

## DINÂMICA DA ÁGUA NOS RESÍDUOS CULTURAIS EM UM SISTEMA IRRIGADO

MARTA RODRIGUES DA ROCHA<sup>1</sup>; REIMAR CARLESSO<sup>2</sup>; MIRTA TERESINHA PETRY<sup>3</sup>; LAUDENIR JUCIÊ BASSO<sup>4</sup> E SÔNIA THAIS MENEGAZ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutora em Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, n°1000 – Camobi, Santa Maria/ RS/ Brasil, CEP: 97105-900, [marta.da.rocha@gmail.com](mailto:marta.da.rocha@gmail.com).

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Rural, Av. Roraima, n°1000 – Camobi, Santa Maria/ RS/ Brasil, CEP: 97105-900, Santa Maria, RS. [reimar.carlesso@gmail.com](mailto:reimar.carlesso@gmail.com).

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Rural, Av. Roraima, n°1000 – Camobi, Santa Maria/ RS/ Brasil, CEP: 97105-900, Santa Maria, RS, UFSM, [mirta.petry@gmail.com](mailto:mirta.petry@gmail.com).

<sup>4</sup>Mestrando do PPGEA, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, n°1000 – Camobi, Santa Maria/ RS/ Brasil, CEP: 97105-900, [laudejb@gmail.com](mailto:laudejb@gmail.com).

<sup>5</sup>Mestranda em Ciência do Solo e Qualidade da Água, Universidade de Minnesota, Minneapolis, MN 55455, Saint Paul/ Minnesota/ EUA, [soniathaismenegaz@gmail.com](mailto:soniathaismenegaz@gmail.com).

### 1 RESUMO

A redução da evaporação e maior conservação de água no solo são apontados como as vantagens da manutenção dos resíduos na superfície do solo, no Sistema Plantio Direto. Quantificar com acurácia a água conservada no solo é necessário, uma vez que, os efeitos benéficos são controversos. Por outro lado, uma intensa camada de resíduos pode reter grande parte da água de irrigação ou da chuva quando as lâminas forem pequenas, além de dificultar as operações de semeadura. Assim, o objetivo desse trabalho foi quantificar a interceptação de água de irrigação pelos resíduos culturais e o seu efeito nos componentes do balanço hídrico do solo. Para tanto, foi conduzido um experimento na Universidade Federal de Santa Maria, durante 60 dias, nos anos de 2013 e 2014, sob uma cobertura móvel, em parcelas de 9 m<sup>2</sup>. Utilizou-se um delineamento bi-fatorial, com três repetições, onde o fator A foi constituído de três níveis de cobertura do solo: 0; 2 e 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia preta. O fator B foi constituído de três lâminas de irrigação (menor, intermediária e maior). Após cada evento de irrigação, uma amostra de 0,09 m<sup>2</sup> de resíduos vegetais era coletada e pesada, em intervalos de 0; 3; 6 e 24 horas após a irrigação, a fim de medir a água retida pelos resíduos. O conteúdo de água no solo foi monitorado em cada unidade experimental, até a profundidade de 85 cm, utilizando-se um conjunto de sensores FDR (Reflectometria de domínio de frequência). O balanço hídrico do solo foi determinado pela relação entre a lâmina aplicada, subtraída da lâmina infiltrada, a água retida pelo resíduo vegetal e da lâmina evaporada, após cada evento de irrigação. O uso de cobertura sobre o solo é uma maneira eficiente para reduzir a E<sub>s</sub>, entretanto, a água interceptada pelos resíduos vegetais é evaporada, e esta perda deve ser considerada, especialmente quando se trata de pequenas e frequentes lâminas de irrigação por aspersão.

**Palavras-chave:** Balanço Hídrico do Solo, Evaporação, Interceptação.

**ROCHA, M. R.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; BASSO, L. J.; MENEGAZ, S. T.**  
**WATER DYNAMICS IN AN IRRIGATED SYSTEM'S CROP RESIDUES**

## 2 ABSTRACT

Accurately quantifying soil water storage is necessary, since the beneficial effects of a thick mulch layer are controversial. Nevertheless, an intense layer of mulch can retain much of the small irrigation depths or precipitation, as well as hamper sowing operations. The intent of this paper was to quantify water interception by crop residues and the effect in the water balance components in the soil. The experiment was conducted in the Federal University of Santa Maria, during 60 days, in 2013 and 2014, under rainout shelter, in 9 m<sup>2</sup> plots. Bi-factorial delineation was used, with three repetitions, where factor A was constituted of three levels of soil mulching: 0; 2 and 4 t ha<sup>-1</sup> of dry black oat residues. Factor B was constituted of three irrigation depths. After every irrigation event, a sample of 0.09 m<sup>2</sup> of crop residues was collected and weighted, in a time interval of 0; 3; 6 and 24 hours after irrigation, in order to measure the residues retained water. Soil water content was monitored in each experimental unit, to the depth of 85 cm, using a set of FDR sensors (Frequency domain reflectometers). The soil water balance was determined by the relation between irrigation depth applied, subtracted from the infiltrated irrigation depth, the water retained by the residues and the evaporated irrigation depth, after every irrigation event. "The use of crop residue upon the soil surface is an efficient way to reduce Es, however, water intercepted by plant residues can also evaporate, and this loss should be considered, especially when dealing with small and frequent sprinkler irrigation depths".

**Keywords:** Evaporated. Interception. Soil water balance.

## 3 INTRODUÇÃO

Aumentar o armazenamento da água no solo é uma das principais preocupações do manejo de água na agricultura, principalmente em regiões secas ou com distribuição irregular das chuvas. Segundo Leuning et al. (2008), Liu et al. (2012) e Yang et al. (2018) mais de 90% da água utilizada na agricultura é perdida por meio da evapotranspiração. No ambiente natural, a evaporação é um componente básico do ciclo hidrológico, sendo influenciada tanto por fatores micrometeorológicos, como aqueles relacionados ao solo. A evaporação da água da camada superficial do solo é um dos fatores que mais impacta o balanço de água do solo próximo à superfície. A chuva é um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico. Após a ocorrência dessa, a primeira parte do ciclo ocorre na superfície do solo, onde parte da água é interceptada pela vegetação ou pela superfície do solo (no caso da chuva ou irrigação por aspersão) e o restante infiltra-

se na zona insaturada ou escoar superficialmente (GERRITS; SAVENIJE, 2011). A partir da interceptação e do posterior armazenamento da água nos resíduos e no solo, parte da água evapora sucessivamente. Este primeiro ponto de separação do ciclo hídrico nem sempre é considerado; isto se deve em parte às dificuldades técnicas inerentes às medidas de interceptação (LUNDBERG et al., 1997; LLORENS; GALLART, 2000), mas também é geralmente considerado um fluxo menor, embora estudos anteriores indiquem que a interceptação pode representar de 10 a 50% da chuva, de acordo com o tipo de vegetação (KLAASSEN, BOSVELD, WATER, 1998).

Muitos estudos foram conduzidos ao longo dos anos para avaliar o impacto de resíduos de plantas na superfície do solo na interceptação da chuva e/ou irrigação (STEINER, 1989; SAVABI; STOTT, 1994; COOK, VALDES, LEE, 2006; SINGHA et al., 2011), na maioria das vezes utilizando simuladores de chuva. Apesar da

importância do tipo e da espessura da camada do resíduo, as características da chuva e/ou irrigação (quantidade, duração e intensidade) parecem ser os fatores mais importantes na quantidade de água retida. Savabi e Scott (1994) encontraram que, para uma mesma quantidade de massa seca, o resíduo vegetal de trigo interceptou significativamente mais água que resíduos de milho e soja, sendo que o milho e a soja interceptaram a mesma quantidade de água. Price e Black (1989) reportaram que em condições de clima temperado, uma cobertura de resíduo vegetal interceptou a chuva em taxas de até  $2,4 \text{ mm dia}^{-1}$ , embora o efeito líquido do resíduo vegetal na interceptação tenha sido pequeno, devido à redução gradual do fluxo de calor.

A evaporação do solo ( $E_s$ ) pode ser o maior componente do balanço hídrico do solo, sobretudo nas fases iniciais dos cultivos, quando o dossel é insuficiente para sombrear a superfície do solo. Assim, a perda de água por evaporação impacta na umidade do solo próximo à superfície. De uma maneira geral, acredita-se que a manutenção de resíduos vegetais sobre o solo auxilia na conservação da água no solo. Entretanto, o total de água que pode ser conservado em função dessa prática necessita ser quantificado com acurácia (KLOCKE, CURRIE, AIKEN, 2009), uma vez que os efeitos benéficos do não revolvimento e da manutenção de resíduos culturais na superfície são controversos (DALMAGO, 2004; DALMAGO et al., 2010). O resíduo vegetal altera as perdas de água na superfície por diminuir a influência dos parâmetros meteorológicos (AYDIN et al., 2005; CHEN et al., 2007).

A  $E_s$  é um importante fator de perda dentro do ciclo hidrológico podendo, em certos casos, responder por cerca de metade da perda por evapotranspiração (KOOL et al., 2014) e é a via dominante para a circulação de água para a atmosfera no estágio inicial de crescimento da cultura (YUNUSA et al., 1993; SINGHA et al.,

2011). Deste modo, a identificação adequada dos fatores que mais a influenciam é do interesse da hidrologia, da agronomia, da meteorologia e de áreas correlatas.

A aveia preta (*Avena strigosa*) destaca-se como cultura de cobertura, na região Sul do Brasil, por produzir uma boa quantidade de palha e fazer uma boa cobertura do solo, o que facilita o controle de plantas daninhas, além do sistema radicular profundo, que é importante para melhorar a estrutura do solo; já as leguminosas, como plantas de coberturas, decompõe-se e mais rápido que as gramíneas, em função da baixa relação C:N dos resíduos (SILVA et al., 2009).

Estudos envolvendo a dinâmica da água retida pelo resíduo vegetal são importantes, porque a água da chuva ou irrigação somente poderá ser contabilizada no balanço hídrico do solo depois de infiltrada. Assim, o objetivo desse trabalho foi quantificar o efeito da cobertura do solo por resíduos vegetais nos componentes do balanço hídrico do solo em áreas irrigadas e avaliar a dinâmica da água interceptada pelos resíduos vegetais após o umedecimento pela irrigação por microaspersão em uma área em Santa Maria – RS.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido de Novembro de 2013 a Janeiro de 2014, em área do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria – RS, situada em Latitude de  $29^{\circ}41'24''\text{S}$  e Longitude de  $53^{\circ}48'42''\text{W}$ . O clima da região é do tipo “Cfa” subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões secos, segundo classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006). O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006),

com uma camada superficial de textura franca e um horizonte B<sub>t</sub> (B textural), de textura argilosa.

O experimento foi conduzido no interior de uma cobertura móvel (“*Rainout Shelter*”) estruturada sobre uma armação metálica, fechada no teto e nas laterais com zinco, com acionamento eletromecânico. O uso desta estrutura permite o controle das chuvas e possibilita a análise de diferentes níveis de irrigação sem a interferência das mesmas (OLIVEIRA, 2011). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de distribuição bi-fatorial, com três repetições. O fator A foi constituído de três níveis de

cobertura do solo: nulo (0 t ha<sup>-1</sup>), médio (±2 t ha<sup>-1</sup>) e alto (±4 t ha<sup>-1</sup>) de massa seca (MS) de resíduo vegetal de aveia preta (*Avena strigosa*), sem o cultivo de plantas; o fator B foi constituído de diferentes lâminas de irrigação: menor, intermediária e maior. As lâminas brutas são apresentadas na tabela 1 e foram quantificadas por 4 pluviômetros distribuídos aleatoriamente em cada unidade experimental. As parcelas experimentais tinham dimensões de 3 x 3 m (9 m<sup>2</sup>). O sistema de irrigação utilizado foi microaspersão, com aspersores tipo bailarina, com taxa de aplicação média de 8 mm h<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Lâmina irrigada média e desvio padrão da média nos 3 grupos (menor, intermediária e maior) nas respectivas datas de avaliação.

Data de avaliação	Lâmina menor	Lâmina intermediária	Lâmina maior
		(mm)	
1° 14/11/2013	4,5 (± 1,006)	6,5 (± 1,185)	13,3 (± 3,840)
2° 23/11/2013	3 (± 0,785)	5 (± 0,974)	11,2 (± 3,231)
3° 03/12/2013	3 (± 0,969)	5,9 (± 1,505)	11,6 (± 3,555)
4° 12/12/2013	3,1 (± 1,178)	6,1 (± 1,398)	11,3 (± 3,096)
5° 19/12/2013	3,1 (± 1,370)	4,8 (± 1,463)	10,9 (± 2,976)
6° 26/12/2013	3,8 (± 1,154)	6,4 (± 1,702)	12,2 (± 3,722)
7° 02/01/2014	3,5 (± 1,324)	6,1 (± 1,402)	12,2 (± 3,780)
8° 06/01/2014	3,2 (± 0,829)	5,6 (± 1,127)	12,9 (± 3,181)
9° 14/01/2014	4 (± 1,257)	5,5 (± 0,888)	12,7 (± 3,217)

O conteúdo volumétrico de água no solo foi mensurado utilizando um conjunto de sensores FDR, modelo CS 615, conectados a multiplexadores AM16/32 e, as informações automaticamente armazenadas em um *datalogger* CR-1000 (Campbell Scientific, Inc.), de 15 em 15 minutos, totalizando 96 registros diários. Em cada unidade experimental, 4 sensores estão instalados nas profundidades de 0 – 0,10; 0,10 – 0,25; 0,25 – 0,55 e 0,55 – 0,85 m. A lâmina de água armazenada em cada camada e no perfil do solo foi calculada pelo produto do conteúdo volumétrico de água no solo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e a espessura da camada considerada (mm). Para a

estimativa do balanço hídrico (Equação 1) foi utilizado o conteúdo de água no solo da camada 0 – 0,25 m, pois os sensores das camadas mais profundas apresentavam variações aleatórias, não correspondendo às irrigações.

O conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) foi determinado 12 horas após a saturação do solo, utilizando a média das leituras registradas pelos sensores FDR instalados em cada uma das profundidades, em 33 parcelas experimentais.

A interceptação (lâmina retida pelos resíduos vegetais,  $W_{palha}$ ), foi determinada pela diferença entre a umidade presente nos

resíduos antes e depois da irrigação (0; 3; 6 e 24 h após as irrigações). As coletas de resíduo foram feitas aleatoriamente nas unidades experimentais, com o auxílio de um quadro amostral de 0,30 x 0,30 m, recolhendo-se o resíduo disposto sobre o solo contido no quadro, similar ao método descrito por Shaw, Pittenger e McMaster (2005). Após, as amostras foram pesadas e

secadas em estufa de ventilação forçada, com temperatura de 60°C por 48 h, sendo novamente pesadas (para determinar a massa seca) e devolvidas às respectivas parcelas experimentais.

O balanço hídrico solo (BH), foi calculado pela diferença entre as entradas e saídas de água no sistema, com base na seguinte expressão:

$$BH (mm) = I - (E_s + W_{solo} + W_{palha}) \quad (1)$$

Onde: I corresponde à lâmina bruta irrigada (mm);  $E_s$  é a evaporação da água do solo (mm);  $W_{solo}$  é a variação no conteúdo de água no solo na camada de 0 – 0,25 m em um dia de avaliação (mm);  $W_{palha}$  é a quantidade de água retido pelos resíduos vegetais nos tratamentos 2 e 4 t ha<sup>-1</sup> (mm).

A  $E_s$  foi calculada a partir da aproximação do FAO-56 (ALLEN et al., 1998), que é similar às proposições de Ritchie (1972), no qual a  $E_s$  é máxima quando o solo está úmido. Assim, para um solo sem plantas e sem resíduos na superfície, a  $E_s$  foi estimada a partir da expressão:  $E_s (mm dia^{-1}) = 1,15 \cdot ET_o$ , onde  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência.

Para os tratamentos com resíduo vegetal, a  $E_s$  diária foi calculada a partir da expressão:  $E_s (mm dia^{-1}) = K_e \cdot ET_o \cdot f_{ew}$  onde:  $K_e$  é coeficiente de evaporação da superfície do solo (nesse caso, para o primeiro dia após o umedecimento, o  $K_e$  utilizado foi igual a 1,0;  $f_{ew}$  é a fração de solo umedecida e exposta (30 e 20% para o tratamento com 2 t ha<sup>-1</sup> e 4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). A  $f_{ew}$  foi estimada através de imagens, obtidas com câmera digital comum, instalada a uma altura fixa do solo com o auxílio de um tripé, sobre as unidades experimentais. Estas imagens foram processadas com o *software* SIARCS,

disponível gratuitamente na página da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

A evapotranspiração de referência horária ( $ET_o$  horária) foi calculada, por meio da equação FAO-56 Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), seguindo os procedimentos descritos por Allen et al. (2006). A  $ET_o$  diária foi obtida pela soma da  $ET_o$  horária desde a hora de início das irrigações, até o final do mesmo dia. No cálculo do balanço hídrico, foi considerado a  $ET_o$  horária das 10 às 13 h, ou seja, 3 h após o final das irrigações.

A  $W_{solo}$  após cada evento de irrigação foi calculada pela diferença entre o conteúdo de água no solo no momento anterior ao início da irrigação e o conteúdo de água registrado ao final do dia, nas camadas superficiais do solo. A lâmina de água foi calculada multiplicando-se o conteúdo de água (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) pela espessura da camada (0 – 250 mm). A  $W_{palha}$  foi determinada pela diferença entre a umidade do resíduo vegetal antes da irrigação, coletando-se uma amostra de 0,09 m<sup>2</sup> e a água retida pelo resíduo nas 3; 6 e 24 horas após cada irrigação, considerando o mesmo tamanho de amostragem (Equação 2). A umidade medida em gramas (g) foi transformada para lâmina assumindo-se que 1 g de água equivale a 1 cm<sup>3</sup> de água, à temperatura de 20°C.

$$W_{palha}(mm) = \frac{W_{palha}(cm^3)}{\text{Área}(cm^2)} \quad (2)$$

A  $E_s$  diária foi determinada em ciclos de secagem do solo, que é o intervalo de entrada de água no solo, ou seja, entre as avaliações. A  $E_s$  acumulada é a soma das  $E_s$  diárias de um ciclo de secagem.

As avaliações foram iniciadas sempre no mesmo horário, às 8:30, começando com a coleta de resíduos vegetais para a determinação do conteúdo de água retido nos resíduos antes das irrigações e coleta (captura) das imagens da cobertura do solo. Às 9:00 eram iniciadas as irrigações e na sequência foram realizadas as coletas de resíduo (3 e 6 horas após as irrigações).

A análise estatística foi realizada utilizando-se o pacote estatístico R (R CORE TEAM, 2015), determinando-se a análise de variância e comparando os tratamentos por meio dos testes F e Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados de evaporação de água do solo, em nível de 5% de probabilidade de erro.

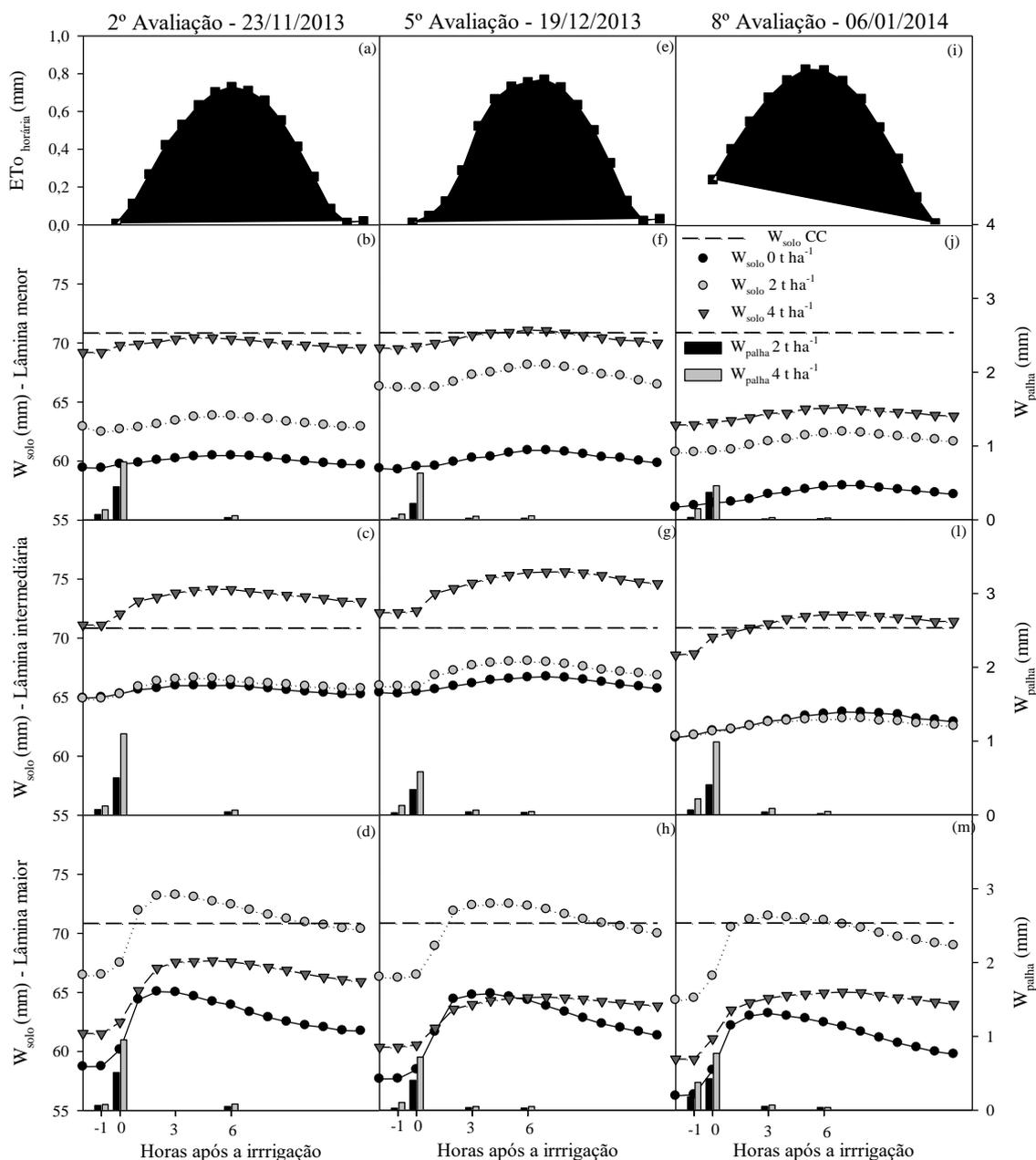
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de avaliação do experimento foi de sessenta (60) dias, iniciando-se em 14 de novembro de 2013 e finalizando em 14 de janeiro de 2014. O valor médio  $ET_o$  diária foi de  $5,08 \text{ mm dia}^{-1}$  e a chuva acumulada no período foi de quase 300 mm. As médias normais de precipitação para Santa Maria para os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro são 120,

134 e 148 mm, respectivamente, considerando um período climático de 1969 – 2005 (MARTINS et al., 2013). As chuvas ficaram abaixo das médias climatológicas normais para os meses de primavera-verão, fato que explica a  $ET_o$  mais elevada que a normal climatológica para esse mesmo período ( $3,9 \text{ mm dia}^{-1}$ ). A  $ET_o$  é primariamente influenciada por elementos meteorológicos, principalmente a radiação solar, por ser a fonte de energia para a evaporação da água (ALLEN et al., 1998; JENSEN; ALLEN, 2016).

A  $ET_o$  horária, a  $W_{\text{solo}}$  na camada de 0 – 0,25 m e a  $W_{\text{palha}}$ , nos diferentes níveis de resíduos e nas três lâminas de irrigação em três avaliações (2º - 23/11/2013, 5º - 19/12/2013 e 8º - 06/01/2014) são apresentadas na figura 1. A lâmina diária armazenada representa a média de três repetições, para sensores colocados nas profundidades de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,25 m (considerando a camada evaporativa). Observa-se ao longo de todo o período de avaliação que o solo sem a presença de resíduos culturais na superfície apresentou menor lâmina de água armazenada, em comparação aos tratamentos com 2 e 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduos. O solo com 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduos na superfície apresentou maior lâmina de água armazenada, durante todo o período de execução do experimento. Como não houve consumo de água, devido à ausência de plantas, a variação na lâmina de água foi causada pelas perdas por evaporação e redistribuição interna no perfil.

**Figura 1.** Evapotranspiração de referência horária ( $ET_o$  horária) nas 2°, 5° e 8° avaliações, representadas em (a), (d) e (i) respectivamente; variação no conteúdo de água no solo ( $W_{solo}$ ), conteúdo de água na capacidade de campo ( $W_{solo}$  CC) e conteúdo de água nos resíduos vegetais ( $W_{palha}$ ) representadas em (b), (c) e (d) para a 2° avaliação; (f), (g) e (h) para a 5° avaliação e (j), (l) e (m) para a 8° avaliação nas diferentes lâminas de irrigação aplicadas: menor, intermediária e maior, antes (-1), logo após a irrigação (0), 3 e 6 h após a irrigação.



Os valores de  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  na camada 0 – 0,10 m são de 0,281 e 0,119  $\text{cm cm}^{-3}$ ; respectivamente; já na camada 0,10 – 0,25 o valor do  $\theta_{CC}$  é de 0,285  $\text{cm cm}^{-3}$  e de  $\theta_{PMP}$  é de 0,112  $\text{cm cm}^{-3}$ . A lâmina de água

armazenada na camada 0 – 0,25 m se manteve próximo da lâmina na CC, durante a maior parte do período. Maior variação no armazenamento foi observada quando foram aplicadas lâminas maiores de

irrigação (Figura 1 d, h, m), em relação às lâminas menores (Figura 1 b, f j) e intermediárias (Figura 1 c, e, g). Maior declínio nas lâminas armazenadas, em todos os tratamentos, foram observadas na fase final do experimento (8<sup>o</sup> avaliação) especialmente no tratamento onde a lâmina irrigada foi menor (Figura 1j), em função da maior demanda evaporativa e da decomposição dos resíduos, deixando o solo mais exposto aos fatores meteorológicos.

O conteúdo de água no solo sem resíduo permaneceu menor durante todo o período de avaliação em relação aos outros tratamentos cobertos com resíduo vegetal, indicando que a camada mais espessa de resíduos pode ter contribuído mais efetivamente na redução do transporte de vapor de água do solo para a atmosfera, concordando com resultados encontrados por McMillem (2013) e Baumhardt e Jones (2002), no qual o solo descoberto perdeu mais da metade do conteúdo de água na camada superficial após três dias de secagem, enquanto o solo mantido com uma camada de resíduos perdeu apenas 20%.

Os valores de  $ET_o$  horária não ultrapassaram 1 mm em nenhuma das nove avaliações, atingindo 0,85 mm na 6<sup>o</sup> avaliação (26/12/13). O pico de  $ET_o$  horária ocorre entre às 13 e 17 horas, neste caso, três a cinco horas após o início das irrigações. Os valores diários de  $ET_o$  foram de 6,1; 6,3 e 6,7 mm dia<sup>-1</sup> na 2<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup> e 8<sup>o</sup> avaliação, respectivamente.

A maior variação no  $W_{solo}$  ocorre nas primeiras horas após o umedecimento que elevou a umidade para a CC ou acima dessa. Quando a superfície do solo está úmida e a energia disponível para a evaporação não é limitante, as perdas de água por evaporação em solos descobertos superam a  $ET_o$  diária (RITCHIE, 1972).

Analisado o  $W_{solo}$  nos tratamentos que receberam as menores lâminas aplicadas (Figura 1 b, f, j) e os elevados valores de demanda evaporativa (Figura 1 a,

e, i), 12 horas após as irrigações as perdas por evaporação atingiram 100 % da lâmina de água que sensibilizou os sensores, não havendo diferença entre os níveis de cobertura do solo. Já nas lâminas intermediárias, a presença dos resíduos vegetais no solo modificou a dinâmica (comportamento) da água no solo, pois o tratamento com 4 t ha<sup>-1</sup> de MS se manteve com maior conteúdo de água que os demais.

Quanto a  $W_{palha}$ , observou-se maior retenção de água pelos resíduos imediatamente após o encerramento das irrigações no tratamento com 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduos, comparado ao tratamento com 2 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Esses resultados diferem daqueles relatados por Price, Rochefort e Quinty (1998), no qual resíduos culturais de trigo interceptaram 2,4 mm dia<sup>-1</sup>, o que correspondeu a 44% da chuva aplicada artificialmente usando um simulador de chuva. O trabalho de Price, Rochefort e Quinty (1998) foi conduzido em ambiente temperado, cujas condições diferem das desse experimento. Observou-se ainda, uma melhor relação entre a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo e a interceptação, comparado à lâmina aplicada com a interceptação de água pelos resíduos. Aproximadamente 3 horas após o término da irrigação, o  $W_{palha}$  apresentava valores semelhantes àqueles observados antes da irrigação, atestando a influência significativa dos fatores meteorológicos na dinâmica da água na superfície de solos (descobertos e/ou a lâmina interceptada pelos resíduos).

Para a taxa de evaporação de água do solo é tanto maior quanto mais úmida estiver sua superfície (KLOCKE, 2004a). A água retida pelos resíduos culturais provavelmente também foi perdida por evaporação, uma vez que, não se verificou um incremento na lâmina de água infiltrada na primeira camada do solo em períodos superiores a 60 minutos após a irrigação. A  $W_{palha}$  coletada 24h após as irrigações foram influenciadas pela formação de orvalho na

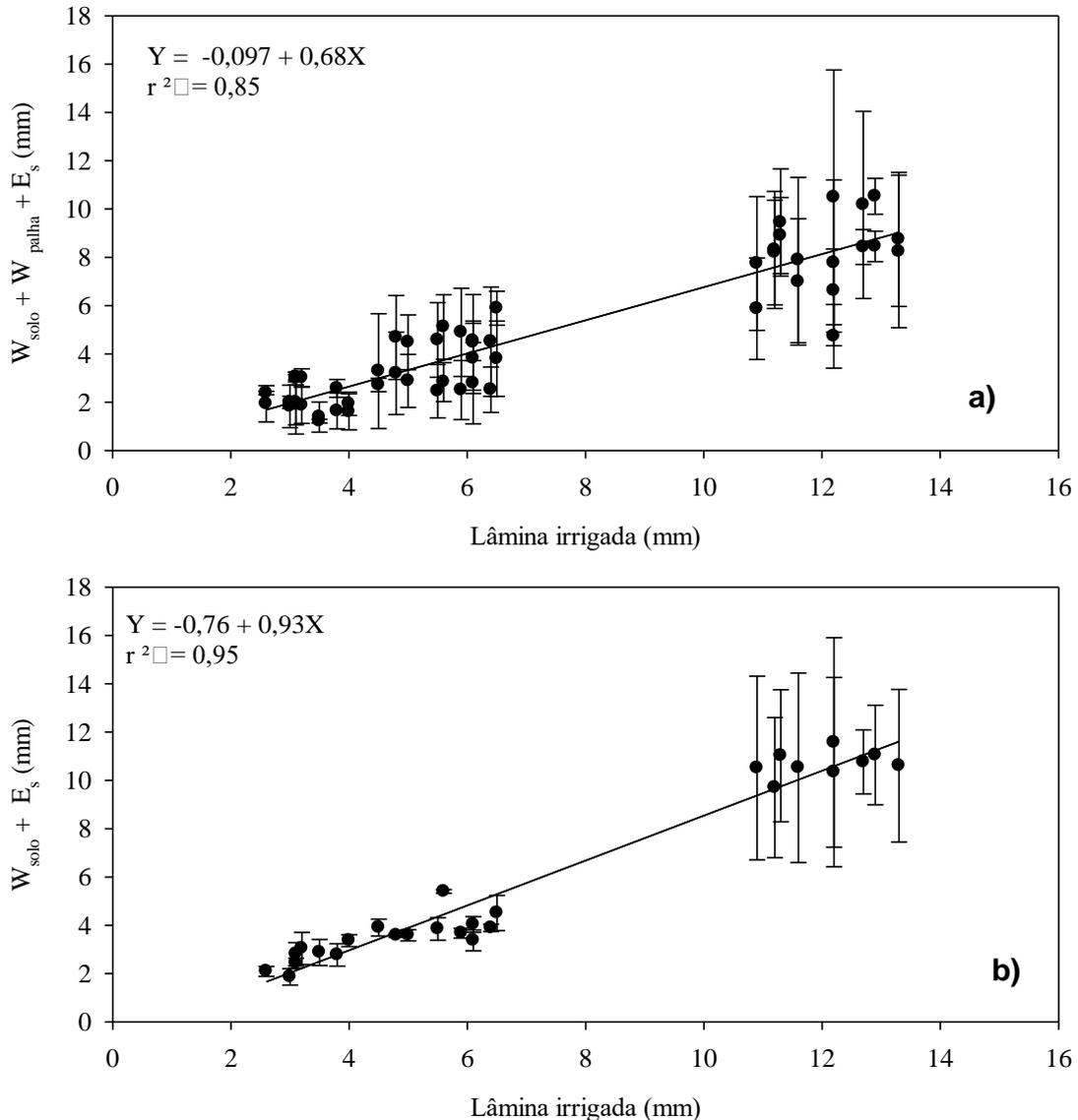
superfície do resíduo, e não pela irrigação do dia anterior.

Observando a variação da lâmina armazenada em função do tempo de secagem, percebe-se que, a maior influência da presença de uma camada de resíduos vegetais na superfície do solo é na redução da água prontamente evaporável. Entretanto, tanto a água interceptada pela palha como a infiltrada continua evaporando ao longo do tempo, fazendo com que a evaporação acumulada ao final do período seja semelhante entre o solo descoberto e o com resíduos. Resultados semelhantes foram observados por Dalmago et al. (2010), comparando o sistema plantio direto e convencional. No caso desse experimento, o solo sem resíduos não foi cultivado ou revolvido, de forma que, a característica dos poros não foi alterada, fazendo com que o fluxo ascendente de água persistisse ao longo do tempo, sob influência dos fatores meteorológicos, aumentando a evaporação

acumulada. Fuchs e Hadas (2011) encontraram que, quanto maior o índice de cobertura proporcionado pela camada de resíduos, maior será a resistência aos fatores convectivos e ao fluxo de vapor de água do solo. Entretanto, essas observações necessitam ser aferidas para as condições meteorológicas na primavera-verão no Sul do Brasil, através da medição do albedo e espessura dos resíduos, para poder calcular a resistência efetiva ao fluxo de vapor imposto pelos resíduos.

A relação entre a lâmina de irrigação aplicada e a soma entre  $W_{\text{solo}}$ ,  $W_{\text{palha}}$  e  $E_s$  é apresentada na figura 2. Observou-se uma relação linear positiva entre a lâmina aplicada e os diferentes componentes do balanço hídrico (Figura 2a), para 2 e 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduo na superfície do solo. Como poderia ser esperado, quanto menor a lâmina aplicada, menor é a infiltração da água e maior é a contribuição da  $E_s$  no balanço hídrico da camada superficial do solo.

**Figura 2.** Relação entre as lâminas irrigadas e a água infiltrada ( $W_{\text{solo}}$ ), retida pelos resíduos ( $W_{\text{palha}}$ ) e evaporada ( $E_s$ ) para o solo com 2 e 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais na superfície do solo (a) e solo descoberto (b). As linhas verticais representam o desvio padrão entre as médias dos tratamentos.



A aplicação de uma lâmina de irrigação próxima de 12 mm (maior lâmina) resultou em maior variabilidade entre os componentes do balanço hídrico do solo (infiltrado + retido no resíduo + evaporado). Essa menor lâmina infiltrada observada pode ter sido devido ao fato de ser utilizada somente a camada superficial do solo (0 – 0,25 m), uma vez que, para a lâmina menor (média de 3,4 mm) e intermediária (5,8

mm), não se observou infiltração para camadas abaixo dessa.

Embora as relações entre a lâmina irrigada e os componentes do balanço hídrico tenham apresentado um bom ajuste para o modelo linear ( $R^2$  variando entre 0,85 e 0,95; para os tratamentos com resíduos e sem resíduos, respectivamente), aproximadamente 35% da água aplicada não foi computada no balanço hídrico e podem ser classificadas como erro

experimental. A água não computada pode estar tanto na  $E_s$ , ou seja, uma maior porcentagem deve ser atribuída à  $E_s$ , mesmo com a presença de resíduos na superfície e, eventualmente, à equívocos na mensuração da lâmina bruta que efetivamente atingiu o solo em cada parcela experimental, precisamente na área de abrangência dos sensores FDR.

Na figura 2b é apresentada a relação entre a lâmina irrigada e os componentes do balanço hídrico (infiltrado + evaporado) para o solo sem resíduos na superfície. Obteve-se um melhor ajuste para o modelo linear ( $R^2 = 0,95$ ) em relação aos tratamentos com resíduos. Durante todo o período de avaliação, aproximadamente 50% da água computada no balanço hídrico foi devido às perdas por  $E_s$ , o que era esperado, uma vez que, devido à exposição contínua da superfície à ação dos elementos micrometeorológicos, sobretudo a radiação solar. Em solos descobertos e com umedecimento frequente pela irrigação, Klocke et al. (2009) encontraram resultados semelhantes, para um solo franco siltoso, no Texas.

Não se observou interação significativa entre lâminas de irrigação aplicadas e água retida pelos resíduos, lâminas irrigadas ou armazenamento de água na camada de 0 - 0,25 m, nas diferentes datas de avaliação. Essa não significância pode ter sido motivada pelo elevado coeficiente de variação (dados não apresentados) e desvio padrão (figura 2), principalmente para as lâminas maiores. Maiores discrepâncias no balanço hídrico foram observadas para as lâminas maiores (média de 12,3 mm), embora as perdas totais observadas tenham sido maiores quando se aplicou lâminas menores. A lâmina aplicada em cada evento

de irrigação deve ser tal que não provoque perdas por escoamento superficial ou percolação profunda, e que atenda adequadamente o requerimento hídrico das plantas na profundidade do perfil do solo influenciado pela distribuição do sistema radicular.

O balanço hídrico considerado ideal é quando o fluxo de entradas e saídas no sistema é nulo. Para Yamanaka, Inoue e Kaihotsu (2004), pouca atenção tem sido dada aos mecanismos que induzem a redução da evaporação em solos com resíduos culturais na superfície. Estes autores relatam ainda que, o aumento de resistência ao vapor de água é a função mais importante do uso de uma cobertura, no entanto, em uma condição de solo descoberto, durante o processo de secagem do solo, ocorre a formação de uma camada superficial seca, em que a água se move apenas na fase de vapor. Esta camada atua como cobertura isolante natural.

## 6 CONCLUSÕES

O uso de cobertura sobre o solo é uma maneira eficiente para reduzir a troca de vapor de água entre a superfície do solo e a atmosfera. Por tanto, a evaporação de água a partir de um solo com cobertura (resíduos vegetais) diminui em relação a um solo descoberto e aumenta a água disponível para a transpiração da cultura, entretanto a água interceptada pelos resíduos vegetais é perdida por evaporação, e esta perda deve ser considerada, especialmente quando se trata de pequenas e frequentes lâminas de irrigação por aspersão.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ITENFISU, D.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; BASELGA YRISARRY, J.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; WALTER, I.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman–Monteith method. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 81, p. 1-22, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.007>>. Acesso em: 03 jun. 2016.
- AYDIN, M.; YANG, S. L.; KURT, N.; YANO, T. Test of a simple model for estimating evaporation from bare soils in different environments. **Ecological Modeling**, Amsterdam, v. 182, p. 91-105, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.013>>. Acesso em: 10 ago. 2016
- SINGHA, B.; EBERBACHA, P. L.; HUMPHREYSB, E; KUKALC, S. S. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 1847-1855, 2011.
- BAUMHARDT, R. L.; JONES, O. R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum, for a clay loam in Texas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 68, p. 71-82, 2002.
- COOK, H. F.; VALDES, G. S. B.; LEE, H. C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 227-235, 2006.
- DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. Tese. (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 245p. Porto Alegre, RS. 2004.
- DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 8, p. 780-790, 2010.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.
- FUCHS, M.; HADAS, A. Mulch resistance to water vapor transport. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 990-998, 2011.
- GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE H. H. G. Interception. In: UHLENBROOK, S. **The Science of Hydrology**. Delft: Department of Water Engineering, 2011. p. 89-99.

JENSEN, M. E.; ALLEN, R. G. **Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements**: ASCE Manuals and Reports Engineering Practice. 2. ed. Reston: American Society of Civil Engineers, 2016. 769 p.

KLAASSEN, W.; BOSVELD, F.; WATER, E. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212/213, p. 36-50, 1998.

KLOCKE, N. L. **Crop Residue and Soil Water Evaporation**. 2004. Monografia.7 f. (22-18) Water Resources Engineering. Kansas State University. Garden City, Kansas. 2004. Disponível em: <<https://www.ksre.k-state.edu/irrigate/reports/Klocke.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2014.

KLOCKE, N. L.; CURRIE, R. S.; AIKEN, R. M. Soil water evaporation and crop residues. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. St. Joseph, Michigan. v.52, n.1: p. 103-110, 2009. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=25951&t=2&redir=&redirType=>. Consultado em: 11 abril 2019

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROCIVH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BEN-GAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 184, p. 56-70, 2014.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol. Zeitschrift**. Stuttgart, v. 15, p. 259-263, 2006.

LEUNING, R.; ZHANG, Y. Q.; RAJAUD, A.; CLEUGH, H.; TU, K. A simple surface conductance model to estimate regional evaporation using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation. **Water Resources Research**, Hoboken, v. 45, p. 652-655, 2008.

LIU, G.; LIU, Y.; HAFEEZ, M.; XU, D.; VOTE, C. Comparison of two methods to derive time series of actual evapotranspiration using eddy covariance measurements in the southeastern Australia. **Journal Hydrology**, Amsterdam, v. 454/455, p. 1-6, 2012.

LLORENS, P.; GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 240, p. 131-144, 2000.

LUNDBERG, A.; ERIKSSON, M.; HALLDIN, S.; KELLNER E.; SEIBERT, J. New approach to the measurement of interception evaporation. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston, v. 14, p. 1023-1035, 1997.

MARTINS, J. D.; RODRIGUES, G. C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A.; PETRY, M. T.; PEREIRA, L. S. Dual crop coefficients for full and deficit irrigated maize in southern Brazil: model calibration and validation for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**., Amsterdam, v. 115, n. 3, p. 291-310, 2013.

MCMILLEN, M. **The effect of mulch type and thickness on the soil surface evaporation rate.** San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2013.

OLIVEIRA, Z. O. **Perdas de água e variações na temperatura de um argissolo vermelho em função de diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície e espaçamentos entre linhas do feijoeiro.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PRICE, D. T.; BLACK, T. A. Estimation of forest transpiration and CO<sub>2</sub> uptake using the Penman-Monteith equation and a physiological photosynthesis model. In: BLACK, T. A.; SPITTLEHOUSE, D. A.; NOVAK, M. D.; PRICE, D. T. (Ed.). **Estimation of Areal Evapotranspiration.** Vancouver: IAHS Publisher, 1989. p. 213–227.

PRICE, J. J.; ROCHEFORT, L.; QUINTY, F., Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface micro topography, mulch cover and Sphagnum regeneration. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 10, p. 293–312, 1998.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 jul. 2017

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

SAVABI, M. R.; STOTT, D. E. Plant residue impact on rainfall interception **American Society of Agricultural and Biological Engineers** , St. Joseph, v.37 , n.4 , p. 1093-1098, 1994.

SHAW, D. A.; PITTENGER, D. R.; MCMASTER, M. Water Retention and Evaporative Properties of Landscape Mulches.. In: Proc. 26th Annual Irrigation Show, Phoenix, AZ, Nov. 6-8, **Irrigation Assoc.**, Falls Church, VA. 2005. Disponível em: <<https://ucanr.edu/sites/UrbanHort/files/80238.pdf>> Acesso em: 11 abril 2016

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; DA SILVA, A. F.; AGNES, E. L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p.496-506 , 2009.

STEINER, J. L. Tillage and surface residue effects on evaporation from soils. **Soil Science Society of America Journal.** Madison, v. 53, p. 911-916, 1989.

YAMANAKA, T.; INOUE, M.; KAIHOTSU, I. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 67, p. 145-155, 2004.

YANG, J.; MAO, X.; WANG, K.; YANG, W. The coupled impact of plastic film mulching and deficit irrigation on soil water/heat transfer and water use efficiency of spring wheat in Northwest China. **Agricultural Water Management**, Elsevier. Amsterdam. v. 201(C), p. 232-245. , 2018.

YUNUSA, I. A. M.; BELFORD, R. K.; TENNANT, D.; SEDGLEY, R. H. Row spacing fails to modify soil evaporation and grain-yield in spring wheat in a dry Mediterranean environment. **Journal of Agricultural Research**, Australia, v. 44, p. 661-676, 1993.