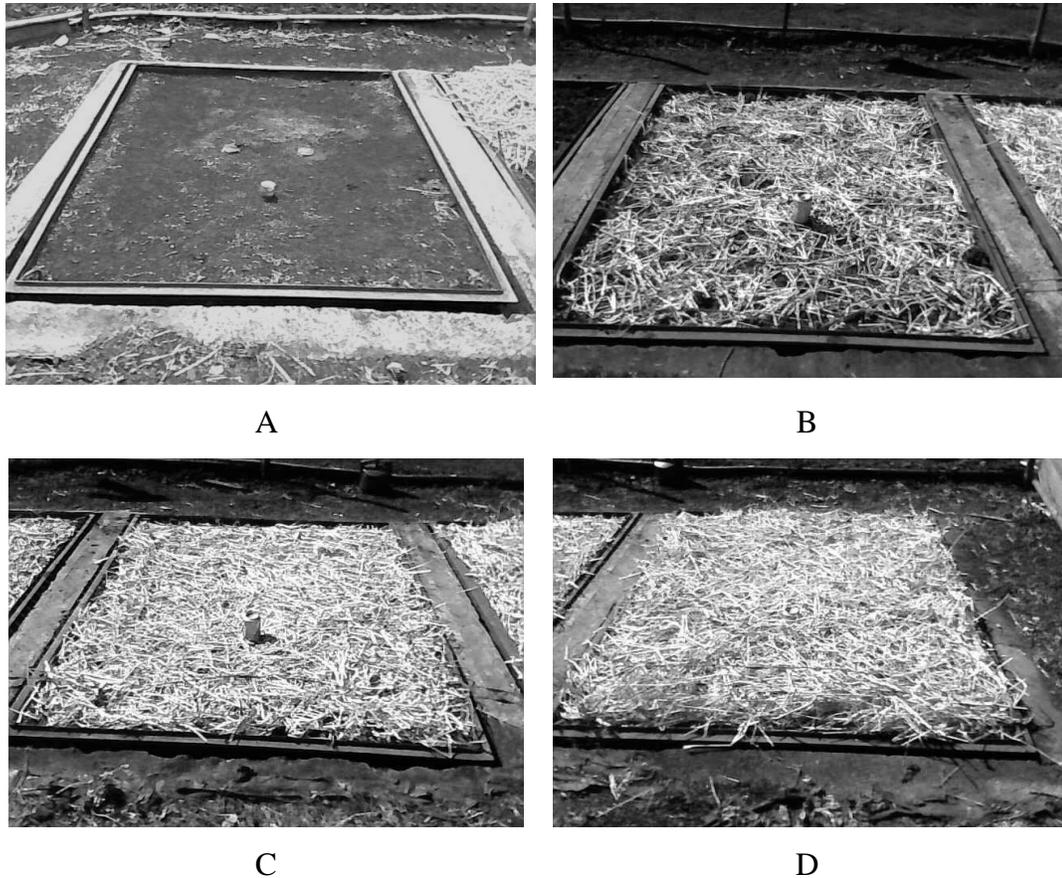
γ - constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

A palha colocada em cada lisímetro foi fixada com uma rede de nylon para que a palha de cada tratamento não sofresse alteração pelo vento, seja em quantidade ou uniformidade. Aplicou-se 20 mm para assentar a palha à superfície do terreno.

### **3.2 Experimento com diferentes taxas de palha de trigo**

O experimento com diferentes taxas de palha de trigo consistiu-se em medir E considerando uma testemunha com solo descoberto ( 0 t ha<sup>-1</sup> ) e três quantidades de resíduos ( 2,5, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> ), durante dois períodos de observações, de 22/09 a 20/10/2008 (PT1) e 01/12 a 30/12/2008 (PT2).

A palha de trigo foi coletada ao acaso no campo logo após a colheita. A mesma foi seca em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas a temperatura de 65°C. Determinou-se a umidade da palha nas condições de campo e, em seguida, determinadas as quantidades 0,665, 1,330 e 2,660 kg, equivalendo a 0, 2,5, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca (Figura 2).



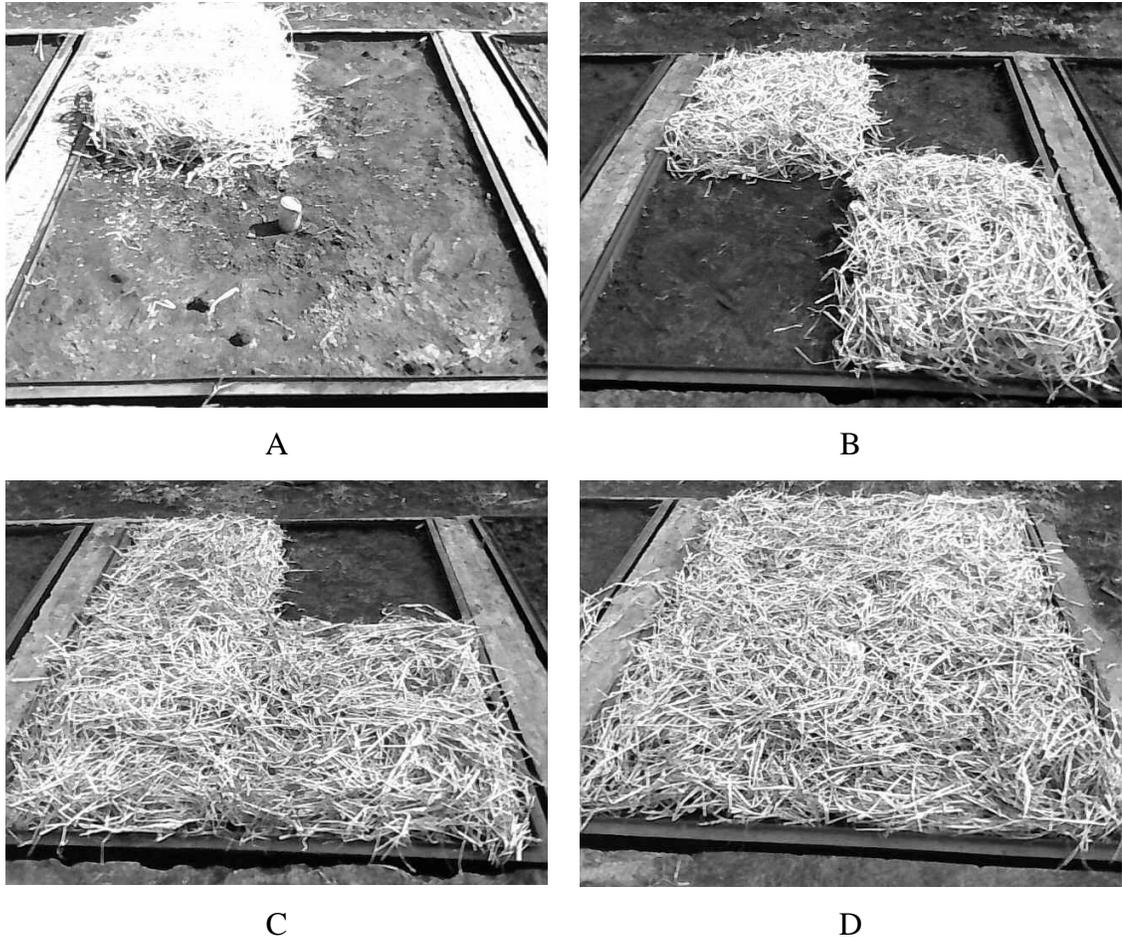
**Figura 2.** Lisímetro contendo solo descoberto (A); diferentes taxas de palha de trigo,  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  (B);  $5 \text{ t ha}^{-1}$  (C); e  $10 \text{ t ha}^{-1}$  (D).

### 3.2 Experimento com diferentes frações de cobertura do solo

O experimento com diferentes frações de cobertura do solo constituiu da determinação da evaporação considerando uma testemunha com solo descoberto e com  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de matéria morta em quatro frações de cobertura do solo (25, 50, 75 e 100%), durante outros dois períodos de observações, de 28/10 a 27/11/2008 (PF1) e 19/01 a 16/02/2009 (PF2).

A palha de trigo foi coletada ao acaso no campo logo após a colheita. A mesma foi seca em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas a temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$ . Determinou-se a umidade da palha nas condições de campo e, em seguida, separadas quatro quantidades de  $1,33 \text{ kg}$ , equivalente a  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de

matéria seca, a serem aplicadas com 25, 50, 75 e 100 % de distribuição em cada lisímetro conforme mostra a Figura 3.



**Figura 3.** Distribuição de palha de trigo simulando 25, 50, 75 e 100% de cobertura da superfície do solo.

### **3.3 Experimento de retenção de água pela palha de trigo**

Para avaliar a quantidade de água retida na palha de trigo, foi realizado um ensaio em laboratório, utilizando três amostras coletadas ao acaso em lavoura de trigo em estágio de colheita. As amostras secas ao sol foram pesadas em balança de precisão de 0,01 g. Após pesagem, cada amostra foi colocada de forma uniforme em uma peneira de área de 0,49 m<sup>2</sup> e malha de 2 mm para

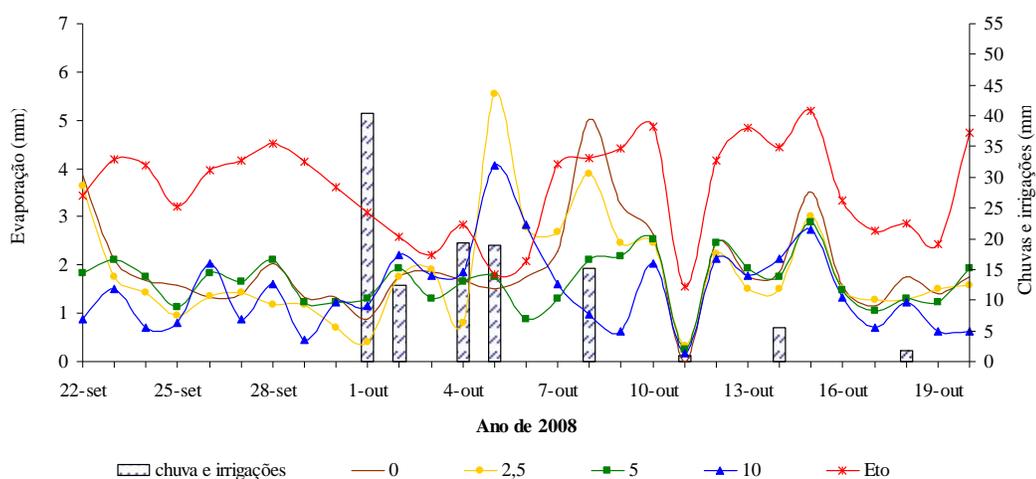
drenagem do excesso de água. Foi aplicando 30L de água lentamente em cada amostra, equivalendo a uma lâmina de aproximadamente 60 mm para uma taxa de 10 t ha<sup>-1</sup> de palha de trigo. Após a drenagem do excesso de água, o material foi pesado novamente para determinar a quantidade máxima de água retida pela palha.

Em seguida, as amostras foram levadas para uma estufa de circulação forçada de ar e mantidas a 65 °C por 48 horas. Após a secagem, determinou-se a massa seca. Finalmente, determinaram-se as médias das três amostras, obtendo-se a umidade da palha em condições naturais pela subtração da massa úmida pela massa seca e a quantidade máxima de água retida pela diferença entre a massa umedecida e a massa em condições naturais de campo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Evaporação com diferentes taxas de palha de trigo

Na Figura 4 estão apresentados os valores diários de evaporação em milímetros por dia nas diferentes taxas de palha de trigo, 0, 2,5, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup>, do PT1.



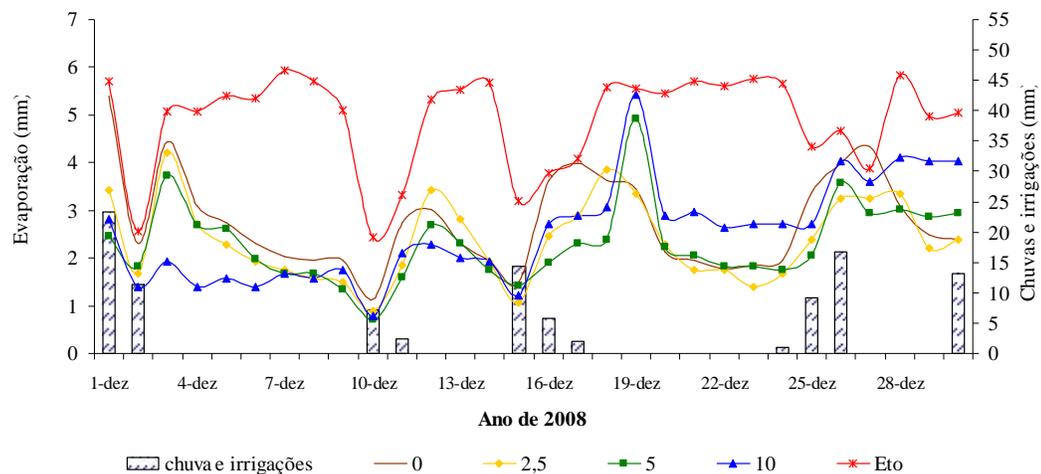
**Figura 4.** Evaporação da água do solo no PT1.

Embora no PT1 a maior precipitação tenha ocorrido no dia 1/10/08, este dia foi seco, iniciando a chuva às 17 h e se estendendo até às 2 h do dia 2/10/08. Portanto, este dia começou com a superfície do solo muito úmida resultando em altas evaporações dos tratamentos. Observa-se ainda que os tratamentos com mais palhas apresentaram maior evaporação que pode ser devido a lâmina retida na palha facilitar a evaporação. No dia 4/10/08, as chuvas foram distribuídas ao longo do dia, sendo registradas precipitações às 4, 11 e 16 h. Novamente, observa-se que os tratamentos com maior quantidade de palha tiveram evaporações maiores. A partir das 22 h, houve mais

precipitações que ocorreu até às 5 h do dia 5/10/08. Neste dia, observaram-se valores discrepantes para os tratamentos de 2,5 e 10 t ha<sup>-1</sup>, acreditando se tratar de falhas do equipamento eletrônico de aquisição de dados, pois chegaram a registrar valores aproximadamente três vezes maiores que a ETo.

No dia 8/10/08 foi feita uma irrigação com 15 mm às 11 h, que resultou em um aumento de evaporação do solo descoberto acima do valor da ETo. Em condições de alta umidade da superfície do solo, E pode ultrapassar ETo, pois a água está praticamente livre para evaporar. O dia 11/10/08 permaneceu nublado o dia todo com pequenas precipitações. Isso fez com que a evaporação do dia seguinte aumentasse devido à umidade na superfície do solo. No dia 14/10/08, houve uma pequena precipitação no final da tarde, resultando em aumento de evaporação no dia 15 para todos os tratamentos. Na madrugada do dia 18, houve uma pequena precipitação, aumentando a evaporação principalmente do solo descoberto. No final da tarde, voltou a chover, porém cerca de 1 mm apenas.

Na Figura 5, apresenta-se os valores diários de evaporação em milímetros por dia nas diferentes taxas de palha de trigo, 0, 2,5, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup>, no PT2.



**Figura 5.** Evaporação da água do solo no PT2.

O PT2 iniciou com uma irrigação às 9 h do dia 1. Isso fez com que E de todos os tratamentos fosse alta. No dia seguinte, ocorreram precipitações de manhã e de tarde, fazendo com que o dia 3 iniciasse úmido e tendo altas evaporações. Após 7 dias sem precipitações, observou-se que o tratamento com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  passou a ter E maior que os demais tratamentos com palha. Isso se deve ao fato de que o solo com maior quantidade de palha conserva a umidade por mais tempo e, a partir do momento que a E passar a ser restrita pela falta de umidade, o tratamento com mais palha ainda tem água disponível para suprir a demanda atmosférica.

O dia 10/12/08 permaneceu nublado, sendo que as precipitações foram registradas entre as 9 e 15 h. Na madrugada do dia 11/12/08, houve mais precipitações, que fez a superfície do solo ficar bastante úmida no início da manhã gerando um grande aumento da E.

No dia 15/12/08, houve precipitações entre as 11 e 14 h, voltando a chover às 19 h. Deste modo, o dia 16/12/08 iniciou com bastante água disponível e uma pequena precipitação às 14 h fez E aumentar no tratamento com solo descoberto seguido do tratamento com maior quantidade de palha. O mesmo se repete no dia 17/12/08.

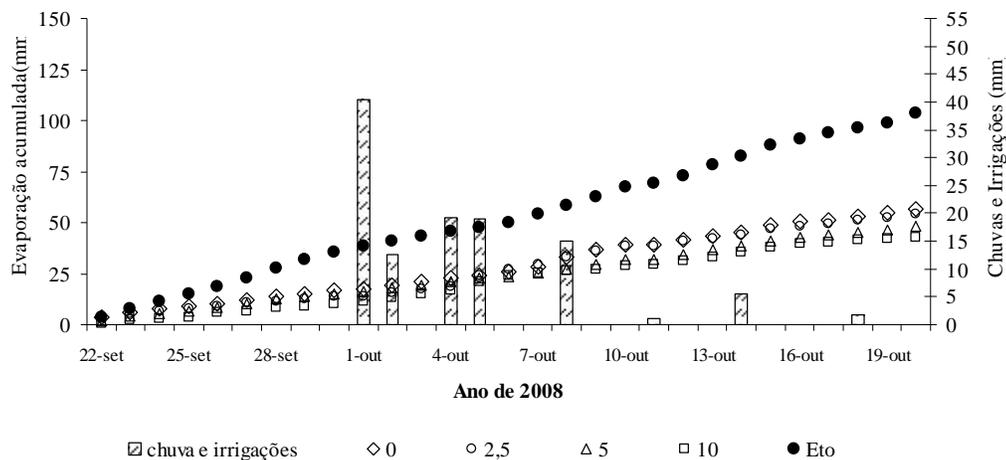
No dia 19/12/08, os lisímetros contendo 5 e  $10 \text{ t ha}^{-1}$  apresentaram erro. Devido ao fato do horário compreendido entre as 9 e 10 h ter ocorrido uma variação de 2,7 e 2,9 mm, respectivamente, para esses tratamentos, ou seja, no intervalo de uma hora, considera-se que a E foi praticamente igual à ETo registrada no dia todo. A partir deste, dia o lisímetro com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  continuou apresentando valores discrepantes. Mostra-se, com isso, que o evento anterior afetou o sistema de aquisição de dados e pode ter queimado a célula de carga ou sofrido um estiramento.

O dia 24/12/08 foi um dia seco, porém no final da noite iniciaram-se as precipitações que duraram até 1 h do dia 25/12/08. O fato do dia 25/12/08 ter iniciado com alta umidade da camada superficial aliado a uma chuva às 14 h fez com que o solo descoberto e o tratamento com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  apresentassem os maiores valores de evaporação. Ainda na noite do dia 25/12/08 ocorreram mais

precipitações resultando novamente em maiores valores de evaporação para os tratamentos com solo descoberto e com 10 t ha<sup>-1</sup> no dia 26/12/08. Neste dia, houve precipitações no final da tarde fazendo com que o dia 27/12/08 iniciasse com alta umidade e a E do solo descoberto superasse ETo, seguido do tratamento com mais palha.

Em geral, à medida que ETo diária aumenta os valores de E também aumentam. Porém, E de cada tratamento depende da umidade do solo, ou seja, da quantidade de água presente no mesmo, passível de evaporar e ainda dos efeitos da palha sobre estes tratamentos. Devido à complexidade de analisar diariamente cada efeito de aumento ou diminuição de E, procurou-se analisar o valor acumulado do ciclo, para assim determinar quais os melhores resultados na redução de evaporação de cada tratamento.

Os valores de evaporação acumulados nos períodos observados com diferentes taxas de palha de trigo são mostrados na Figura 6.



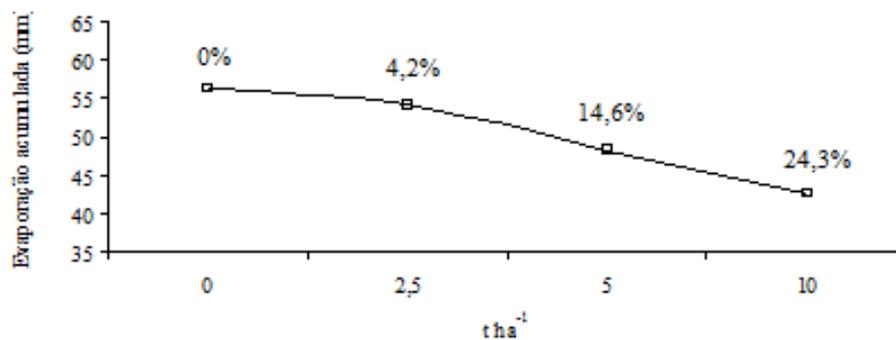
**Figura 6.** Evaporação acumulada no PT1.

A soma das precipitações e irrigações do período chegaram a 115,2 mm, porém se concentraram no meio do ciclo. Pode-se observar na Figura 6 que houve um pequeno efeito do tratamento com 2,5 t ha<sup>-1</sup>, sendo a evaporação acumulada praticamente igual à testemunha com solo descoberto. Porém, antes

da ocorrência de precipitações, o solo descoberto apresentava um acumulado de mais de 3 mm em relação ao tratamento com 2,5 t ha<sup>-1</sup>.

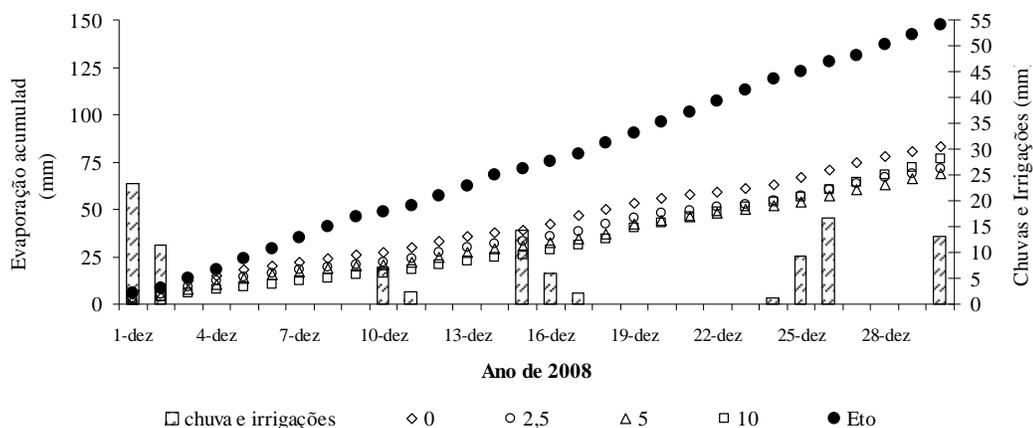
No primeiro ciclo, a redução da E foi cerca de 4 % para o tratamento com 2,5 t ha<sup>-1</sup> enquanto que para 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> aproximaram-se de 15 e 24%, respectivamente, corroborando com dados encontrados por FREITAS et al. (2004).

Pode-se observar na Figura 7 a E acumulada no PT1 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto.



**Figura 7.** Evaporação acumulada no PT1 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto.

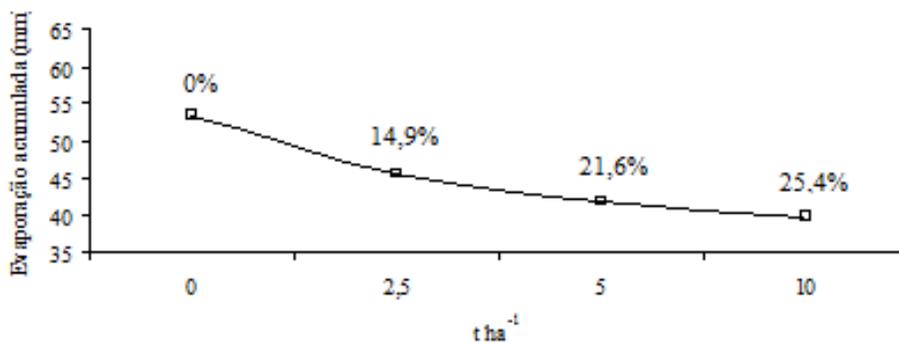
Assim como no PT1, os dados acumulados do PT2 mostram valores de evaporação no solo descoberto sempre acima dos demais tratamentos. É importante verificar que, embora a quantidade de chuvas no PT2 (106,5 mm) foi praticamente a mesma do PT1 (115,2 mm), esta se distribuiu mais uniformemente, ou seja, maior número de precipitações ao longo do período com intervalos mais regulares (Figura 8).



**Figura 8.** Evaporação acumulada no PT2.

Como já citado anteriormente, no dia 19/12/2008, o lisímetro com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  apresentou erro registrando valores de E sempre acima dos demais tratamentos. Isso afetou diretamente os dados acumulados. Considerando o PT2 até o dia 19, a redução da E foi, portanto, de aproximadamente 15 % para o tratamento com  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  enquanto que para 5 e  $10 \text{ t ha}^{-1}$  aproximaram-se de 22 e 25%, respectivamente.

Na Figura 9, está apresentada E acumulada no PT2 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto.



**Figura 9.** Evaporação acumulada no PT2 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto.

#### **4.1.1 Coeficiente de evaporação (Ke)**

Os coeficientes de cultivo podem ser ajustados para considerar separadamente os efeitos da evaporação e transpiração pelo método de Kc dual ou combinado (Allen et al., 1998). Nesse caso, dois coeficientes são usados: o coeficiente de cultivo basal (Kcb) para considerar a transpiração em condições de ausência de estresse hídrico e o coeficiente de evaporação (Ke) para estimar o efeito da evaporação da superfície do solo.

Como neste trabalho o solo foi mantido sob pousio, o Ke é obtido pela relação entre a evaporação real ocorrida nos tratamentos e a ETo. Os valores de Ke nas diferentes taxas de palha dos dois períodos observados são mostrados na Quadro 1.

**Quadro 1.** Valores de Ke sob quatro taxas de palha de trigo

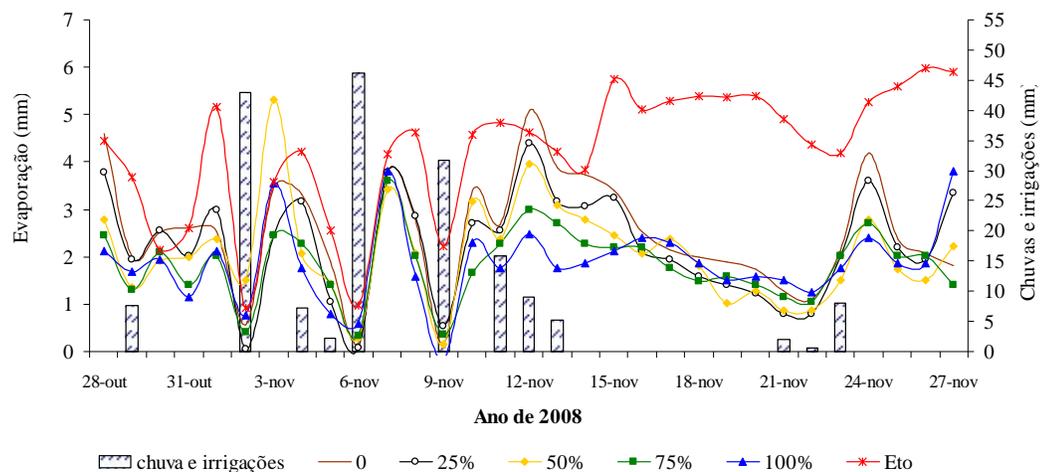
Data	PT1 t ha <sup>-1</sup>				Data	PT2 t ha <sup>-1</sup>			
	0	2,5	5	10		0	2,5	5	10
22/09/2008	1,1	1,1	0,5	0,3	01/12/2008	0,9	0,6	0,4	0,5
23/09/2008	0,5	0,4	0,5	0,4	02/12/2008	0,9	0,6	0,7	0,5
24/09/2008	0,4	0,4	0,4	0,2	03/12/2008	0,9	0,8	0,7	0,4
25/09/2008	0,5	0,3	0,4	0,2	04/12/2008	0,6	0,5	0,5	0,3
26/09/2008	0,3	0,3	0,5	0,5	05/12/2008	0,5	0,4	0,5	0,3
27/09/2008	0,3	0,3	0,4	0,2	06/12/2008	0,4	0,4	0,4	0,3
28/09/2008	0,4	0,3	0,5	0,4	07/12/2008	0,3	0,3	0,3	0,3
29/09/2008	0,3	0,3	0,3	0,1	08/12/2008	0,3	0,3	0,3	0,3
30/09/2008	0,4	0,2	0,3	0,3	09/12/2008	0,4	0,3	0,3	0,3
01/10/2008	0,3	0,1	0,4	0,4	10/12/2008	0,5	0,4	0,3	0,3
02/10/2008	0,7	0,7	0,7	0,9	11/12/2008	0,8	0,6	0,5	0,6
03/10/2008	0,8	0,9	0,6	0,8	12/12/2008	0,6	0,6	0,5	0,4
04/10/2008	0,6	0,3	0,6	0,7	13/12/2008	0,4	0,5	0,4	0,4
05/10/2008	0,8	3,1	1,0	2,3	14/12/2008	0,3	0,3	0,3	0,3
06/10/2008	0,8	1,3	0,4	1,4	15/12/2008	0,5	0,3	0,4	0,4
07/10/2008	0,6	0,7	0,3	0,4	16/12/2008	1,0	0,7	0,5	0,7
08/10/2008	1,2	0,9	0,5	0,2	17/12/2008	1,0	0,7	0,6	0,7
09/10/2008	0,7	0,6	0,5	0,1	18/12/2008	0,7	0,7	0,4	0,5
10/10/2008	0,5	0,5	0,5	0,4	19/12/2008	0,6	0,6	0,9	1,0
11/10/2008	0,0	0,2	0,2	0,1	20/12/2008	0,4	0,4	0,4	0,5
12/10/2008	0,6	0,5	0,6	0,5	21/12/2008	0,3	0,3	0,4	0,5
13/10/2008	0,4	0,3	0,4	0,4	22/12/2008	0,3	0,3	0,3	0,5
14/10/2008	0,4	0,3	0,4	0,5	23/12/2008	0,3	0,2	0,3	0,5
15/10/2008	0,7	0,6	0,6	0,5	24/12/2008	0,3	0,3	0,3	0,5
16/10/2008	0,5	0,5	0,4	0,4	25/12/2008	0,8	0,5	0,5	0,6
17/10/2008	0,4	0,5	0,4	0,3	26/12/2008	0,9	0,7	0,8	0,9
18/10/2008	0,6	0,4	0,5	0,4	27/12/2008	1,1	0,8	0,8	0,9
19/10/2008	0,6	0,6	0,5	0,3	28/12/2008	0,5	0,6	0,5	0,7
20/10/2008	0,4	0,3	0,4	0,1	29/12/2008	0,5	0,4	0,6	0,8
					30/12/2008	0,5	0,5	0,6	0,8

Verificou-se um grande aumento do Ke de todos os tratamentos logo após a ocorrência de precipitações, devido à alta umidade superficial do solo que colabora para o aumento das evaporações.

O mesmo ocorre com o Ke no PT2. Eles aumentam logo após as precipitações, pois a umidade está alta. O Ke, por expressar uma relação direta entre a E e a ETo, sofre os mesmos efeitos discutidos no item 4.1.2. corroborando com ANDRADE et al. (2002).

## 4.2 Evaporação com diferentes frações de cobertura do solo

Os valores diários de evaporação nas diferentes frações de cobertura do solo, 0, 25, 50, 75 e 100%, para os dois períodos observados, de 28 de outubro de 2008 a 27 de novembro de 2008 (PF1) e 19 de janeiro de 2009 a 16 de fevereiro de 2009 (PF2), são mostrados nas Figuras 10 e 11.



**Figura 10.** Evaporação da água do solo no PF1.

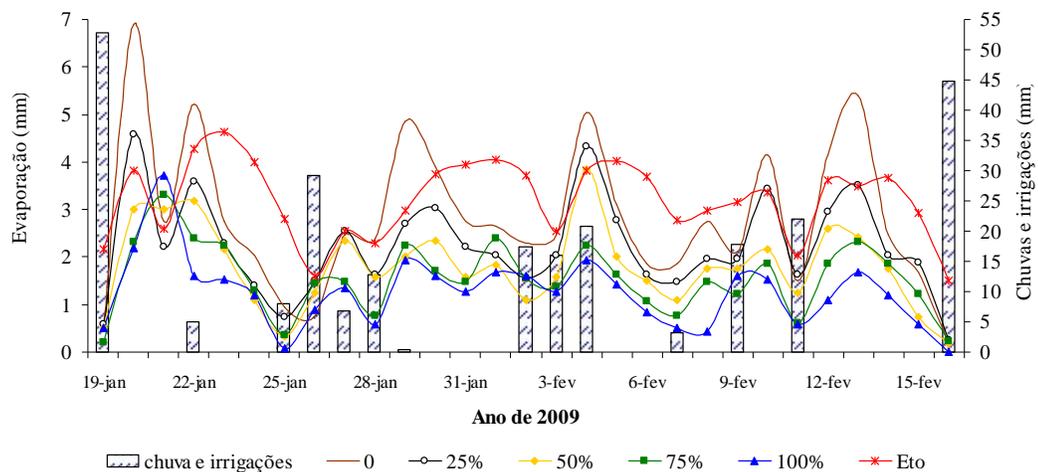
O PF1 iniciou com uma irrigação de 20 mm em todos os tratamentos às 8 h. O tratamento com solo descoberto e com 25% de cobertura tiveram E acima da ETo. O dia 2/11/08 foi um dia nublado com precipitações o dia todo e estas tiveram maior intensidade às 12 h. Isso fez com que o dia 3/11/08 começasse com alta umidade resultando em alta E de todos os tratamentos. No dia 4/11/08, houve precipitação no final da tarde dando sequência na madrugada do dia 5/11/08. Porém, a E não foi muito alta devido ao dia ter permanecido parcialmente nublado. No dia seguinte, houve precipitações durante todo dia permanecendo este nublado. O fato do dia 7/11/08 ter iniciado com alta umidade resultou em E altas de todos os tratamentos.

No dia 9/11/08, voltou a chover entre 12 e 14 h. Isso reduziu a ETo, pois o céu permaneceu nublado nos horários de maior intensidade de radiação. Já o dia 10/11/08 teve seus valores de E altos, pois sucedeu o dia de chuvas.

No dia 11/11/08, houve uma precipitação de 15 mm às 22 h que fez com que a E do dia seguinte fosse alta. No dia 12/11/08, voltou a chover à noite, porém, em menor quantidade se repetindo essas condições no dia 13/11/08.

Passa-se, então, a ter um período sem chuvas onde fica evidente o efeito dos tratamentos. À medida que o solo seca, E diminui. Portanto, aqueles tratamentos que retêm maior umidade no solo passaram a ter E maiores do que os demais, pois ainda possuíam umidade para suprir a demanda atmosférica.

No dia 21/11/08, a pequena precipitação às 10 h e no dia 22/11/08 no final da tarde não alteraram as condições de E dos tratamentos. Já no dia 23/11/08 com a ocorrência de precipitação às 15 h, houve um aumento substancial da E principalmente do solo descoberto.



**Figura 11.** Evaporação da água do solo no PF2.

A Figura 11 apresenta os valores do PF2. Ela mostra que com umidade alta a evaporação do solo descoberto ultrapassa os valores de ETo, pois a água presente na superfície do solo evapora livremente. Isso é evidenciado pelo

período que teve várias condições de alta umidade superficial no início da manhã.

De acordo com a Figura 11, o dia 19/01/09 permaneceu nublado tendo precipitações praticamente o dia todo. Nota-se que, ao iniciar o dia 20/01/09 com alta umidade, E chega ser maior que a ETo. Isso se repete no dia 22/01/09 que teve uma pequena precipitação às 9 h. Já no dia 25/01/09 as precipitações iniciaram-se às 18 h e permaneceram por todo dia 26, cessando apenas na manhã do dia 27/01/09. Este, além de começar com alta umidade teve precipitação às 10, 13 e 19 h. No dia 28/01/09, as precipitações iniciaram na madrugada cessando às 9 h e voltou a chover às 19 h. Isso fez com que a evaporação do solo descoberto voltasse a ultrapassar a ETo no dia seguinte.

O dia 2/02/09 teve início às 23 h uma precipitação que durou até a manhã do dia seguinte. Porém, o dia 3/02/09 foi parcialmente nublado, tendo ainda pequenas precipitações às 15 h. Na madrugada do dia 4/02/09, houve novas precipitações até às 7 h. Isso fez com que a umidade na camada superficial estivesse muito alta e facilitasse a E principalmente do solo descoberto, seguido dos tratamentos com menos porcentagem de cobertura.

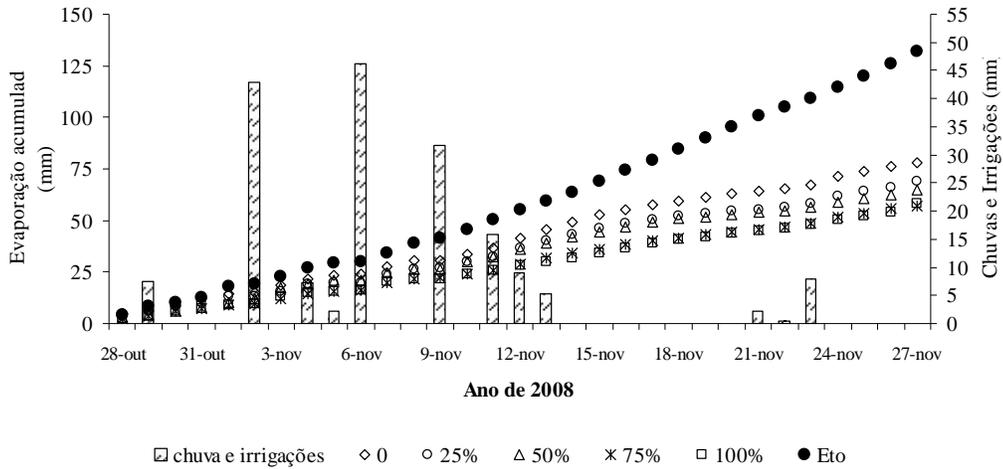
Uma pequena precipitação no final da tarde do dia 7/02/09 fez com que E voltasse a aumentar nos tratamentos com menor porcentagem de cobertura.

No final da noite do dia 9/02/09, houve uma precipitação de aproximadamente 20 mm que novamente elevou a evaporação do dia seguinte para índices acima da ETo.

O dia 11/02/09 foi parcialmente nublado com precipitações praticamente o dia todo, acumulando uma lâmina de mais de 20 mm que foram suficientes para manter a E do solo descoberto acima da ETo por dois dias consecutivos.

O dia 16/02/09 encerrou o ciclo nublado com precipitações o dia todo.

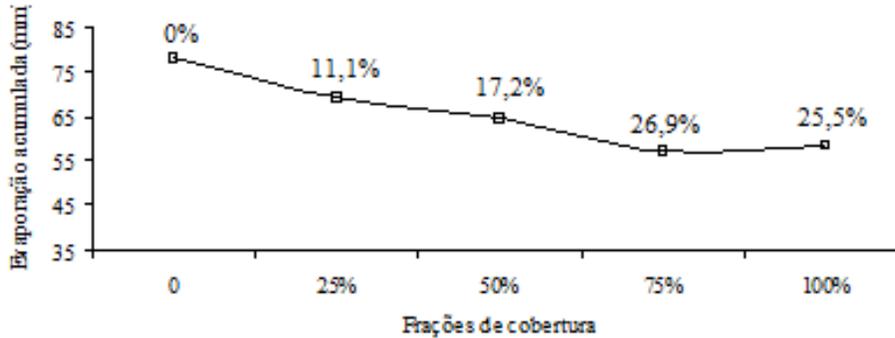
Os valores de evaporação acumuladas no PF1 são mostrados na Figura 12. A soma das precipitações e irrigações do período chegou a 178,2 mm, porém, concentraram-se no meio do período. Pode-se observar que houve uma pequena diferença entre os tratamentos com 75 e 100% de cobertura do solo.



**Figura 12.** Evaporação acumulada da água do solo no PF1.

No PF1, a redução da E para o tratamento com 25% de cobertura do solo foi de aproximadamente 11%, enquanto que, para 50, 75 e 100%, chegaram a 17, 27 e 26%, respectivamente.

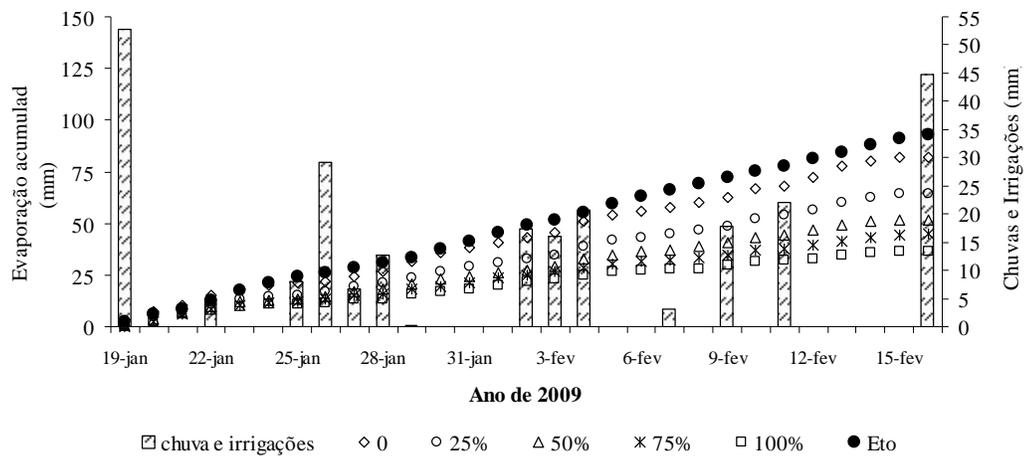
A Figura 13 relaciona a evaporação acumulada no PF1 com sua respectiva redução em % em relação ao solo descoberto.



**Figura 13.** Evaporação acumulada no PF1 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto.

No PF2, as precipitações chegaram a 256,5 mm, enquanto que no PF1 foram de 178,2 mm. Uma diferença de praticamente 80 mm. Além disso, no PF2, as precipitações se distribuíram mais uniformemente, ou seja, maior

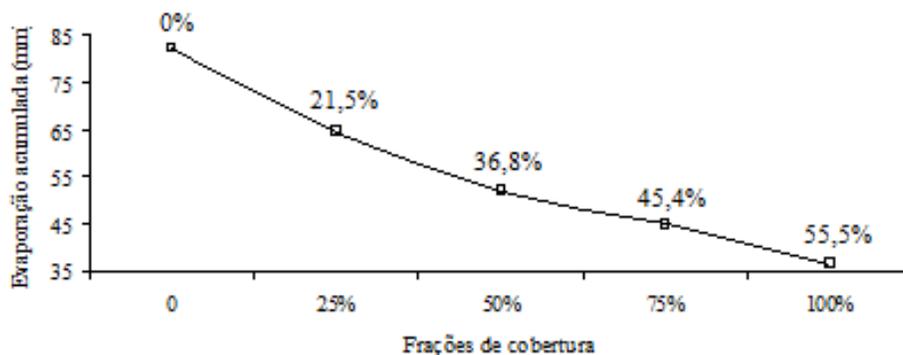
número de precipitações ao longo do período com intervalos mais regulares (Figura 14).



**Figura 14.** Evaporação acumulada da água do solo no PF2.

Desta forma, a evaporação da cultura apresentou valores menores a medida que aumentou a uniformidade de distribuição da cobertura morta corroborando com Andrade et al. (2002).

A redução da E para o tratamento com 25% de uniformidade foi de aproximadamente 22%, enquanto que, para 50, 75 e 100% de cobertura do solo, alcançaram 37, 45 e 56%, respectivamente (Figura 15).



**Figura 15.** Evaporação acumulada no PF2 e sua respectiva porcentagem de redução em relação ao solo descoberto.

#### 4.2.1 Coeficiente de evaporação (Ke)

No Quadro 2, são apresentados os valores do Ke diário dos dois períodos sob diferentes frações de cobertura do solo.

**Quadro 2.** Valores de Ke sob cinco frações de cobertura do solo.

Data	PF1					Data	PF2				
	0	25	50	75	100		0	25	50	75	100
28/10/2008	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5	19/01/2009	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2
29/10/2008	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	20/01/2009	1,8	1,2	0,8	0,6	0,6
30/10/2008	1,2	1,2	0,9	1,0	0,9	21/01/2009	1,1	0,8	1,2	1,3	1,4
31/10/2008	1,0	0,8	0,8	0,5	0,4	22/01/2009	1,2	0,8	0,7	0,6	0,4
01/11/2008	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	23/01/2009	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3
02/11/2008	0,6	0,1	1,7	0,4	0,8	24/01/2009	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
03/11/2008	1,0	0,7	1,5	0,7	1,0	25/01/2009	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0
04/11/2008	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4	26/01/2009	0,5	0,9	0,8	0,9	0,6
05/11/2008	0,7	0,4	0,6	0,6	0,3	27/01/2009	1,0	1,0	0,9	0,6	0,5
06/11/2008	0,2	0,1	0,3	0,4	0,6	28/01/2009	1,0	0,7	0,7	0,3	0,3
07/11/2008	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	29/01/2009	1,6	0,9	0,7	0,8	0,7
08/11/2008	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	30/01/2009	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
09/11/2008	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	31/01/2009	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3
10/11/2008	0,7	0,6	0,7	0,4	0,5	01/02/2009	0,7	0,5	0,5	0,6	0,4
11/11/2008	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	02/02/2009	0,6	0,4	0,3	0,4	0,4
12/11/2008	1,1	1,0	0,9	0,6	0,5	03/02/2009	1,0	0,8	0,6	0,5	0,5
13/11/2008	0,9	0,7	0,7	0,6	0,4	04/02/2009	1,3	1,1	1,0	0,6	0,5
14/11/2008	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	05/02/2009	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4
15/11/2008	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	06/02/2009	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2
16/11/2008	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	07/02/2009	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
17/11/2008	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	08/02/2009	0,9	0,7	0,6	0,5	0,1
18/11/2008	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	09/02/2009	0,7	0,6	0,6	0,4	0,5
19/11/2008	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	10/02/2009	1,2	1,0	0,6	0,5	0,5
20/11/2008	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	11/02/2009	0,7	0,8	0,6	0,3	0,3
21/11/2008	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	12/02/2009	1,2	0,8	0,7	0,5	0,3
22/11/2008	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	13/02/2009	1,5	1,0	0,7	0,7	0,5
23/11/2008	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	14/02/2009	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3
24/11/2008	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	15/02/2009	0,6	0,6	0,3	0,4	0,2
25/11/2008	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	16/02/2009	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0
26/11/2008	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3						
27/11/2008	0,3	0,6	0,4	0,2	0,6						

Observa-se que o Ke aumenta logo após as chuvas, ou seja, com aumento da umidade no solo, que corroboram com dados obtidos por ANDRADE et al. (2002).

### 4.3 Retenção de água pela palha de trigo

Os valores de retenção de umidade na palha são mostrados na Quadro 3. Na condição de campo, a umidade média foi de aproximadamente 14%, enquanto a retenção de umidade na saturação atingiu cerca de 168%. Consequentemente, houve aumento de umidade de aproximadamente 154% com a irrigação da palha em condições naturais, até atingir saturação. Esta umidade se deve a parcela de água que fica retida na matéria seca e não chega ao solo, podendo ser rapidamente perdida para a atmosfera, por evaporação, nos primeiros raios de sol após a ocorrência da precipitação.

**Quadro 3.** Umidade de palha de trigo em condições naturais de campo (massa úmida) e de umidade máxima de retenção.

Amostra	Massa seca	Massa úmida	Massa saturada	Umidade na condição de campo	Umidade de máxima retenção
		g			%
1	543,05	617,95	1399,95	13,79	157,79
2	512,98	579,68	1372,68	13,00	167,59
3	534,72	609,12	1480,92	13,91	176,95
Média	530,25	602,25	1417,85	13,57	167,45

Valores maiores foram encontrados por SILVA et al. (2006), em palha de milho, milheto e soja. Isso mostra que a palha de trigo retêm menor quantidade de água.

A retenção da precipitação pode ser generalizada de acordo com a seguinte relação:

$$L = \frac{Usat - Un}{10^6} MS \quad (3)$$

Em que:

L - lâmina de precipitação retida na camada de palha (mm);

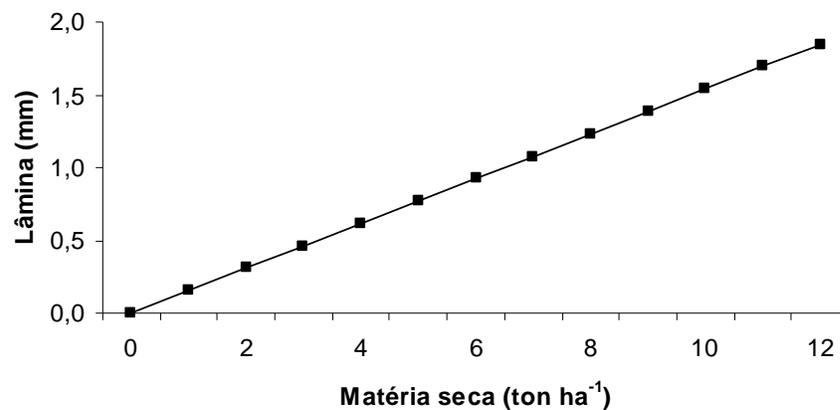
Usat - umidade na saturação (%);

Un – umidade em condições naturais (%);

MS - quantidade de matéria seca (kg).

Assim, em SPD com  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de cobertura morta constituído de restos vegetais da cultura do trigo, serão retidos cerca de 0,4 mm, com  $5 \text{ t ha}^{-1}$  0,8 mm e com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  1,5 mm, que poderão ser evaporados para a atmosfera antes de chegar a zona radicular.

Para resíduos da cultura do milho, FREITAS et al. (2004) encontraram valores semelhantes.



**Figura 16.** Lâmina de água retida em diferentes taxas de palha de trigo.

## 5. CONCLUSÕES

Para as condições estudadas, pode-se concluir que:

A evaporação da água do solo é diretamente influenciada pela frequência das irrigações e das precipitações. Quanto maior a frequência, maiores serão as evaporações;

Em casos de precipitações concentradas em poucos dias, a evaporação é menor à medida que aumenta a quantidade de palha de trigo;

Os valores da evaporação da água do solo reduziram com aumento das taxas de palha de trigo;

Em relação à fração de cobertura do solo, a evaporação diminui à medida que aumenta a porcentagem de cobertura. Porém, quando ocorrem precipitações freqüentes, o efeito dos tratamentos é maior.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. **A Penman for all seasons. Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** Reston, v.112, n.4, p.348-368, 1986.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. **FAO Irrigation Paper 56.** FAO, Roma, 301p. 1998

ANDRADE, J. G., CARLESSO, R., SEGUÍ, J. P., MARTINS, J. D., BROETTO, T. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado em sistema de plantio direto e convencional.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31.. 2007, Gramado - RS. *Anais...*

ANDRADE, R. S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto, em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.35-38, 2002.

BRANDELERO, E. M.; ARAUJO, A. G.; RALISCH, R. **Residue handling effects on soil temperature in no-till system.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING 2008, Foz do Iguaçu – PR. *Anais...*

CAMARGO, R.; PIZA, R. J. Produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto no município de Passos, MG. **Bioscience Journal.** Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 76-80, 2007.

CAMPECHE, L. F. S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima acida `Tahiti` (*Citrus latifolia* Tan.).** 2002. 67f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba

DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional.** 2004. 245f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. **FAO Irrigation and Drainage Paper 33.** FAO, Rome, 193p. 1979

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Fórum Nacional do Trigo**. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/noticias/2008/not0822.htm>>. Acesso em: 24 set. 2008

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro, 412p. 1999

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.236–241, 2005.

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.85-91, 2004.

GAVA, R.; FARIA, R. T.; FREITAS, P. S. L.; LENA, B. P. **Retenção de umidade pela cobertura morta em sistema de plantio direto**, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 2009, 38.. 2009, Juazeiro – BA/Petrolina – PE. *Anais...*

IDISO, S. B.; REGINATO, R. J.; JACKSON, R. D.; KIMBAL, B. A.; NAKAYAMA, F. S. The three stages of drying of a field soil. **Soil. Sci. Amer. Proc.**, v.38, p.831-837, 1974.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa>>. Acesso em: 1 jan. 2010

JENSEN, M.E.; BURMA, R.D.; ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. **Manuals and Reports on Engineering Practice 70 of American Society of Civil Engineers**, New York, 332p. 1990.

MEDEIROS, A. T.; SENTELHAS, P.C.; LIMA, R. N. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba-CE. **Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.31-40, 2003.

ORLANDO, A.F.; FEY, E.; PRIMO, L.; FURLAN, F.; DALLABRIDA, W.R. **Uniformidade da distribuição de restos culturais da soja em colhedoras**

**autopropelidas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. *Anais...* Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, A.A.; KLAR, A.E. Efeito de níveis de cobertura de solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro. **Irriga.** Botucatu, v.7, n.1, p.42-52, 2002.

PHILIP, J. R. Evaporation and moisture and heat fields in the soil. **Journal of Meteorology**, v.14, p.354-366, 1957.

PREVEDELLO, C. L.; LOYOLA, J. M. T. Modelagem numérica para o processo da evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.669-675, 2005.

RITCHIE, J. T. Model for predicting evaporation from a row crop with a incomplete cover. **Water Resources Research.**, v.8, p.1204-1213, 1972.

RODRIGUES, L. N. **Análise e teste do modelo de Ritchie: estudo de caso para a determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.) irrigado.** 1996. 78f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

Secretaria da Agricultura e do abastecimento do Paraná. **Estimativa de safra.** Disponível em : <<http://www.seab.pr.gov.br/>>. Acesso em: 15 out. 2010

SILVA, F. A. M.; PINTO, H. S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milho e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.717-724, 2006.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 19-23, 1999.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S. R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 53-58, 1999.

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

STONE, L. F. ; SILVEIRA, P. M. ; MOREIRA, J. A. A. ; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.577-582, 2006.

VESETH. R.; ENGLE. C.; VOMOCIL. J.; McDOLE. R. **Uniform combine residue distribution for successful no-till and minimum tillage systems.** Crop management series no-till and minimum tillage farming. Disponível em: <<http://pnwsteep.wsu.edu/tillagehandbook/chapter3/030786.htm>>. Acesso em: 2 out. 2007.

## **7. APÊNDICE**

## 7. APÊNDICE – DADOS DE EVAPORAÇÃO E $K_e$

**Quadro 4.** Valores diários de evaporação da água do solo sob quatro taxas de palha de trigo em dois períodos de observações.

Data	PT1					ETo	Data	PT2				
	0	2,5	5	10	t ha <sup>-1</sup>			0	2,5	5	10	ETo
22/09/2008	3,9	3,6	1,8	0,9	3,4	01/12/2008	5,4	3,4	2,5	2,8	5,7	
23/09/2008	2,1	1,7	2,1	1,5	4,2	02/12/2008	2,3	1,7	1,8	1,4	2,6	
24/09/2008	1,7	1,4	1,8	0,7	4,1	03/12/2008	4,4	4,2	3,7	1,9	5,1	
25/09/2008	1,6	1,0	1,1	0,8	3,2	04/12/2008	3,1	2,7	2,7	1,4	5,1	
26/09/2008	1,3	1,3	1,8	2,0	4,0	05/12/2008	2,7	2,3	2,6	1,6	5,4	
27/09/2008	1,4	1,4	1,7	0,9	4,2	06/12/2008	2,3	1,9	2,0	1,4	5,4	
28/09/2008	2,0	1,2	2,1	1,6	4,5	07/12/2008	2,0	1,8	1,7	1,7	5,9	
29/09/2008	1,3	1,2	1,2	0,4	4,1	08/12/2008	1,9	1,6	1,7	1,6	5,7	
30/09/2008	1,3	0,7	1,2	1,2	3,6	09/12/2008	1,9	1,5	1,3	1,8	5,1	
01/10/2008	0,9	0,4	1,3	1,2	3,1	10/12/2008	1,2	0,9	0,7	0,8	2,4	
02/10/2008	1,8	1,7	1,9	2,2	2,6	11/12/2008	2,7	1,8	1,6	2,1	3,3	
03/10/2008	1,8	1,9	1,3	1,8	2,2	12/12/2008	3,0	3,4	2,7	2,3	5,3	
04/10/2008	1,7	0,8	1,7	1,9	2,8	13/12/2008	2,3	2,8	2,3	2,0	5,5	
05/10/2008	1,5	5,6	1,8	4,1	1,8	14/12/2008	1,9	1,9	1,7	1,9	5,7	
06/10/2008	1,8	2,8	0,9	2,8	2,1	15/12/2008	1,5	1,1	1,4	1,2	3,2	
07/10/2008	2,3	2,7	1,3	1,6	4,1	16/12/2008	3,6	2,5	1,9	2,7	3,8	
08/10/2008	5,0	3,9	2,1	1,0	4,2	17/12/2008	4,0	2,9	2,3	2,9	4,1	
09/10/2008	3,3	2,5	2,2	0,6	4,4	18/12/2008	3,6	3,9	2,4	3,1	5,6	
10/10/2008	2,6	2,5	2,5	2,0	4,9	19/12/2008	3,5	3,3	4,9	5,4	5,6	
11/10/2008	0,0	0,3	0,3	0,2	1,5	20/12/2008	2,1	2,3	2,2	2,9	5,5	
12/10/2008	2,5	2,2	2,5	2,1	4,2	21/12/2008	1,9	1,8	2,1	3,0	5,7	
13/10/2008	1,8	1,5	1,9	1,8	4,8	22/12/2008	1,8	1,8	1,8	2,6	5,6	
14/10/2008	1,8	1,5	1,8	2,1	4,4	23/12/2008	1,9	1,4	1,8	2,7	5,8	
15/10/2008	3,5	3,0	2,9	2,7	5,2	24/12/2008	1,9	1,7	1,7	2,7	5,7	
16/10/2008	1,6	1,5	1,5	1,3	3,3	25/12/2008	3,4	2,4	2,1	2,7	4,3	
17/10/2008	1,1	1,3	1,1	0,7	2,7	26/12/2008	4,0	3,3	3,6	4,0	4,7	
18/10/2008	1,8	1,3	1,3	1,2	2,9	27/12/2008	4,3	3,3	2,9	3,6	3,9	
19/10/2008	1,4	1,5	1,2	0,6	2,4	28/12/2008	3,1	3,3	3,0	4,1	5,8	
20/10/2008	1,8	1,6	1,9	0,6	4,8	29/12/2008	2,5	2,2	2,9	4,0	5,0	
						30/12/2008	2,4	2,4	2,9	4,0	5,1	

**Quadro 5.** Valores acumulados de evaporação da água do solo sob quadro taxas de palha de trigo em dois períodos de observações.

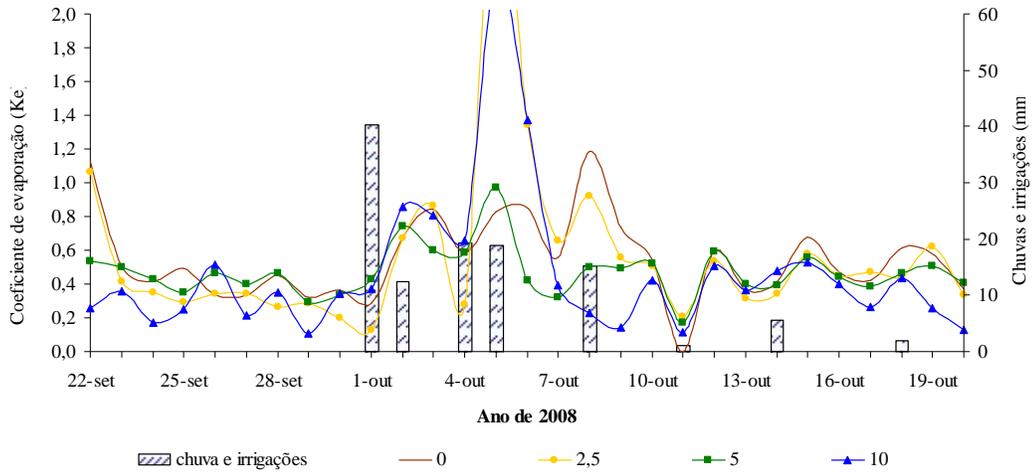
Data	PT1					Data	PT2				
	0	2,5	5	10	ETo		0	2,5	5	10	ETo
22/09/2008	3,9	3,6	1,8	0,9	3,4	01/12/2008	5,4	3,4	2,5	2,8	5,7
23/09/2008	6,0	5,4	3,9	2,4	7,6	02/12/2008	7,7	5,1	4,3	4,2	8,3
24/09/2008	7,6	6,8	5,7	3,1	11,7	03/12/2008	12,1	9,3	8,0	6,1	13,4
25/09/2008	9,2	7,8	6,8	3,9	14,9	04/12/2008	15,2	12,0	10,7	7,5	18,4
26/09/2008	10,5	9,1	8,7	5,9	18,9	05/12/2008	18,0	14,3	13,3	9,1	23,8
27/09/2008	11,9	10,6	10,3	6,8	23,0	06/12/2008	20,3	16,3	15,3	10,5	29,2
28/09/2008	14,0	11,7	12,4	8,4	27,6	07/12/2008	22,3	18,0	17,0	12,2	35,1
29/09/2008	15,3	12,9	13,7	8,9	31,7	08/12/2008	24,3	19,6	18,6	13,8	40,8
30/09/2008	16,6	13,6	14,9	10,1	35,3	09/12/2008	26,2	21,1	20,0	15,5	45,9
01/10/2008	17,5	14,0	16,2	11,2	38,4	10/12/2008	27,4	22,0	20,7	16,3	48,4
02/10/2008	19,2	15,8	18,1	13,5	41,0	11/12/2008	30,1	23,8	22,3	18,4	51,7
03/10/2008	21,1	17,7	19,4	15,2	43,2	12/12/2008	33,1	27,2	25,0	20,7	57,0
04/10/2008	22,8	18,5	21,1	17,1	46,0	13/12/2008	35,4	30,0	27,3	22,7	62,5
05/10/2008	24,2	24,0	22,9	21,2	47,8	14/12/2008	37,4	32,0	29,0	24,6	68,2
06/10/2008	26,0	26,8	23,7	24,0	49,9	15/12/2008	38,9	33,0	30,5	25,8	71,4
07/10/2008	28,3	29,5	25,1	25,6	54,0	16/12/2008	42,5	35,5	32,4	28,6	75,2
08/10/2008	33,3	33,4	27,2	26,6	58,2	17/12/2008	46,5	38,4	34,7	31,5	79,3
09/10/2008	36,5	35,9	29,4	27,2	62,6	18/12/2008	50,1	42,3	37,0	34,5	84,9
10/10/2008	39,2	38,3	31,9	29,2	67,5	19/12/2008	53,6	45,6	42,0	40,0	90,4
11/10/2008	39,2	38,6	32,2	29,4	69,0	20/12/2008	55,7	47,9	44,2	42,8	95,9
12/10/2008	41,6	40,9	34,6	31,5	73,2	21/12/2008	57,6	49,6	46,2	45,8	101,6
13/10/2008	43,4	42,4	36,5	33,3	78,0	22/12/2008	59,4	51,4	48,1	48,4	107,2
14/10/2008	45,2	43,9	38,3	35,4	82,5	23/12/2008	61,3	52,8	49,9	51,2	112,9
15/10/2008	48,8	46,9	41,2	38,2	87,7	24/12/2008	63,2	54,5	51,6	53,9	118,6
16/10/2008	50,3	48,4	42,7	39,5	91,0	25/12/2008	66,6	56,8	53,7	56,6	122,9
17/10/2008	51,5	49,7	43,7	40,2	93,7	26/12/2008	70,6	60,1	57,3	60,6	127,6
18/10/2008	53,2	50,9	45,0	41,4	96,6	27/12/2008	74,9	63,3	60,2	64,2	131,5
19/10/2008	54,6	52,4	46,3	42,0	99,0	28/12/2008	78,0	66,7	63,2	68,3	137,3
20/10/2008	56,4	54,0	48,2	42,7	103,7	29/12/2008	80,5	68,9	66,1	72,4	142,3
						30/12/2008	82,9	71,2	69,0	76,4	147,3

**Quadro 6.** Redução da evaporação por cobertura morta no PT1.

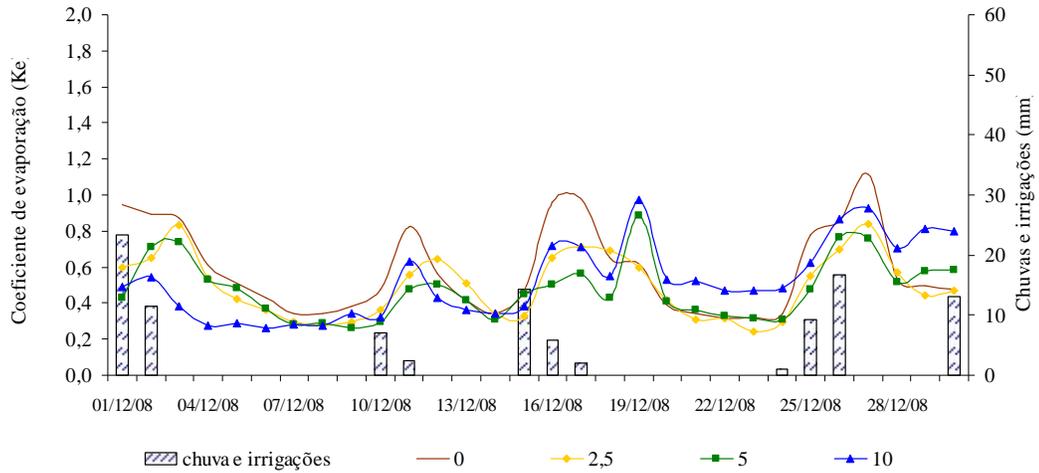
<b>Tratamentos</b>	<b>E acumulada</b>	<b>Redução E</b>	<b>ETo</b>
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>mm</b>	<b>%</b>	<b>mm</b>
0	56,4	0	
2,5	54,0	4,2	103,7
5	48,2	14,6	
10	42,7	24,3	

**Quadro 7.** Redução da evaporação por cobertura morta no PT2.

<b>Tratamentos</b>	<b>E acumulada</b>	<b>Redução E</b>	<b>ETo</b>
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>mm</b>	<b>%</b>	<b>mm</b>
0	53,6	0	
2,5	45,6	14,9	96,2
5	42,0	21,6	
10	40,0	25,4	



**Figura 17.** Coeficiente de evaporação no PT1.



**Figura 18.** Coeficiente de evaporação no PT2.

**Quadro 8.** Valores diários de evaporação da água do solo nos dois períodos observados sob cinco frações de cobertura do solo.

Data	PF1					ETo	Data	PF2					ETo
	0	25	50	75	100			0	25	50	75	100	
28/10/2008	4,6	3,8	2,8	2,5	2,1	4,5	19/01/2009	0,6	0,6	0,5	0,2	0,5	2,2
29/10/2008	2,0	1,9	1,3	1,3	1,7	3,7	20/01/2009	6,9	4,6	3,0	2,3	2,2	3,8
30/10/2008	2,5	2,5	1,9	2,1	1,9	2,1	21/01/2009	2,7	2,2	3,0	3,3	3,7	2,6
31/10/2008	2,6	2,0	2,0	1,4	1,2	2,6	22/01/2009	5,2	3,6	3,2	2,4	1,6	4,3
01/11/2008	2,5	3,0	2,4	2,0	2,1	5,2	23/01/2009	2,7	2,3	2,2	2,2	1,5	4,6
02/11/2008	0,6	0,0	1,5	0,4	0,8	0,9	24/01/2009	2,0	1,4	1,1	1,3	1,2	4,0
03/11/2008	3,5	2,5	5,3	2,5	3,5	3,6	25/01/2009	0,9	0,7	0,3	0,3	0,1	2,8
04/11/2008	3,3	3,2	2,1	2,3	1,8	4,2	26/01/2009	0,8	1,5	1,2	1,5	0,9	1,6
05/11/2008	1,9	1,1	1,4	1,4	0,8	2,5	27/01/2009	2,5	2,5	2,3	1,5	1,4	2,5
06/11/2008	0,2	0,1	0,3	0,3	0,6	1,0	28/01/2009	2,4	1,6	1,6	0,8	0,6	2,3
07/11/2008	3,8	3,8	3,4	3,6	3,8	4,2	29/01/2009	4,9	2,7	2,0	2,2	1,9	3,0
08/11/2008	2,8	2,9	2,1	2,0	1,6	4,6	30/01/2009	3,9	3,0	2,3	1,7	1,6	3,7
09/11/2008	0,2	0,5	0,2	0,4	0,2	2,2	31/01/2009	2,7	2,2	1,6	1,5	1,3	3,9
10/11/2008	3,4	2,7	3,2	1,7	2,3	4,6	01/02/2009	2,7	2,0	1,8	2,4	1,7	4,0
11/11/2008	2,7	2,5	2,4	2,3	1,8	4,8	02/02/2009	2,3	1,6	1,1	1,5	1,6	3,7
12/11/2008	5,1	4,4	4,0	3,0	2,5	4,6	03/02/2009	2,5	2,0	1,6	1,4	1,3	2,5
13/11/2008	3,9	3,2	3,1	2,7	1,8	4,2	04/02/2009	5,0	4,3	3,8	2,2	1,9	3,8
14/11/2008	3,7	3,1	2,8	2,3	1,9	3,8	05/02/2009	3,1	2,8	2,0	1,6	1,4	4,0
15/11/2008	3,4	3,3	2,5	2,2	2,1	5,8	06/02/2009	1,9	1,6	1,5	1,1	0,8	3,7
16/11/2008	2,5	2,1	2,1	2,2	2,4	5,1	07/02/2009	1,9	1,5	1,1	0,8	0,5	2,8
17/11/2008	2,1	1,9	2,4	1,8	2,3	5,3	08/02/2009	2,7	2,0	1,8	1,5	0,4	3,0
18/11/2008	2,0	1,6	1,8	1,5	1,9	5,4	09/02/2009	2,1	2,0	1,8	1,2	1,6	3,2
19/11/2008	1,9	1,4	1,0	1,6	1,5	5,4	10/02/2009	4,2	3,4	2,2	1,8	1,5	3,4
20/11/2008	1,7	1,2	1,3	1,4	1,6	5,4	11/02/2009	1,5	1,6	1,3	0,6	0,6	2,0
21/11/2008	1,3	0,8	0,9	1,1	1,5	4,9	12/02/2009	4,2	2,9	2,6	1,8	1,1	3,6
22/11/2008	1,1	0,8	0,9	1,1	1,2	4,4	13/02/2009	5,4	3,5	2,4	2,3	1,7	3,5
23/11/2008	2,1	2,0	1,5	2,0	1,8	4,2	14/02/2009	2,5	2,0	1,8	1,8	1,2	3,7
24/11/2008	4,2	3,6	2,8	2,7	2,4	5,3	15/02/2009	1,7	1,9	0,8	1,2	0,6	2,9
25/11/2008	2,4	2,2	1,7	2,0	1,9	5,6	16/02/2009	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	1,5
26/11/2008	2,1	1,9	1,5	2,0	1,9	6,0							
27/11/2008	1,8	3,3	2,2	1,4	3,8	5,9							

**Quadro 9.** Valores acumulados de evaporação da água do solo nos dois períodos observados sob cinco frações de cobertura do solo.

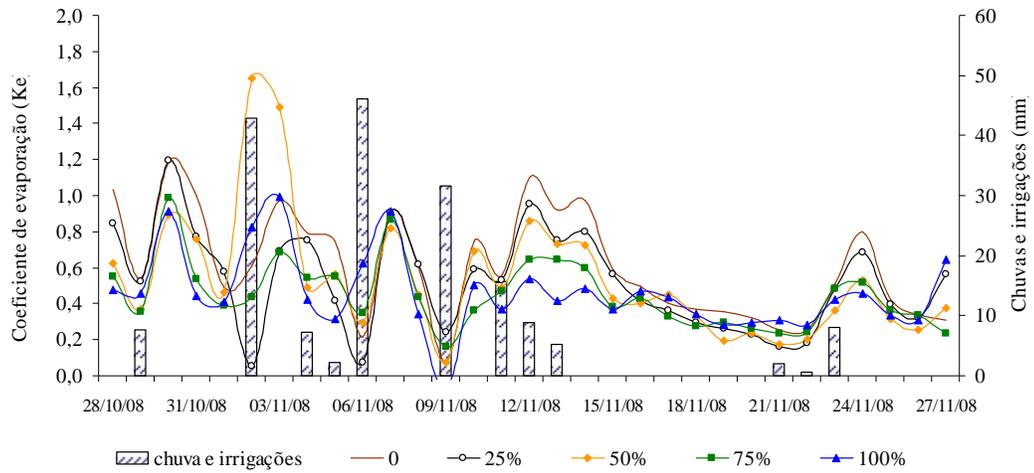
Data	PF1						Data	PF2					
	0	25	50	75	100	ET <sub>o</sub>		0	25	50	75	100	ET <sub>o</sub>
28/10/2008	4,6	3,8	2,8	2,5	2,1	4,5	19/01/2009	0,6	0,6	0,5	0,2	0,5	2,2
29/10/2008	6,6	5,7	4,1	3,8	3,8	8,1	20/01/2009	7,5	5,2	3,5	2,5	2,7	6,0
30/10/2008	9,1	8,3	6,0	5,9	5,8	10,3	21/01/2009	10,2	7,4	6,5	5,8	6,4	8,6
31/10/2008	11,7	10,3	8,0	7,3	6,9	12,9	22/01/2009	15,5	11,0	9,7	8,2	8,0	12,9
01/11/2008	14,3	13,3	10,4	9,3	9,0	18,0	23/01/2009	18,2	13,2	11,8	10,4	9,5	17,5
02/11/2008	14,8	13,3	11,9	9,7	9,8	18,9	24/01/2009	20,2	14,6	12,9	11,7	10,7	21,5
03/11/2008	18,3	15,8	17,2	12,1	13,3	22,5	25/01/2009	21,2	15,4	13,3	12,1	10,8	24,3
04/11/2008	21,6	18,9	19,3	14,4	15,1	26,7	26/01/2009	21,9	16,9	14,5	13,6	11,7	25,9
05/11/2008	23,5	20,0	20,7	15,8	15,9	29,3	27/01/2009	24,4	19,4	16,8	15,0	13,1	28,4
06/11/2008	23,7	20,1	21,0	16,2	16,5	30,2	28/01/2009	26,8	21,1	18,4	15,8	13,7	30,7
07/11/2008	27,5	23,8	24,4	19,7	20,3	34,4	29/01/2009	31,7	23,8	20,4	18,0	15,6	33,7
08/11/2008	30,3	26,7	26,5	21,8	21,9	39,0	30/01/2009	35,6	26,8	22,8	19,7	17,2	37,4
09/11/2008	30,5	27,2	26,6	22,1	21,7	41,2	31/01/2009	38,3	29,0	24,4	21,2	18,5	41,4
10/11/2008	33,9	29,9	29,8	23,8	24,0	45,8	01/02/2009	41,0	31,0	26,2	23,6	20,2	45,4
11/11/2008	36,6	32,5	32,2	26,1	25,8	50,6	02/02/2009	43,3	32,6	27,3	25,1	21,8	49,1
12/11/2008	41,7	36,9	36,1	29,0	28,3	55,2	03/02/2009	45,8	34,6	28,9	26,5	23,0	51,7
13/11/2008	45,5	40,0	39,2	31,8	30,0	59,5	04/02/2009	50,8	39,0	32,7	28,7	25,0	55,5
14/11/2008	49,3	43,1	42,0	34,0	31,9	63,3	05/02/2009	53,9	41,7	34,7	30,4	26,4	59,5
15/11/2008	52,7	46,4	44,5	36,2	34,0	69,1	06/02/2009	55,8	43,4	36,2	31,4	27,3	63,2
16/11/2008	55,2	48,5	46,5	38,4	36,4	74,2	07/02/2009	57,6	44,8	37,3	32,2	27,8	66,0
17/11/2008	57,3	50,4	48,9	40,2	38,7	79,5	08/02/2009	60,4	46,8	39,0	33,7	28,2	69,0
18/11/2008	59,3	52,0	50,7	41,7	40,6	84,9	09/02/2009	62,5	48,8	40,8	34,9	29,8	72,1
19/11/2008	61,2	53,4	51,8	43,2	42,1	90,2	10/02/2009	66,6	52,2	43,0	36,7	31,3	75,5
20/11/2008	63,0	54,6	53,0	44,6	43,7	95,6	11/02/2009	68,2	53,8	44,2	37,4	31,9	77,5
21/11/2008	64,2	55,4	53,9	45,8	45,2	100,5	12/02/2009	72,3	56,8	46,8	39,2	33,0	81,1
22/11/2008	65,4	56,2	54,8	46,8	46,4	104,9	13/02/2009	77,7	60,3	49,2	41,5	34,7	84,6
23/11/2008	67,5	58,2	56,3	48,8	48,2	109,1	14/02/2009	80,2	62,3	51,0	43,4	35,9	88,3
24/11/2008	71,7	61,8	59,1	51,6	50,6	114,3	15/02/2009	81,9	64,2	51,7	44,6	36,5	91,2
25/11/2008	74,1	64,0	60,8	53,6	52,4	119,9	16/02/2009	82,1	64,5	51,9	44,8	36,5	92,7
26/11/2008	76,1	65,9	62,3	55,6	54,3	125,9							
27/11/2008	78,0	69,3	64,5	57,0	58,1	131,8							

**Quadro 10.** Redução da evaporação por cobertura morta no PF1.

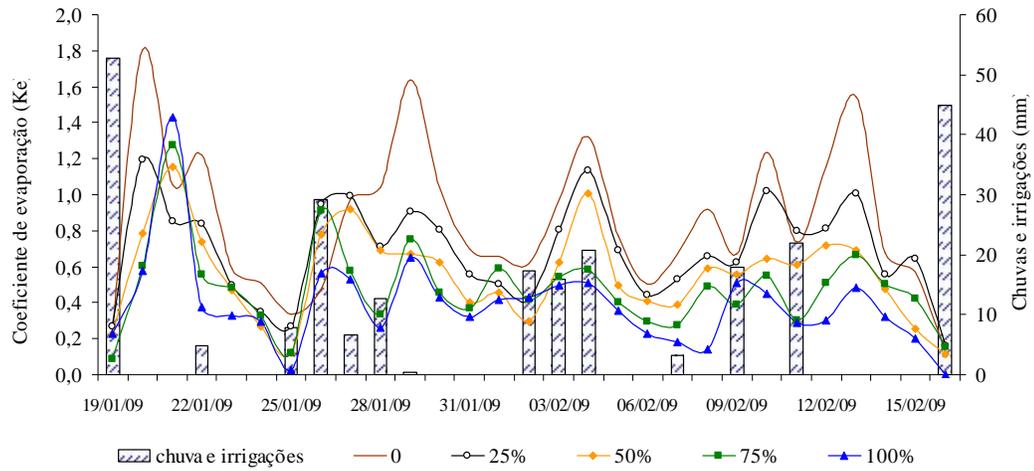
<b>Tratamentos</b>	<b>E acumulada</b>	<b>Redução E</b>	<b>ETo</b>
<b>%</b>	<b>mm</b>	<b>%</b>	<b>mm</b>
0	78,0	0	
25	69,3	11,1	
50	64,5	17,2	131,8
75	57,0	26,9	
100	58,1	25,5	

**Quadro 11.** Redução da evaporação por cobertura morta no PF2.

<b>Tratamentos</b>	<b>E acumulada</b>	<b>Redução E</b>	<b>ETo</b>
<b>%</b>	<b>mm</b>	<b>%</b>	<b>mm</b>
0	82,1	0	
25	64,5	21,5	
50	51,9	36,8	92,7
75	44,8	45,4	
100	36,5	55,5	



**Figura 19.** Coeficiente de evaporação no PF1.



**Figura 20.** Coeficiente de evaporação no PF2.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)