

## Partição da evapotranspiração para uma cultura de milho Evapotranspiration partition for a maize crop

Marcelo Bortoluzzi Diaz<sup>1</sup>, Debora Regina Robert<sup>2</sup>, Gisele Cristina Rubert<sup>1</sup> e Geovane Webler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mestre, Departamento de Física, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

marbdiaz@gmail.com; girubert@gmail.com; gwebler83@gmail.com>

<sup>2</sup>Doutora, Departamento de Física, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

debora@ufsm.br

### Resumo

*A transpiração de uma cultura agrícola está diretamente relacionada com a sua produção. A transpiração das plantas varia ao longo do ciclo da cultura agrícola, sendo que na maioria parte do ciclo é a componente dominante na evapotranspiração. Existem varias técnicas bem consolidadas para estimar estas componentes individualmente. Atualmente, a técnica de covariância dos vórtices é amplamente utilizada para medidas da Evapotranspiração. No entanto, esta técnica é incapaz de identificar se o fluxo de água entre a superfície e a atmosfera é proveniente da evaporação do solo ou da transpiração das plantas. Uma nova metodologia baseada na eficiência do uso da água pela planta esta sendo utilizada com sucesso. Esta técnica determina o quanto de água é transpirada para cada molécula de carbono fixada na planta. Este índice de eficiência é obtido por meio da diferença de concentração externa e interna à cavidade estomática de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Na prática, a concentração externa de carbono e água é obtida através de analisadores de gás utilizados para obtenção de dados utilizados na técnica de covariância dos vórtices. Neste trabalho, a evapotranspiração para uma cultura de milho no sul do Brasil é particionada e comparada com o modelo superficial AGRO-IBIS. Resultados mostram que no máximo desenvolvimento da planta, a transpiração representa aproximadamente 70% da evapotranspiração.*

**Palavras-chave:** Evapotranspiração, partição, transpiração, AGRO-IBIS.

### Abstract

*Crop transpiration is directly related to its production. Plant transpiration varies along the crop cycle and in most part of this cycle is the dominant component in evapotranspiration. There are several well-established techniques to estimate these components individually. Currently, the eddy covariance technique is widely used for measurements of evapotranspiration. However, this technique is unable to identify the flow of water between the surface and the atmosphere has its origin by evaporation from soil or plant transpiration. A new methodology based on the efficiency of water use by the plant is being used successfully. This technique determines how much water is transpired to each carbon molecule attached to the plant. This efficiency ratio is obtained by the difference of external and internal concentration on stomatal cavity of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. In practice, external concentration of carbon and water is obtained from the infra-red gas analyzers used to obtain data in eddy covariance technique. In this work, the evapotranspiration for a maize crop in southern Brazil is partitioned and compared to the surface model AGRO-IBIS. Results show that the maximum development of the plant transpiration is approximately 70% of evapotranspiration.*

**Keywords:** Evapotranspiration, partition, transpiration, AGRO-IBIS.

## 1 Introdução

A evapotranspiração (ET) é uma das principais componentes do balanço hídrico e energético, desempenhando um papel de suma importância para compreensão dos processos biofísicos envolvidos na interação entre o ecossistema e a atmosfera. Nos dias atuais, principalmente em condições onde ocorrem carências na disponibilidade hídrica, a correta determinação da ET é indispensável para aperfeiçoar o manejo destes recursos.

As componentes da ET, evaporação (E) e transpiração (T), podem desempenhar papéis de diferentes relevâncias conforme o estudo a ser aplicado como, por exemplo, na agricultura, onde a T que está associada diretamente à produtividade agrícola. Com uma melhor descrição desta componente, é possível implantar mecanismos de irrigação, por exemplo, que resultem em uma produção mais eficiente, sem desperdício deste recurso.

Para obter a ET e suas componentes, existem várias técnicas experimentais, conforme revisado por Kool et al. (2014). Estas técnicas baseiam-se no balanço hídrico, balanço energético e fluxo de água. Além destas técnicas, são inúmeros os modelos matemáticos que procuram representar o comportamento da ET e suas componentes em diferentes ecossistemas, baseados em suas respostas às forçantes atmosféricas. É de extrema importância a comparação entre os dados experimentais e os resultados dos modelados tanto da ET como de suas componentes.

Neste trabalho, o objetivo é averiguar a aplicabilidade de uma técnica de particionamento da ET a partir de dados obtidos pela técnica de covariância dos vórtices sobre uma cultura de milho e seu comportamento quando comparada às componentes obtidas a partir do modelo superficial AGRO-IBIS.

## 2 Metodologia

As medidas experimentais utilizadas neste trabalho foram coletadas por uma torre micrometeorológica em um sítio experimental, localizado no município de Cruz Alta no estado do Rio Grande do Sul, onde é realizado um experimento de longa duração de rotação de culturas para diferentes manejos do solo (RUEDELL, 1995). Neste trabalho, utilizaremos dados coletados sobre a cultura do milho em sistema de plantio direto. O período de estudo foi de 09 de outubro de 2010 a 31 de dezembro de 2010, que compreende o período entre a emergência até o máximo da atividade fisiológica do milho. O cultivar utilizado foi o Fundacep Pioneiro.

A torre micrometeorológica conta com os seguintes sensores, (altura do sensor na torre, fabricante, modelo): componentes do vento e temperatura do ar (3m, Campbell Scientific Inc; CSAT 3); H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> analisador de gás e pressão (3 m, LiCor, LI7500); entrada de radiação de onda curta (5 m, Kipp&Zonen, CMB6); saldo de radiação (5 m, Kipp&Zonen, NR LITE); entrada de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (1 m, Kipp&Zonen, PAR LITE); fluxo de calor no solo (-2 cm, Hukseflux, HFP01SC-L); precipitação (1,5 m, Texas Instruments); temperatura do solo (-2 cm, Campbell Scientific, TCAV-L); e umidade no solo (0-20 cm e 20-50cm, Campbell Scientific, CS616-L). Os valores dos fluxos foram obtidos via técnica de covariância dos vórtices (EC) por meio do programa EddyPro versão 5.1 da LICOR, executado no modo avançado com as definições padrões em saídas, com médias de meia hora.

A técnica usada para particionar a evapotranspiração entre a evaporação e a transpiração se baseia na relação da eficiência em que a água é utilizada pela planta (WUE). A WUE relaciona a quantidade de carbono assimilado na planta pela fotossíntese com a quantidade de água perdida via transpiração (Scanlon & Kustas, 2010). Em linhas gerais, essa técnica necessita da produção bruta do ecossistema (GPP) e da WUE para particionar

a ET. A obtenção destas variáveis segue o seguinte procedimento:

1) Particionar fluxo de carbono do ecossistema (NEE), obtido via EC. O NEE é definido pelo somatório do GPP e da respiração do ecossistema ( $R_{eco}$ ). Existem inúmeros métodos para realizar essa partição (LASSLOP et al., 2010). Neste trabalho foi adotada uma partição baseada no período noturno (REICHSTEIN et al., 2005). Durante o período noturno não ocorre o processo de fotossíntese, sendo assim, GPP é zero e NEE é igual a  $R_{eco}$ . Uma equação que representa esta relação pode ser escrita como:

$$R_{eco} = \beta \exp \left[ E_0 \left( \frac{1}{T_{ref} - T_0} - \frac{1}{T_a - T_0} \right) \right] \quad (1)$$

Onde  $\beta$  é a respiração na temperatura de referência ( $T_{ref}$ ),  $E_0$  é a energia de ativação ( $^{\circ}C$ ),  $T_0 = -46.02^{\circ}C$  obtidos de Lloyd e Taylor (1994),  $T_{ref}$  é a temperatura de referência ( $10^{\circ}C$ ) e  $T_a$  é a temperatura ambiente.. Uma vez obtidos estes parâmetros para o período noturno, extrapola-se a eq.(1) para o período diurno, usando-se os valores de  $T_a$ . Diminuindo-se NEE observado da  $R_{eco}$  modelada, obtém-se a GPP.

2) Obter a relação WUE, que pode ser descrita pela seguinte relação (SINCLAIR, et al., 1983):

$$WUE = 0.7 \frac{(\bar{c}_e - \bar{c}_i)}{(\bar{q}_e - \bar{q}_i)} \quad (2)$$

Onde o coeficiente 0.7 é definido pelas diferenças entre as resistências impostas as moléculas de  $CO_2$  e  $H_2O$  pelo estômato, " $C$ " e " $q$ " indicam a concentração de carbono e água, respectivamente. Os subíndices " $e$ " e " $i$ " demonstram os valores externo e internos a cavidade estomática, respectivamente. Os valores das concentrações externos foram obtidos a partir dos dados coletados na torre micrometeorológica utilizando o analisador de gás LI7500. Foram utilizados valores médios a cada meia hora. A concentração de  $H_2O$  interna foi obtida conforme Zeiger et al. (2009), que consiste em estimar a concentração com base em 100% de umidade relativa para a temperatura do interior do estômato. Como

não foram realizadas medidas experimentais da temperatura da folha, neste trabalho utilizamos a temperatura ambiente. A concentração interna de  $CO_2$  foi utilizada como 40% da concentração externa (KIM et al., 2006).

A transpiração estimada pelo modelo AGRO-IBIS foi utilizada para comparar com os resultados da transpiração obtidos pela técnica de partição descrita acima. O modelo AgroIBIS, calcula a transpiração (ABRAMOPOULOS, et al., 1988), através da demanda atmosférica por meio de uma gradiente de vapor entre a atmosfera e a cavidade estomática e da energia disponível para o processo por meio do saldo de radiação. O modelo AGRO-IBIS foi processado com os dados atmosféricos da estação meteorológica do INMET de Cruz Alta-RS, distante 400 metros da estação micrometeorológica, para o período deste estudo.

### 3 Resultados e Discussões

A Figura (1) mostra os valores médios diários do WUE e a precipitação acumulada diária. O valor médio de WUE para o período foi de  $48 H_2O/CO_2$ . Nota-se que conforme a cultura se desenvolve esses valores WUE tende a aumentar, com valores inferiores a  $40 H_2O/CO_2$  no período de emergência, e valores superiores a  $100 H_2O/CO_2$  no período de máximo desenvolvimento. É importante notar a influencia da precipitação no WUE, que reduz seu valor, principalmente no dia subsequente a precipitação.

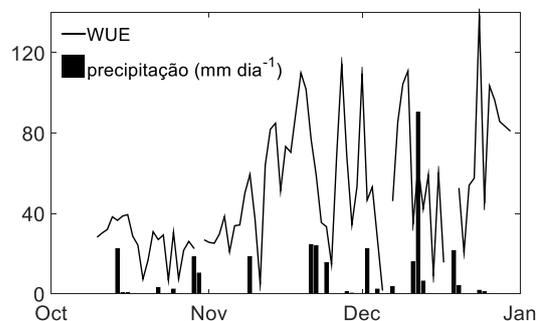


Figura 1- Média diária do uso eficiente da água pela planta e a precipitação acumulada diária para a cultura do milho no período de Outubro a Dezembro de 2010.

Durante o período deste estudo, a ET experimental média foi de 4.08 mm/dia, destes 2.13 mm/dia foram transpiração, correspondendo a 52% da ET. Esta fração da T/ET esta dentro do intervalo de valores encontrados por outros autores, tais como Zeggaf et al. (2008), Zegada-Lizarazu & Berliner (2011) e Thompson et al.(1997), para os quais T/ET variou entre 25% a 75%.

A Figura (2) mostra a relação T/ET, onde T foi estimada utilizando a técnica descrita acima. Nota-se o aumento da transpiração ao longo do desenvolvimento da cultura. Para uma cultura agrícola como o milho, é esperada que os valores desta taxa de transpiração sejam menores logo após a emergência, com valores inferiores a 20% da ET (Scanlon & Kustas, 2010). Estes valores também foram encontrados neste trabalho (Fig. 2).

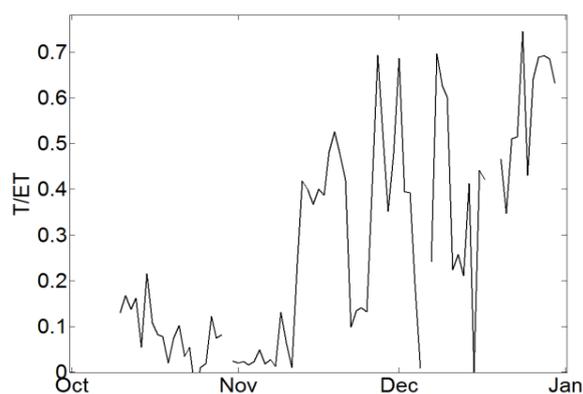


Figura 2- Relação da transpiração com a evapotranspiração de 09 de outubro até 31 de dezembro de 2010

Conforme o milho vai se desenvolvendo, a demanda por energia e carbono necessário para o seu desenvolvimento é maior. Tanto o carbono quanto a energia necessários para este desenvolvimento são obtidos via fotossíntese. Como a T é função da fotossíntese, ela sofre um aumento significativo no máximo do desenvolvimento, entre a segunda quinzena de novembro e final de dezembro, representando entre 35% e 75% da ET (Fig. 2). Neste período, ocorrem alguns valores da relação T/ET muito inferiores aos valores esperados. Estes inferiores a 0.4 estão relacionadas à ocorrência de precipitação, que causa a diminuição da radiação fotossinteticamente ativa, que reduz a GPP. Além disso, a precipitação reduz o

gradiente de H<sub>2</sub>O entre a cavidade estomática e a atmosfera que leva a uma diminuição do WUE.

Para validar a técnica de partição da ET utilizada neste estudo, compararam-se os resultados aqui obtidos com os do modelo Agro-IBIS, conforme apresentado na Figura (3) (que mostra o ciclo diurno médio de ET e T). O valor da ET observada experimentalmente é bem representada pelo modelo Agro-IBIS principalmente no período diurno. Entretanto, quando comparamos a T obtida pela técnica utilizada neste estudo com a obtida pelo modelo Agro-IBIS, observamos que a amplitude de ambas possuem os valores muito próximos, 0.29 mm/hora e 0.30mm/hora respectivamente, porém defasadas em torno de duas horas. A maior diferença entre as transpirações ocorre no período da manhã, com valores em torno de 0.05mm/hora. Esta defasagem deve estar associada ao método de estimativa utilizando o WUE que esta associada ao (VPD). O ciclo do VPD, em geral apresenta valores menores neste horário.

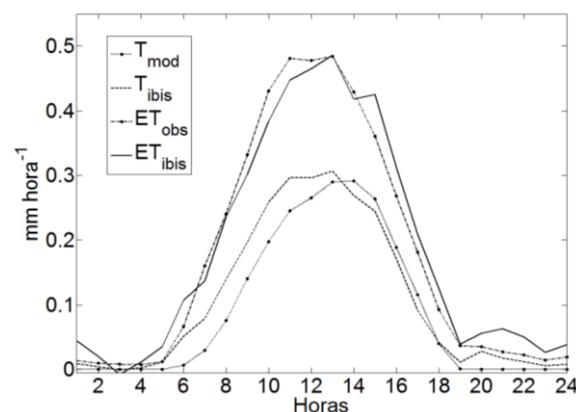


Figura 3- Representação do dia médio do período de 9/10/2010 até 31/12/2010; T obtida a partir da técnica (linha pontilhada), T modelada pelo agro-IBIS (linha tracejada), ET observada (linha contínua), ET do agro-IBIS (linha ponto-trazo).

Para justificar a defasagem entre a transpiração obtida da técnica WUE com o modelo Agro-IBIS, comparamos a relação entre a transpiração e o déficit de vapor de pressão (VPD) e a radiação solar incidente (R<sub>g</sub>). Tanto a técnica WUE (fig. 4a) quanto o Agro-IBIS (fig. 4c) apresentam o

comportamento característico de histerese da transpiração com o VPD e  $R_g$ , conforme o esperado (MEINZER, F. et al., 1997). Ambas metodologias apresentam uma maior taxa de transpiração associado ao VPD no início do dia. Entretanto, o modelo Agro-IBIS apresenta uma curva de histerese que aumenta mais rapidamente pela manhã e diminui mais lentamente a tarde, justificando em parte a respostas distintas observadas na figura (3).

A característica de histerese entre a  $T$  e a  $R_g$ , é mais acentuada para a técnica WUE (fig. 4b) que para o modelo Agro-IBIS (fig. 4d). Isso significa que para o modelo Agro-IBIS a  $T$  tem uma resposta linear ao  $R_g$  ao longo do dia, o que mostra a simetria na figura (3).

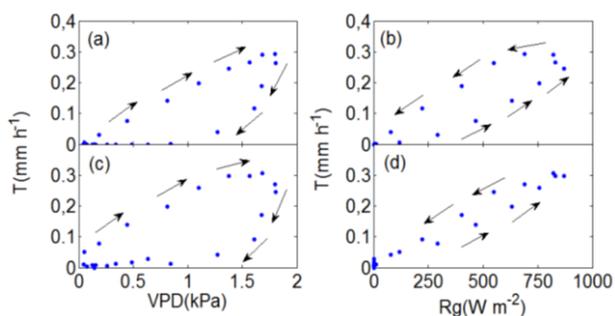


Figura 4 - Relação da transpiração com VPD e a  $R_g$ . Modelo agro-IBIS (c, d) e técnica WUE (a, b).

#### 4 Conclusão

A técnica utilizada neste estudo mostrou-se satisfatória, com valores de transpiração comportando-se como esperados e dentro dos limites encontrados em outros estudos. A transpiração obtida pela técnica deste estudo, quando comparada com a transpiração do modelo Agro-IBIS, mostrou-se em concordância, apresentando valores de magnitudes próximos, porém com uma pequena defasagem imposta pela eficiência com que a água é utilizada pela planta, a qual não é representada pelo modelo Agro-IBIS.

#### 5 Referências

Abramopoulos F., C. Rosenzweig, E B. Choudhury., (1988). Improved Ground Hydrology Calculations For Global Climate Models (Gcms): Soil Water Movement And Evapotranspiration. *J. Climate*, v.1, p.921-941.

Koold. Et Al., (2014). A Review Of Approaches For Evapotranspiration Partitioning. *Agriculture and Forest Meteorology*. v.184, p.56-70.

Lasslop, G. Et Al.,(2010). Separation Of Net Ecosystem Exchange Into Assimilation And Respiration Using A Light Response Curve Approach: Critical Issues And Global Evaluation. *Global Change Biology*. v.16, p.187-208.

Meinzer, F. C., Hinckley, T. M. E Ceulemans, R., (1997). Apparent Responses Of Stomata To Transpiration And Humidity In A Hybrid Poplar Canopy. *Plant, Cell & Environment*, 20:1301-1308. Doi: 10.1046/J.1365-3040.1997.D01-18.X.

Ruedell, J., (1995). Plantio Direto Na Região De Cruz Alta. Cruz Alta: Fundacep Fecotriago, p.134.

Scanlon, T.M., E W.P. Kustas. (2010). Partitioning Carbon Dioxide And Water Vapor Fluxes Using Correlation Analysis. *Agriculture And Forest Meteorology*. v.150, p.89-99.

Reichstein, M. Et Al., (2005). On The Separation Of Net Ecosystem Exchange Into Assimilation And Ecosystem Respiration: Review And Improved Algorithm, *Global Change Biology*, v. 11, p. 1424-1439.

Thompson, A.L., Martin, D.L., Norman, J.M., Tolck, J.A., Gilley, J.R., Schneider, A.D., (1997). Testing Of A Water Loss Distribution Model For Moving Sprinkler Systems. *Trans. Asae V. 40*, P.81-88.

Zegada-Lizarazu, W. E Berliner, P. R., (2011). Inter-Row Mulch Increase The Water Use Efficiency Of Furrow-Irrigated Maize In An Arid Environment. Journal Of Agronomy and Cropscience,197: 237248.Doi: 10.1111/J.1439037X.2010.0045x

Zeiger, E. E Taiz, L., (2009). Fisiologia Vegetal, Porto Alegre: Arned , 4. Ed., P.848.

Zeggaf, Adel T. Et Al.,(2008). A Bowen Ratio Technique For Partitioning Energy Fluxes Between Maize Transpiration And Soil Surface Evaporation. Agronomy Journal. V.100, P. 988- 996.