

ARTIGO TÉCNICO

EXPERIÊNCIA COM UM SISTEMA DE RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE SOBRE CULTIVO DE MANDIOCA

Aureo Silva de Oliveira¹, Richard L. Snyder², Cayle Little³, Maurício Antônio Coelho Filho⁴,
Neilon Duarte Da Silva⁵

RESUMO: O objetivo deste trabalho é relatar a experiência do Grupo de Pesquisa em Micrometeorologia da Evapotranspiração (MicromET) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) com um sistema de *Surface Renewal Analysis* (Renovação do Ar na Superfície, RAS). O método determina o fluxo de calor sensível (H) na interface superfície-atmosfera e foi implementado no primeiro semestre de 2019 em parceria com a Universidade da Califórnia (Davis), Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia e Embrapa Mandioca e Fruticultura. O sistema RAS foi instalado em área cultivada com mandioca industrial na Fazenda Novo Horizonte, pertencente à empresa Bahiamido SA, especializada em produção de fécula. O principal sensor do método RAS é um termopar ultrafino para medição de flutuações da temperatura do ar a frequências de 10 Hz, tipicamente. Paralelamente, um anemômetro sônico 3D foi instalado para obtenção de H via *eddy covariance*, para fins de calibração do sistema RAS. Análise posterior da qualidade dos dados de temperatura do ar e velocidade do vento obtidas sob alta frequência permitiu concluir que o sistema RAS funcionou adequadamente segundo o protocolo previsto no código do datalogger e o treinamento da equipe foi satisfatório para futuros estudos com o método sobre superfícies vegetadas.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração; fluxo de calor sensível; termopar ultrafino

¹Prof. PhD, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Rua Rui Barbosa, 710, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA, Fone (75) 36212798 ramal 209. E-mail: aureo@ufrb.edu.br.

² Professor, University of California, Davis, CA, USA.

³ Pesquisador, California Department of Water Resources, Sacramento, CA, USA

⁴ Pesquisador, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

⁵Doutorando, Programa de PG em Engenharia Agrícola, UFRB, Cruz das Almas, BA.

EXPERIENCE WITH A SURFACE RENEWAL ANALYSIS SYSTEM OVER A CASSAVA CROP

ABSTRACT: The objective of this paper is to report the experience of the Evapotranspiration Micrometeorology Research Group (MicromET) of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB) at Cruz das Almas (BA) with a Surface Renewal Analysis system. The method determines the sensible heat flux (H) at the surface-atmosphere interface and it was implemented in the first half of 2019 with the support of researchers from the University of California (Davis, CA), the California Water Resources Department (Sacramento, CA), and Embrapa Cassava and Fruit Crops (Cruz das Almas, BA). The RAS system was deployed in commercial field of cassava, at the Novo Horizonte Farm, owned by the Bahiamido SA, which specializes in processing cassava for starch production. The main sensor of the RAS method is a fine-wire thermocouple for measuring air temperature fluctuations at a 10 Hz frequency, typically. In same tower, a 3D sonic anemometer was installed for simultaneous measurements of vertical wind speed and air temperature fluctuations (eddy covariance) for calibration of the RAS system. Further analysis of the quality of air temperature and wind speed data obtained under high frequency allowed us to conclude that the RAS system worked properly according to the protocol provided in the datalogger code and the team training was satisfactory for future studies with the RAS system on vegetated surfaces.

KEYWORDS: evapotranspiration; sensible heat flux; fine-wire thermocouple

INTRODUÇÃO

O conhecimento da evapotranspiração (ET) em áreas agrícolas é essencial ao adequado manejo da água na agricultura irrigada (Jensen & Allen, 2016), principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a agricultura lucrativa só é possível com uso da irrigação.

O método micrometeorológico conhecido como *Surface Renewal Analysis* (SR), aqui traduzido como Renovação do Ar na Superfície (RSA) foi primeiramente proposto por Paw U et al. (1995) e Snyder et al. (1996). Com esse método é possível obter medições precisas de fluxo de calor sensível (H) praticamente sobre qualquer tipo de superfície vegetada ou não (Snyder et al., 2000; Spano et al., 2000; Castellvi et al., 2006; Snyder et al., 2008). Mengistu & Savage (2010) aplicaram o método para estimativa da evaporação de superfícies hídricas.

Quando medições de H são concomitantes com medições de radiação líquida (R_n) e fluxo de calor no solo (G), a densidade de fluxo de calor latente (LE) pode ser calculada como resíduo do balanço de energia [$LE = (R_n - G) - H$], constituindo assim num método simples e de baixo custo em relação a outros métodos micrometeorológicos (Snyder et al., 1996; Shapland et al., 2013).

O objetivo deste trabalho é relatar as experiências de laboratório e de campo levadas a efeito pelo Grupo de Pesquisa em Micrometeorologia da Evapotranspiração (MicromET) da UFRB, Cruz das Almas, Bahia, relacionadas ao uso de um sistema RAS para medição de fluxos turbulentos de calor sensível (H) em área cultivada com mandioca industrial, no Recôncavo da Bahia.

DESCRIÇÃO DO ASSUNTO

A torre meteorológica com os sensores do sistema RAS foi instalada na Fazenda Novo Horizonte ($13^{\circ}6' S$, $39^{\circ}16' W$, 350 m anm), Unidade Agroindustrial da Bahiamido SA, empresa especializada no processamento de raízes de mandioca para a produção de fécula (Figura 1).

O método RAS mede as trocas de calor sensível (H) entre a superfície (vegetada ou não) e a atmosfera sobrejacente. Dois sensores são essenciais, quais sejam, um termopar ultrafino e um anemômetro sônico 3D. No sistema aqui descrito a frequência de coleta de dados foi de 10 Hz, podendo variar entre 2 e 20 Hz. Traços de temperatura do ar obtidos sob alta frequência mostram padrões tipo “rampas” resultantes de estruturas turbulentas coerentes reportadas em vários estudos (Gao et al., 1989; Shaw et al., 1989; Paw U et al., 1992). Na teoria das estruturas coerentes uma parcela de ar “mergulha” de cima para a superfície e enquanto permanece em contato com a copa da vegetação, energia é transferida levando ao aquecimento ($H > 0$) ou resfriamento do ar ($H < 0$) (Snyder et al., 1996). Na sequência, em frações de segundos, a parcela de ar é então ejetada da superfície e substituída (renovada) por uma outra em ciclos sucessivos.

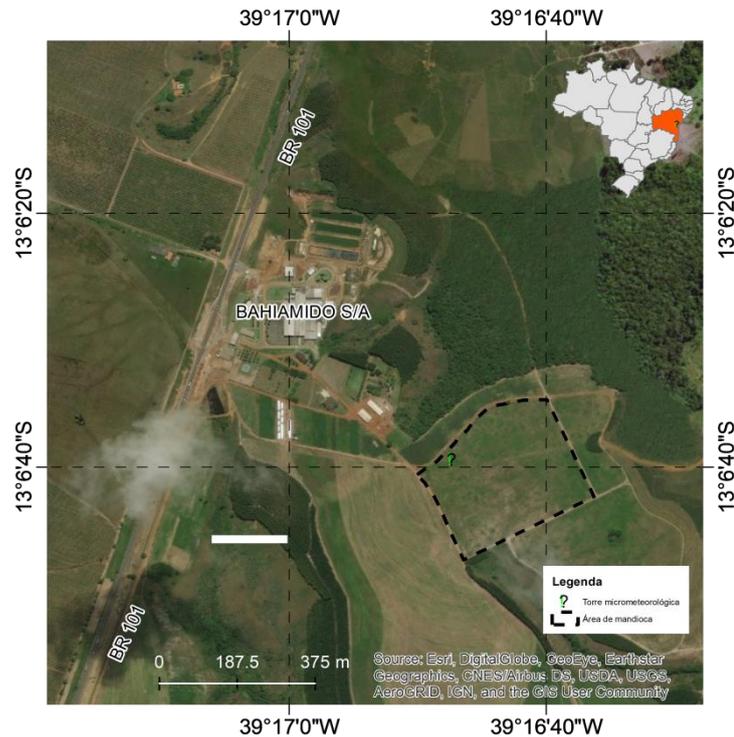


Figura 1. Sede da Bahiamido, Fazenda Novo Horizonte, às margens da BR101, Bahia, mostrando a área experimental e localização da torre com os sensores do sistema RAS.

Snyder et al. (1996) utilizaram a teoria de funções de estrutura de Van Atta (1977) para avaliar as características das rampas de temperatura na série temporal, permitindo assim a estimativa do fluxo de calor sensível H_{SR} (Equação 1):

$$H_{SR} = \alpha H_{NC} = \alpha \rho c_p \frac{dT}{dt} z \approx \alpha \rho c_p \frac{a}{l + s} z \quad (1)$$

Em que,

H_{SR} – fluxo de calor sensível via RAS calibrado pelo sistema de EC ($W m^{-2}$)

α - fator de calibração (ponderação)

H_{NC} - fluxo de calor sensível não calibrado via RAS ($W m^{-2}$)

ρ - densidade do ar ($kg m^{-3}$)

c_p - calor específico do ar à pressão constante ($J kg^{-1} K^{-1}$)

T - temperatura do ar (K)

t - tempo (s)

dT/dt - taxa de variação da temperatura da parcela de ar ($K s^{-1}$)

a – amplitude da rampa de temperatura (s)

$l + s$ - inverso da frequência da rampa (s)

z - altura de medição da temperatura (altura do termopar ultrafino) (m)

Com o sônico (*modelo 81000, R. M. Young, USA*), medições de flutuações da temperatura do sônico (T_s) e da velocidade vertical do vento (w) constituem o sistema de *eddy covariance* (EC) para calibração do método RAS que para este o sensor principal (e único) é o termopar ultrafino. No presente estudo, utilizou-se um termopar tipo E (chromel-constantan) modelo FW3 (*Campbell Scientific, USA*) de 76,2 μm de diâmetro.

A calibração do método RAS sobre o cultivo de mandioca, conforme Equação 1, consistiu em plotar graficamente $H_{NC} = f(H_{EC})$ (Snyder et al., 1996) sendo o coeficiente angular da reta de regressão pela origem o fator de calibração (α), usado para converter o H_{NC} em H_{SR} . Este é então utilizado no balanço de energia para estimativa da fluxo de calor latente LE, conforme Equação 2. Zapata & Martínez-Cob (2002) na Espanha calibraram um sistema RAS em área cultivada com trigo via lisímetro de pesagem que fornece medições diretas da ET.

$$LE = R_n - G - H_{SR} \quad (2)$$

Em que,

LE - fluxo unidimensional de calor latente, W m^{-2} (+ quando orientado para cima)

R_n - fluxo unidimensional de radiação líquida na superfície, W m^{-2} (+ orientado para baixo)

G - fluxo unidimensional de calor sensível no solo, W m^{-2} (+ orientado para baixo)

H_{SR} - fluxo unidimensional de calor sensível no ar, W m^{-2} (+ orientado para cima) obtido via método RAS

A utilização em campo de um sistema RAS na Bahia pela primeira vez e, possivelmente, no Brasil, é uma iniciativa de pesquisadores da UFRB e Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA) vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) em parceria com os pesquisadores Richard L. Snyder, Universidade da Califórnia (Davis, CA) e Cayle Little, Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia (Sacramento, CA). O código em linguagem *CRBasic* utilizado no datalogger CR1000 (*Campbell Scientific, USA*) do sistema foi gentilmente cedido por Richard Snyder, um dos desenvolvedores do método em Davis, CA.

A Figura 2 mostra visão geral da área experimental com cultivo de mandioca industrial (Figura 2A), detalhe do *download* de dados *in situ* (Figura 2B), instrumentos dos sistemas de *eddy covariance* e renovação de ar na superfície (Figura 2C) bem como posição relativa do termopar ultrafino na torre, a 50 cm abaixo do anemômetro sônico.

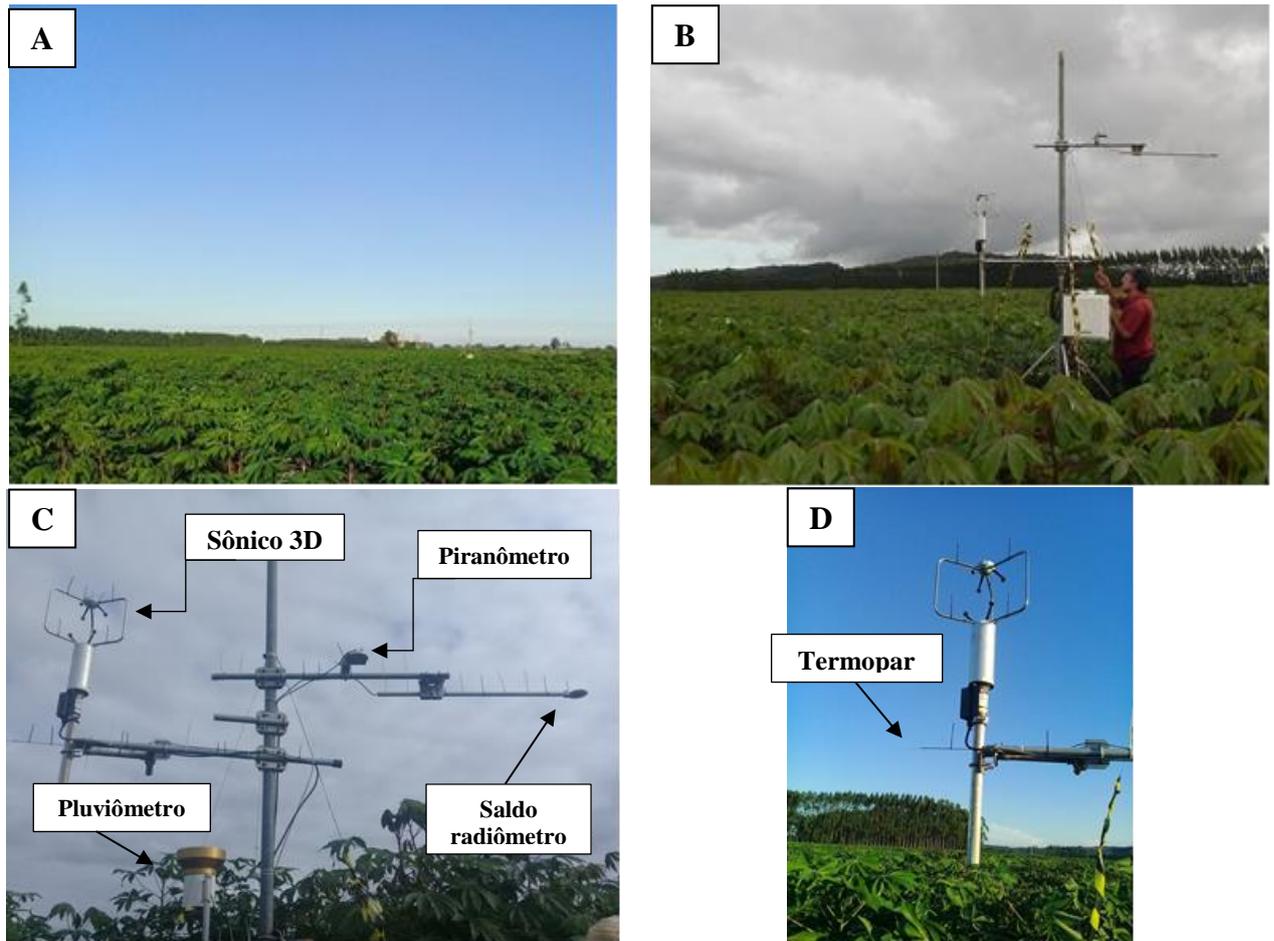


Figura 2. Características da área experimental com cultivo de mandioca industrial na Fazenda Novo Horizonte, Bahia (A, B) e localização relativa dos instrumentos/sensores meteorológicos na torre dos sistemas de *eddy covariance* e renovação do ar na superfície (C, D).

Com o desenvolvimento da cultura, a barra horizontal do sônico e termopar tinha que ser movimentada para cima de maneira a manter os sensores a no máximo 50 cm acima da altura média da copa das plantas. Testes preliminares não foram realizados para definição dessa diferença de nível tendo sido definida arbitrariamente. Três movimentações foram feitas durante o período de tomada de dados (abril a julho de 2019). O saldo radiômetro para medição de R_n utilizado nesse estudo foi o modelo NRLite (*Kipp & Zonen, The Netherlands*). Os instrumentos de solo para obtenção do componente G do balanço de energia (Equação 1) foram placas modelo HFT3.1 (*REBS, USA*), sensor de umidade do solo modelo GS3 (*Decagon Devices, USA*) e termopares de solo modelo TCAV (*Campbell Scientific, USA*).

Instalação e operação do sistema: desafios

Movimentação na área com a cultura adulta: O sistema RAS foi instalado no final do mês de março de 2019 na área experimental delineada na Figura 1. À época, a cultura estava com 90 dias de idade e aproximadamente 30 cm de altura. Nessas condições o acesso à área

não foi difícil, porém com o tempo e crescimento das plantas, que podem alcançar até 2.4 m de altura (cultivar Novo Horizonte), o acesso foi se tornando mais difícil. Felizmente, na fase adulta, a mandioca não possui copa tão densa.

Escolha do local de instalação da torre: O local de instalação da torre meteorológica foi escolhido baseado na premissa de que o vento soprava predominantemente do setor sudeste (direção predominante em Cruz das Almas, 65 km distante da área experimental, ambas no Recôncavo da Bahia). Após a análise dos dados observou-se, no entanto, que o vento parecia soprar predominantemente do quadrante sul-oeste, como mostra o *footprint* dos sensores no entorno da torre meteorológica (Figura 3).

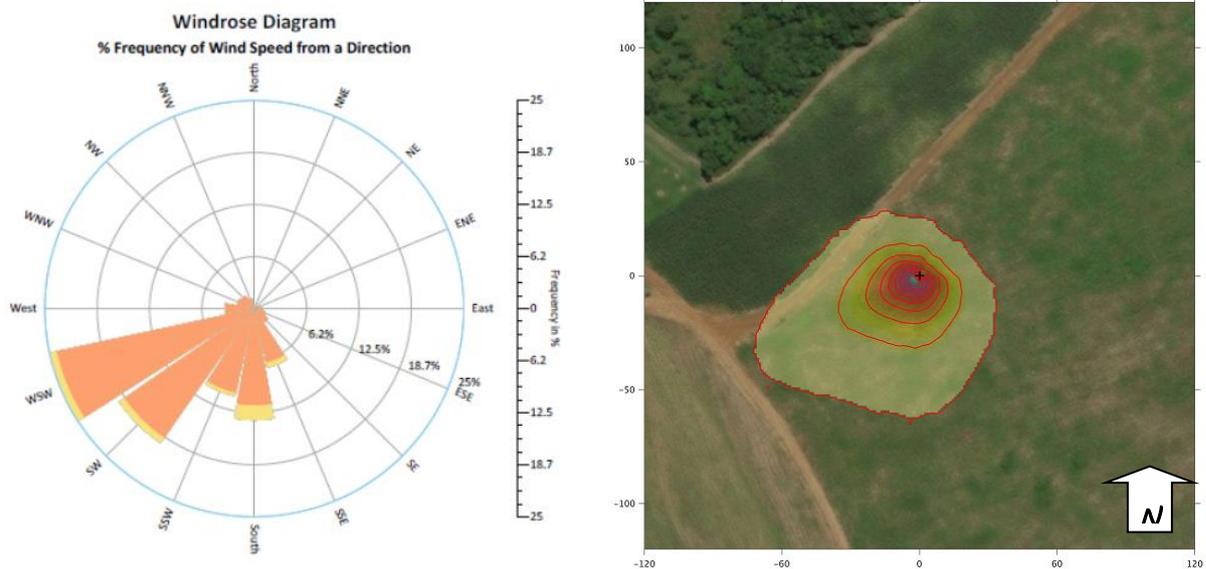


Figura 3. Rosa dos ventos (A) e *footprint* dos sensores no entorno da torre meteorológica (B). Dados referentes aos meses de maio e junho de 2019.

Danos aos sensores: O termopar ultrafino fica exposto ao tempo em contato direto com o ar e, portanto, a ação do vento e chuva bem como insetos e aracnídeos constituem ameaças à integridade física do termopar, já que os fios da junção são extremamente finos (0,0762 mm) e podem se romper com facilidade. É muito comum aranhas construírem suas teias no entorno do termopar. Foi o que aconteceu no final de julho de 2019, quando numa de nossas visitas constatamos a presença de uma teia de aranha e o termopar danificado. Ao se constatar a presença de teias recomenda-se substituir o termopar por um novo e fazer a limpeza do primeiro em laboratório de forma cuidadosa a se evitar ruptura da junção de medição.

Planejamento dos sensores a serem instalados: Num primeiro momento optamos por instalar os sensores mais importantes e indispensáveis à coleta dos dados e determinação dos fluxos de calor sensível e calor latente, quais sejam, o termopar ultrafino e o anemômetro

sônico tridimensional. Por outro lado, a região da Bahiamido possui alta pluviosidade de abril a julho e água pode interferir tanto no funcionamento do sônico quanto do termopar ultrafino. Por recomendações dos colegas da Califórnia, instalou-se um pluviômetro para filtragem dos dados.

CONCLUSÕES

Análise posterior da qualidade dos dados de temperatura do ar e velocidade do vento obtidas sob alta frequência (10 Hz) permitiu concluir que o sistema RAS funcionou adequadamente segundo o protocolo previsto no código do dataloguer e o treinamento da equipe foi satisfatório para futuros estudos com o método sobre superfícies vegetadas ou não.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTELLVI, F.; MARTÍNEZ-COB, A.; PÉREZ-COVETA, O. Estimating sensible and latent heat fluxes over rice using surface renewal. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 139, p. 164-169, 2006.

GAO, W.; SHAW, R.H.; PAW U, K.T. Observation of organized coherent structure in turbulent flow within and above a forest canopy. *Boundary Layer Meteorology*, v. 47, p. 349-377, 1989.

JENSEN, M.E.; ALLEN, R.G. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. 2nd ed. Reston, VA: ASCE. 2016. 769p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70).

MENGISTU, M.G.; SAVAGE, M.J. Open water evaporation estimation for a small shallow reservoir in winter using surface renewal. *Journal of Hydrology*, v. 380, p. 27-35, 2010.

PAW U, K.T.; QIU, J.; SU, H.B.; WATANABE, T.; BRUNET, Y. Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 74, n. 2, p. 119-137, 1995.

PAW U, K.T.; BRUNET, Y.; COLLINEAU, S.; SHAW, R.H.; MAITANI, T.; QIU, J.; HIPPS, L. On coherent structures in turbulence within and above agricultural plant canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 61, p. 55-68, 1992.

SHAW, R.H.; PAW U, K.T.; GAO, W. Detection of temperature ramps and flow structures at a deciduous forest site. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 47, p. 123-138, 1989.

SNYDER, R.L.; BALI, K.; VENTURA, F.; MacPHERSON, H.G. Estimating evaporation from bare or nearly bare soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 126, n.6, p. 399-403, 2000.

SNYDER, R.L.; SPANO, D.; DUCE, P.; PAW U, K.T.; RIVERA, M. Surface renewal estimation of pasture evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 134, n.6, p. 716-721, 2008.

SPANO, D.; SNYDER, R.L.; DUCE, P.; PAW U, K.T. Estimating sensible and latent heat flux densities from grapevine canopies using surface renewal. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 104, p. 171-183, 2000.

SNYDER, R.L.; SPANO, D.; PAW U, K.T. Surface renewal analysis of sensible and latent heat flux density. *Boundary Layer Meteorology*, v. 77, p. 249-266, 1996.

SHAPLAND, T.M.; McELRONE, A.J.; PAW U, K.T.; SNYDER, R.L. A turnkey data logger program for field-scale energy flux density measurements using eddy covariance and surface renewal. *Italian Journal of Agrometeorology*, v. 2013, n. 1, p. 16, 2013.

VAN ATTA, C.W. Effect of coherent structures on structure functions of temperature in the atmospheric boundary layer. *Archives of Mechanics*, v. 29, p. 161-171, 1977.

ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A. Evaluation of the surface Renewal method to estimate wheat evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, v. 55, p. 141-157, 2002.