

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

SOS CHUVA: AGRICULTURA
RESULTADOS PRELIMINARES

PROF. DR. FELIPE GUSTAVO PILAU

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Dezembro de 2017

O aumento da população mundial transfere para agricultura a responsabilidade de produzir mais alimentos, para atender a demanda crescente. Nesse contexto, as condições meteorológicas são relevantes, pois é de conhecimento técnico que numa mesma unidade de produção podem-se encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas sejam aplicadas uniformemente. Tal como a variabilidade espacial e temporal da física e química do solo, que introduzem variabilidade produtiva, todos os elementos meteorológicos, interagindo com a vegetação, também apresentam variabilidade espaço-temporal, decisivamente interferindo no crescimento, desenvolvimento e produtividade. Visando identificar a variabilidade da chuva e umidade do solo, e impacto na produtividade de cultivos agrícolas, e servir como base para validação das estimativas do radar meteorológico, dois sítios experimentais estão sendo conduzidos em Piracicaba. Um caracteriza-se por uma malha formada por nove pluviômetros, com 200m de distância entre si, abrangendo uma área de 36ha. A segunda área experimental conta com uma Torre de Fluxo (Eddy Covariance), realizando medições dos fluxos de gases e energia em cana-de-açúcar (1º momento) e soja (2º momento).

1. Resultados Preliminares Área Experimental 1 - Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em área agrícola e efeitos sobre a produtividade estimada

A agricultura é uma atividade que depende básica e diretamente da chuva. Esse sistema, denominado agricultura de sequeiro, perfaz mais de 93% de toda a produção agrícola do país.

Nessas áreas agrícolas, é do conhecimento técnico que numa mesma unidade de produção podem-se encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas sejam aplicadas uniformemente (Amado et al., 2005).

Tal como a variabilidade espacial e temporal da física e química do solo, que introduzem variabilidade produtiva, todos os elementos meteorológicos, interagindo com a vegetação, também apresentam variabilidade espaço-temporal, decisivamente interferindo no crescimento, desenvolvimento e produtividade.

As relações entre chuva e produtividade agrícola no Brasil são conhecidas (Monteiro, 2009). De forma geral, aumentos pontuais de precipitação pluvial tendem a favorecer a cultura. Ao contrário, as estiagens provocam perdas produtivas consideráveis. Portanto, o monitoramento da variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial é essencial ao acompanhamento das safras.

Em geral, a distribuição da chuva ou precipitação pluvial depende da topografia local e do tipo de chuva (Mellart, 1999). O autor alerta para importantes diferenças na variabilidade espacial das chuvas para distâncias relativamente pequenas (1 km). A mesma pesquisa ressalta que o grau de variabilidade muda de ano para ano e de região para região, recomendando monitoramento regional constante para obtenção de elementos mais significativos para a variabilidade espacial.

A coleta de dados de chuva, no grid de nove pluviômetros instalados na Fazenda Areão (Figura 1), foi iniciada no dia 08 de novembro de 2016, e continua sendo realizada. Os pluviômetros registram e armazenam dados a cada um minuto. Ao longo dos oito meses de medições ocorreram alguns problemas operacionais, reduzindo a quantidade de dados coletados (Figura 2). A partir do mês de junho de 2017, com a atualização do programa dos sistemas de aquisição de dados dos pluviômetros, todos os nove equipamentos tem se mantido funcionando.



Figura 1. Distribuição espacial dos nove pluviômetros na área experimental da Fazenda Areão.

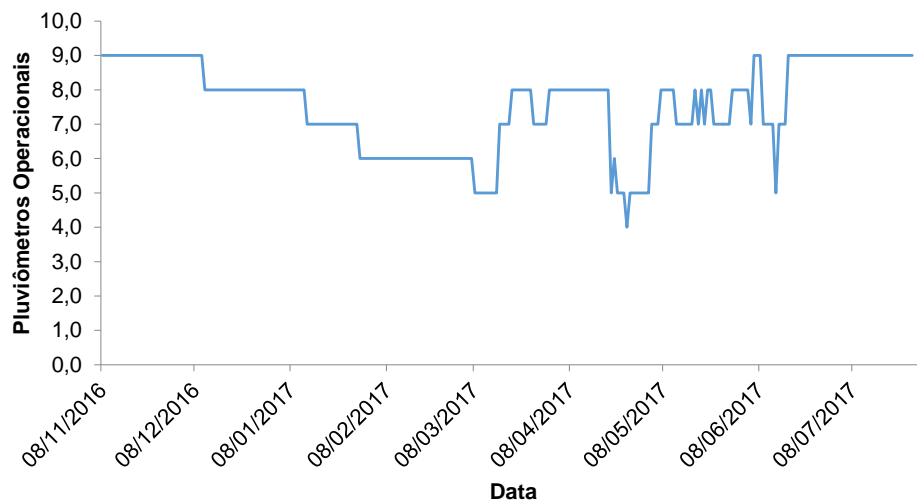


Figura 2. Número de pluviômetros operacionais em um período parcial de coleta de dados.

Numa análise preliminar dos dados de precipitação pluvial coletados até o mês de julho de 2017 (Figura 3), pode-se observar a irregularidade da distribuição espacial da chuva, em uma área de apenas 36 ha (Figura 1). Para todos os dias chuvosos, independente do volume acumulados, foram observados valores diários máximos (Pmax) e mínimos (Pmin) de precipitação pluvial acumulada pelo grid de pluviômetros. No dia 06 de abril de 2017 foram registrados os maiores volumes acumulados, variando de 73,3mm a 66,6m, com média para o “grid” de 70,4mm.

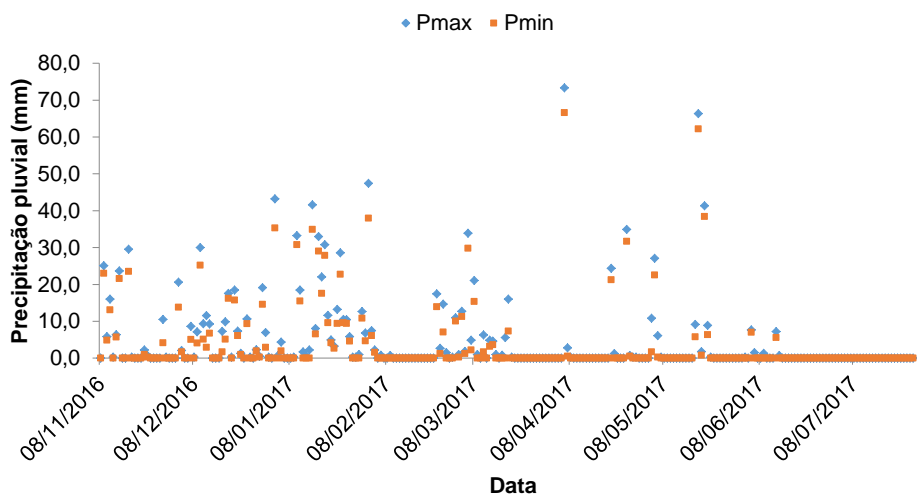


Figura 3. Valores diários máximos (Pmax) e mínimos (Pmin) de precipitação pluvial acumulada pelo grid de pluviômetros.

A diferença entre esses valores extremos de precipitação acumulada na escala diária (Figura 4), contabilizando a partir dessa análise apenas dois pluviômetros, oscilou entre a diferença máxima de 9,5mm e mínima de 0,24mm. Em média, contabilizando apenas os dias chuvosos, a amplitude ficou em 2,4mm. Ressalta-se que, a amplitude máxima de 9,5mm não coincidiu com o dia de maiores volumes acumulados. Essa amplitude máxima foi medida quando o máximo e mínimo registrados foram de 47,4mm e 37,9mm, em 02 de fevereiro de 2017.

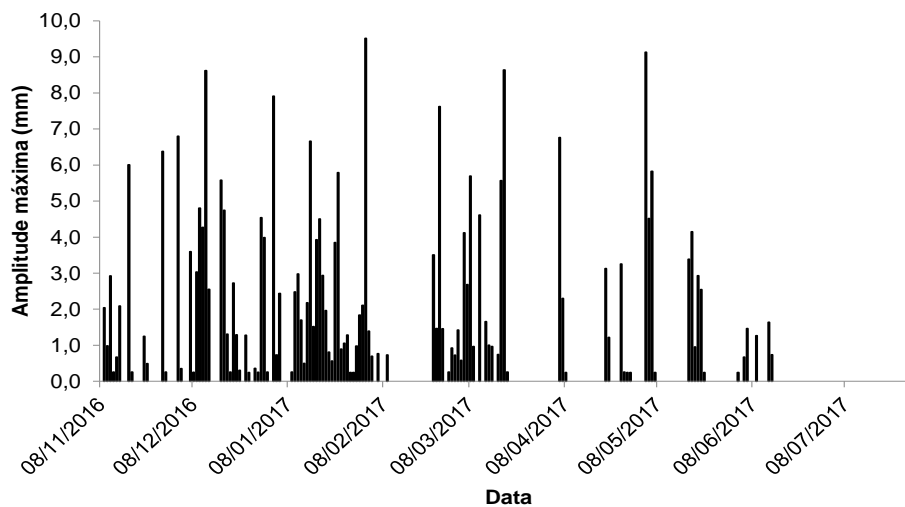


Figura 4. Valores máximos de amplitude dos registros de precipitação pluvial.

Para determinar o efeito da chuva, e de sua variabilidade dentro da área experimental, adjacente a cada pluviômetro foi instalado um tubo de acesso para uso da sonda Diviner. Com um total de nove tubos instalados, com profundidade efetiva de medida de 600mm, foi determinada a umidade do solo a partir do dia 20 de fevereiro de 2017.

A instalação dos tubos foi realizada com antecedência de dois meses, a fim de que houvesse acomodamento do solo junto ao cano, necessário para terem-se medidas confiáveis. Realizadas de uma a duas vezes por semana, nos nove pontos, a umidade do solo, assim como a chuva, também apresentou variabilidade espacial (Figura 5). Para o cálculo da capacidade de armazenamento de água em cada um dos pontos, nessa ocasião foram utilizados os valores referenciais de umidade em capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,30$) e ponto de murcha permanente ($\theta_{pmp} = 0,22$), considerados a partir das informações de Costa (2017) e dos próprios dados de umidade do solo medidos após

momentos de chuva de alto volume acumulado, e período de estiagem prolongada. Tais valores são provisórios, servindo apenas para uma análise preliminar dos resultados.

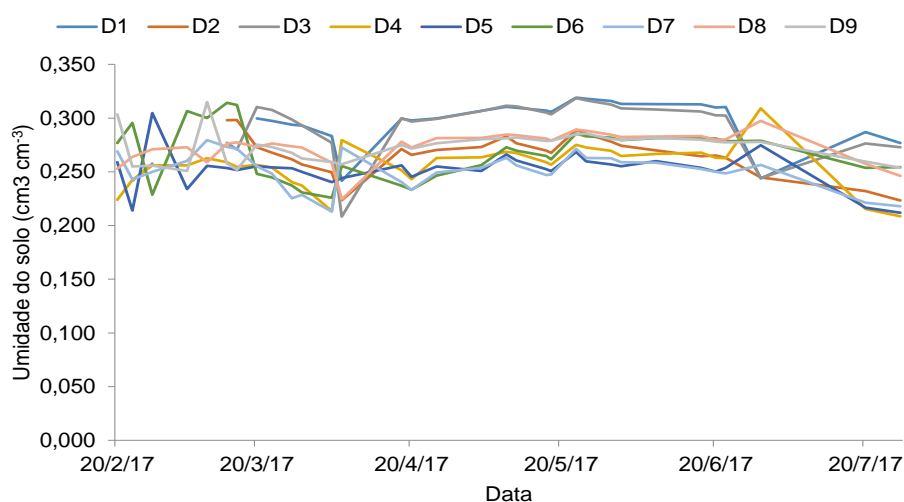


Figura 5. Umidade volumétrica do solo em cada um dos pontos de amostragem.

Uma coleta de solo na área já foi realizada, com o propósito de determinar a curva de retenção (em execução no laboratório) e as características de textura (em execução no laboratório) do solo em cada um dos nove pontos de medida. A partir dos resultados dessas análises todos os resultados dependentes serão reprocessados.

A partir dos resultados preliminares, observa-se a variação da umidade do solo em função da precipitação pluvial. De 20 de fevereiro a meados do mês de maio de 2017, a umidade do solo apresentou aumentos, chegando a 35 e 40mm de armazenamento de água no solo, observando-se uma queda entre esse pontos extremos devido a redução das chuvas, chegando a um mínimo de pouco mais de 15mm. Com a chegada do mês de junho, e a acentuada redução das chuvas, a umidade do solo seguiu em declínio, já atingindo valores inferiores ao mínimo de armazenamento previamente observado (Figura 6).

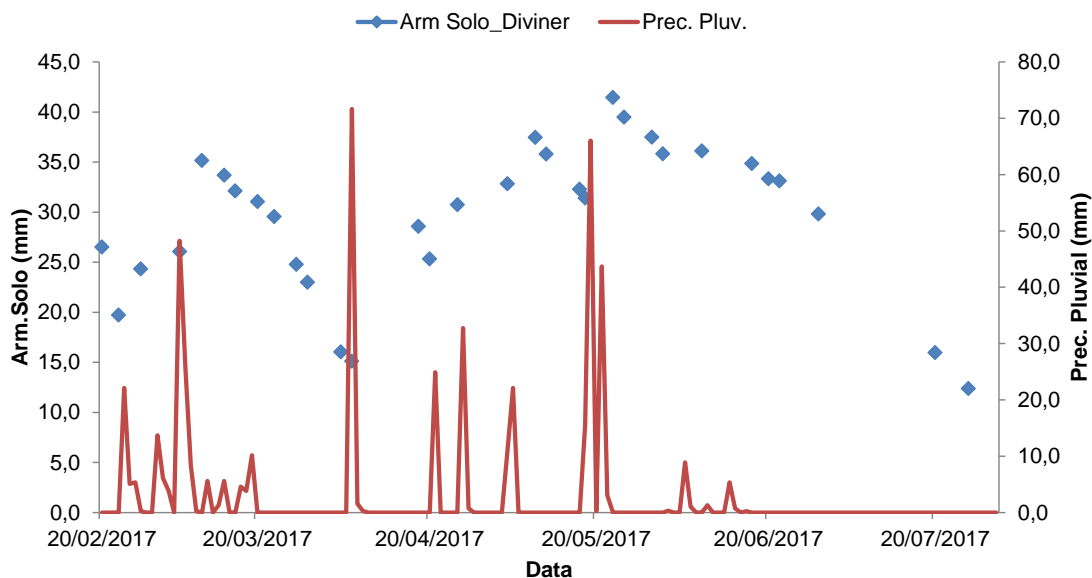


Figura 6. Pontos de armazenamento registrados pela sonda Diviner e linhas de precipitação registrados pelos pluviômetros.

A partir da $\theta_{pmp} = 0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, utilizando o valor médio de umidade do solo dos perfis amostrados com a sonda Diviner, e a partir desse conjunto, a fim de se ter uma análise preliminar do armazenamento de água no solo, para a profundidade de 600mm, foi calculado o valor de CAD médio medido, utilizando a média das nove medições.

A fim de simular tais medições, foi gerado um balanço hídrico, adotando a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955). Para isso foi utilizada uma CAD de 50mm, dados meteorológicos coletados no Posto Meteorológico da Esalq, e calculada a evapotranspiração de referência a partir do método de Penman-Monteith. Durante o período de coleta da umidade do solo, a área permaneceu parcialmente coberta com Soja, Milho e Capim. Nesse momento, para ter-se apenas uma análise previa da eficácia do modelo, o BH foi calculado sem considerar as diferenças de cobertura do terreno, ou seja, a partir da ETo.

Ao analisar a variação temporal dos dados de precipitação pluvial, do armazenamento de água do solo medida e armazenamento de água no solo estimados pelo BH_T&M (Figura 7), ressalta-se ainda que preliminarmente, sobre a possibilidade de um bom ajuste entre dados medidos e estimados de umidade do solo (Figura 8). A partir desse conjunto de dados preliminar, ainda carente de correções quanto as características de solo, como mencionado, observam-se diferenças em relação aos valores máximos, pós chuva, e também mínimos, devido a estiagem. Como as coletas

com a sonda diviner não são realizadas diariamente, e a dificuldade de acesso a área em momentos pós-chuva, podem estar impedindo a coleta de valores superiores de umidade do solo. Essa análise preliminar, embasada nessa hipótese, alterou o cronograma de medições para a próxima estação chuvosa.

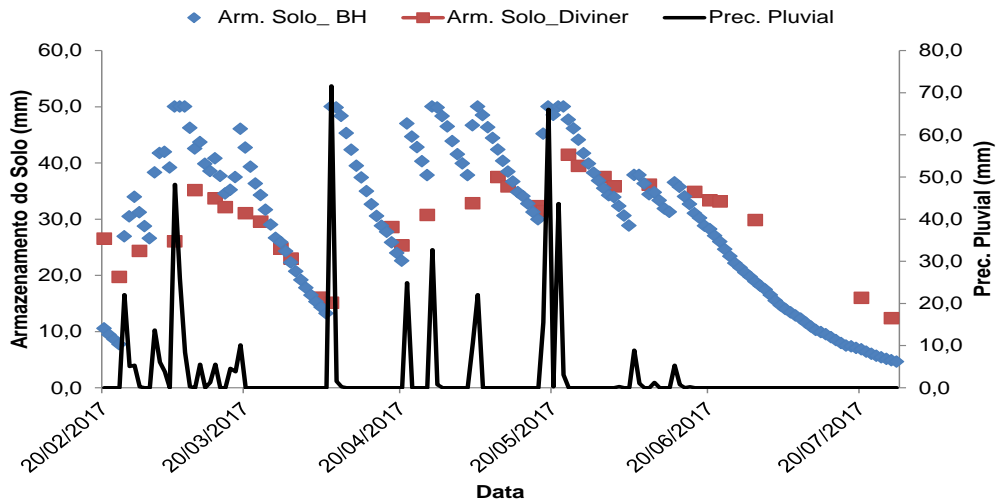


Figura 7. Pontos de armazenamento registrados pela sonda Diviner e pontos de armazenamento de BH e a linha de precipitação registrados pelos pluviômetros.

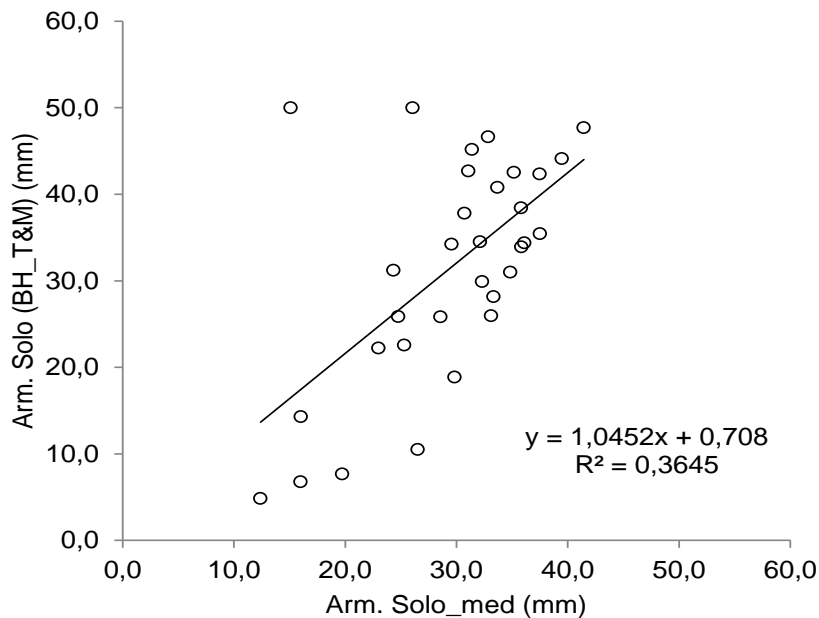


Figura 8. Correlação entre dados medidos (sonda Diviner) e estimados (BH_T&M) de armazenamento de água no solo.

2. Resultados Preliminares Área Experimental 1 - Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica em área cultivada e avaliação da estimativa de precipitação por radar meteorológico em Piracicaba–SP

Introdução

A agricultura é uma das atividades econômicas mais dependente e influenciada pelas condições meteorológicas. A precipitação pluvial, em específico, tem forte relação com a produtividade agrícola no Brasil (BERLATO et al., 2005; SILVA et al., 2006; BRAIDO & TOMMASELLI, 2010), principalmente em culturas de sequeiro. Sendo assim, entender a variabilidade da chuva em uma região e estabelecer ferramentas que permitam quantificar essa chuva, é fundamental ao acompanhamento e previsão de safras agrícolas.

Em geral, a distribuição da chuva depende da topografia e do tipo de sistema precipitante. Melaart (1999) encontrou importantes diferenças na variabilidade espacial das chuvas para distâncias relativamente pequenas (1 km) e concluíram que a variabilidade muda conforme o ano e a região.

Convencionalmente, as medições pontuais de precipitação são feitas com pluviômetros e pluviógrafos, e através de radares e satélites meteorológicos para medições espaciais. Contudo, as medições pontuais podem apresentar a desvantagem de não representarem o total pluviométrico de uma região, uma vez que amostram pontos isolados de chuva. Portanto, a aplicação de estimativa remota de precipitação, como a tecnologia de radar meteorológico, é uma ferramenta importante, uma vez que as amostras são feitas com alta resolução espaço-temporal e em tempo real (PESSOA, 2000).

A estimativa de precipitação do radar é obtida através de uma relação entre a taxa de precipitação R (mm h^{-1}) e o fator de refletividade do radar Z ($\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$). Para estimar a taxa de precipitação a partir da refletividade precisam ser construídas relações empíricas, essas relações são da forma:

$$Z = aR^b \quad (1)$$

em que a e b são coeficientes que dependem, fundamentalmente, do tamanho e distribuição do espectro de gotas nas nuvens. Além da estimativa de precipitação, utilizando apenas a refletividade horizontal, com radares de dupla polarização é possível

estimar a precipitação também utilizando o KDP (Fase Diferencial Específica), a qual se baseia na diferença de fase entre as ondas eletromagnéticas nas polarizações horizontal e vertical.

As medições de refletividade dos radares com dupla polarização permitem uma estimativa de precipitação com maior acurácia, pois conseguem medir variáveis diferenciais para examinar as questões microfísicas como tamanho e distribuição de gotas na atmosfera (SAUVAGEOT, 1992).

O Objetivo desse estudo, portanto, é avaliar de forma preliminar a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluvial e em seguida comparar a precipitação observada com estimativa de precipitação por radar meteorológico. Para tanto, a estimativa de precipitação pelo radar será obtida pelas relações Z-R e Z-KDP-R.

Material e Métodos

A área de coleta dos dados pluviométricos consiste no sítio experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. Nesta área estão instalados nove pluviômetros (P1 ao P9) do tipo “*tipping bucket*”, distribuídos quadricularmente, formando uma grade de amostragem de 200m x 200m, com área total de 360.000 m². Além disso, utilizou-se dois pluviômetros a mais para avaliação: um distante a 538,96 metros de P1, localizado em uma plantação de soja (“P SOJA”) e outro distante de 2060 metros do P1, localizado no Posto Meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” (“P POSTO”).

Para a análise da variabilidade espacial dos dados pluviométricos, adotou-se o pluviômetro P1 como referência, que se encontra na extremidade do grid. Foram feitas correlações de cada pluviômetro com o P1 e com as respectivas distâncias entre eles.

As estimativas de precipitação por radar foram disponibilizadas pelo Projeto SOS CHUVA. A base é um Radar Banda X de dupla polarização da “Selex ES” operando em uma área do campus da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), sob a responsabilidade do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (Cepagri/Unicamp), Campinas - SP. As características gerais do radar são:

- Radar Doppler de dupla polarização.
- Frequência de operação de 9300 – 9500 MHz (Banda X).
- Resolução de 200m.

A distância entre a malha de pluviômetros (latitude: 22°41'24,9" S e longitude: 47°38' 32,7" W) e o radar meteorológico (latitude: 22°48'56" S, longitude: 47°03'28" W) é de aproximadamente 65km.

As estimativas de precipitação por radar foram geradas a partir das relações propostas por Park et al. (2004), que utilizam uma combinação Z-KDP-R para radares de banda X, considerando a seguinte equação (2):

$$R = 19,63 |K_{dp}|^{0,823} \quad (2)$$

onde, R é a taxa de chuva do radar (em mm h⁻¹) e Kdp é a fase diferencial específica (graus km⁻¹), e pela relação Z-R (Marshall e Palmer, 1948), conforme equação 3:

$$Z = 200 R^{1,6} \quad (3)$$

onde, Z é o valor linear: dBZ = 10 Log (Z).

A partir do conjunto de dados gerados pelo radar meteorológico e malha pluviométrica, o período considerado para análise da variabilidade espacial da precipitação foi o mês de janeiro de 2017. Para a validação da estimativa de precipitação do radar escolheu-se o mês de maio de 2017. As escolhas basearam-se na menor quantidade de falha de dados tanto na malha de pluviômetros quanto do radar. Além disso, foram retirados das análises os dados dos pluviômetros 6 e 7, por conterem falhas.

A validação da estimativa de precipitação do radar foi realizada por meio de comparações com as medições pluviométricas de superfície (9 pontos), por meio de análise de regressão e dos índices estatísticos: índice BIAS, que indica o viés da estimativa, do coeficiente de correlação de Pearson (r) e da raiz do quadrado médio do erro (RQME).

Resultados e Discussão

A distribuição espacial da precipitação na área da malha dos 9 pluviômetros apresentou diferenças de medidas quando integrado para o período diário (Figura 1). Ao observar a amplitude máxima entre os pluviômetros da malha nota-se que, em alguns eventos de precipitação, a diferença chegou aos 9,0 mm, mostrando que mesmo em uma área de apenas 360.000 m² existe variabilidade, podendo ocasionar diferenças da

produtividade agrícola, já que a umidade do solo oscila primariamente em função da reposição natural de água.

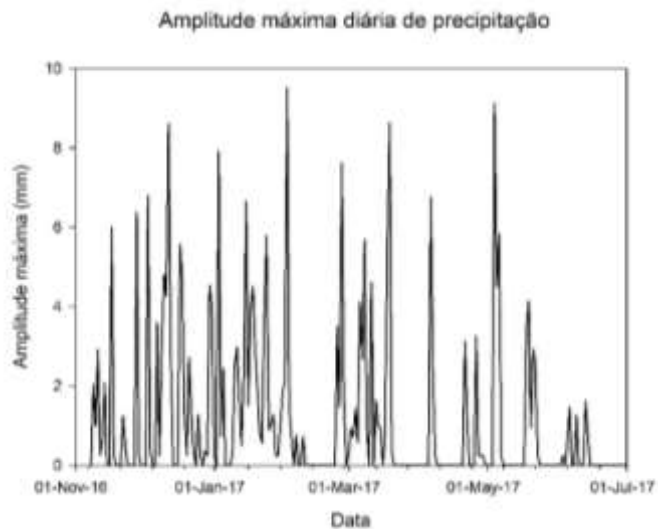


Figura 1 – Amplitude máxima(mm) de precipitação diária entre os 9 pluviômetros da malha.

Ao comparar cada pluviômetro com o pluviômetro de referência (P1) e correlacionar com as respectivas distâncias entre eles, observa-se boa correlação para pluviômetros distantes até 600 m de P1. No entanto, ao comparar com o pluviômetro do Posto meteorológico da ESALQ a correlação diminui, ficando em torno de 0,65 (figura 2).

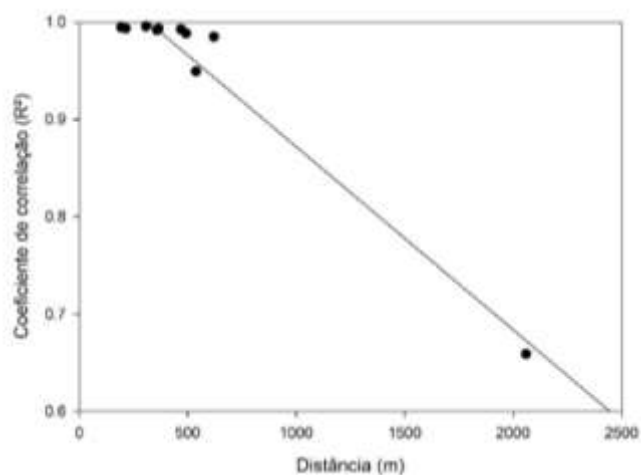


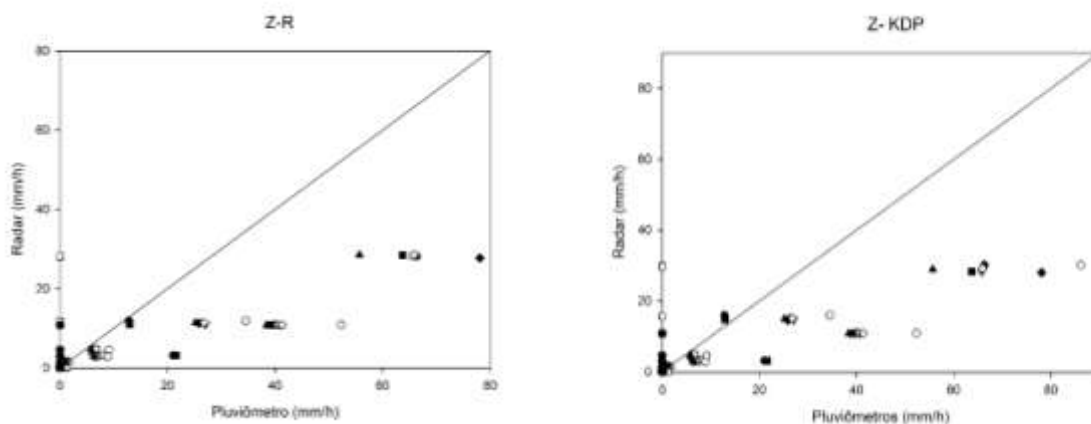
Figura 2- Correlação entre cada pluviômetro da malha, o pluviômetro da soja e o pluviômetro do posto com o de referência (P1) em comparação com suas respectivas distâncias.

A análise da estimativa da precipitação pelo radar mostrou que o radar subestimou a precipitação em todos os pontos de observação para o mês de maio de 2017. O índice que representa essa subestimativa, o índice BIAS, mostrou-se alto. A raiz quadrada média do erro também apresentou valores altos, indicando que há um erro considerável nas estimativas de precipitação para os dois métodos. Já os resultados da correlação de Pearson entre os dados foi elevada, acima de 0,9, mostrando que a precipitação por radar tem uma boa precisão, mas não é exata na estimativa (Tabela 1). Ressalta-se que a malha de pluviômetros está localizada praticamente na borda da área de abrangência desse radar meteorológico, onde os erros de estimativa são maiores e esperados, e necessitam dessas análises para serem calibrados.

Tabela 1- Estatísticas de comparação com o estimado pelo radar e o observado.

	R Z-R	BIAS Z-R	RQME Z-R	R KDP	BIAS KDP	RQME KDP
P1	0,942	-0,586	9,709	0,913	-0,547	9,459
P2	0,980	-0,681	14,227	0,969	-0,651	13,732
P3	0,979	-0,586	9,577	0,973	-0,561	9,395
P4	0,980	-0,589	9,525	0,972	-0,559	9,238
P5	0,945	-0,580	9,263	0,920	-0,554	9,276
P8	0,977	-0,587	9,625	0,970	-0,559	9,349
P9	0,968	-0,542	7,829	0,964	-0,513	7,577

A simples correlação entre dados medidos e estimados, independente do modelo de conversão utilizado pelo radar (figura 3), reitera os resultados da tabela 1. Mesmo na ausência de chuva, para a área e período analisados, o radar gerou dados errôneos. A tendência linear entre medidas e estimativas indicam a possibilidade de recalibração e melhores resultados para o radar.



(a) Regressão linear para relação Z-R
relação Z-KDP

(b) Regressão linear para

Figura 3 – Análise de regressão entre os pontos de amostragem de chuva observada e a estimativa de chuva por radar para a relação Z-R (figura 3a) e Z- KDP (figura 3b).

Conclusão

- A distribuição da chuva não apresenta variabilidade espacial considerável até aproximadamente 600 m de distância. Apenas na comparação com uma distância de 2060 m houve variação.
- A estimativa de precipitação por radar subestimou a precipitação, indicando que é necessário corrigir o viés, alterando os valores dos coeficientes das equações.

3. Resultados Preliminares Área Experimental 2 - Análise dos fluxos de água e CO₂ de um canal, em pós-colheita mecanizada.

Introdução

O conhecimento dos elementos meteorológicos e monitoramento de seu comportamento permite uma tomada de decisão mais segura quanto à gestão de recursos naturais. Dois fatores importantes a serem abordados em áreas de cultivos agrícolas são

a perda de água do solo para a atmosfera, que é um processo que pode depender da demanda evaporativa atmosférica ou da mudança da estrutura do solo, e o dióxido de carbono (CO₂) emitido, que pode variar conforme o manejo adotado na área de produção. Conforme Cerri et al. (2007), a realização de um manejo conservacionista no solo possibilita um aumento do estoque de carbono no solo. Incursões mecanizadas de revolvimento, que impõem desagregação e movimento da matéria vegetal de cobertura podem acelerar a degradação de matéria orgânica, incrementando a emissão de CO₂ (Iamaguti et al., 2015). Este trabalho versa da análise dos fluxos de CO₂ e água de um canavial, pós colheita mecanizada.

Material e métodos

As medições foram realizadas por meio de uma torre micrometeorológica instalada em uma área agrícola do município de Piracicaba (São Pulo), onde os fluxos de CO₂ e vapor d'água foram estimados pela metodologia de "Eddy Covariance" (Aubinet et al., 2012), com medidas de frequência de 20 Hz da densidade de CO₂ e H₂O, do componente vertical do vento e temperatura sônica, sendo corrigidos para concentrações (Webb, 1980) para se obter os dados de fluxos. Para análise foram considerados 80 dias de medições, de 29 de junho a 28 de setembro de 2017. Ao longo desse período a área apresentou duas situações distintas de superfície, inicialmente com cobertura de palhada residual da colheita de cana, até 14 de agosto, e após uma gradagem um solo descoberto. Foram realizadas as seguintes correções dos dados (1) Quando erro do sensor os dados são descartados; (2) Cálculo do horário ao nascer e ao pôr do sol em relação à latitude e descarte dos dados no período noturno; (3) Descarte dos dados com valores negativos (erros); (4) Descarte de dados em dias com chuva para fluxo de água de CO₂; e (5) Consideraram-se os dados com direção média diária dos ventos entre 22,5° e 202,5° (predominantes da área estudada).

Resultados

Analisando os dados diários de temperatura e umidade do ar (Figura 1), observam-se as médias de temperatura de 19,4 °C para os dias com cobertura de palha, 17°C para os dias chuvosos que procedem o revolvimento do solo e 24,4°C para os dias seguintes com solo descoberto, com uma tendência normal de aumento entre os meses de junho e setembro. De forma contrária, devido ao período seco (Figura1), a umidade do ar decresceu, chegando a valores médios diários com menos de 43% (Figura 1).

Ocasionalmente, o revolvimento do solo foi acompanhado por um período de 5 dias chuvosos (Figura 1), enquanto os demais dias foram secos.

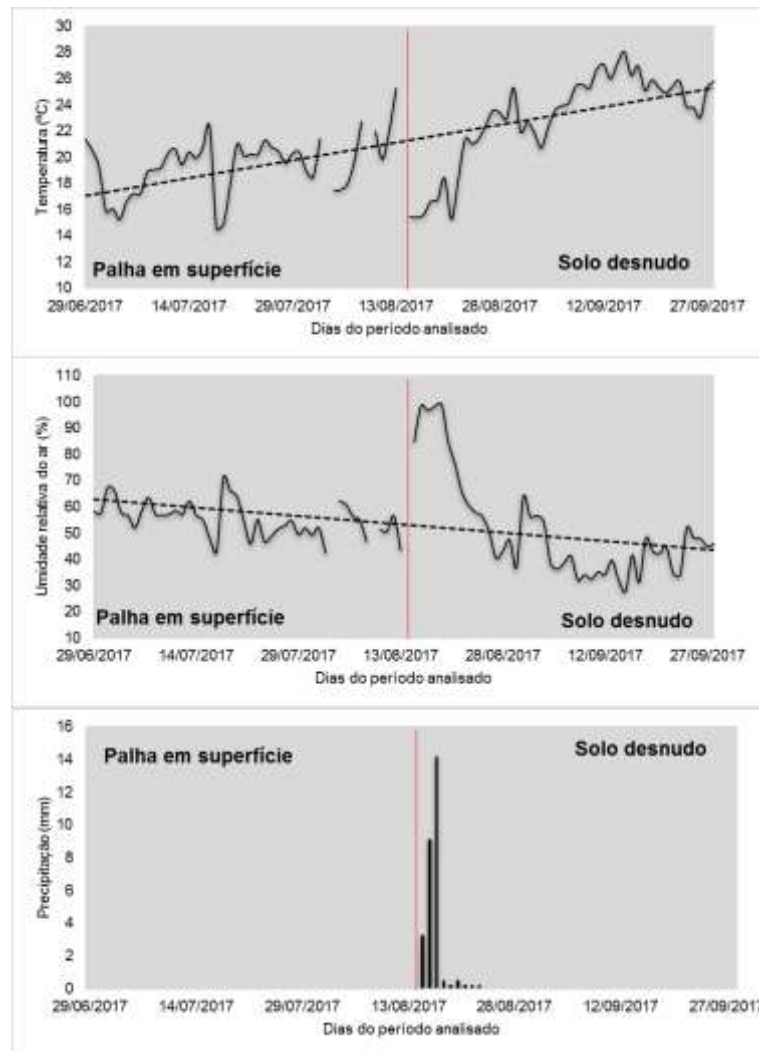


Figura 1. Dados diários da temperatura do ar, umidade relativa do ar e chuva.

Dados primariamente coletados no período 1 (com palha na superfície) apresentaram uma pequena oscilação dos valores de evaporação e do fluxo de CO₂. Imediatamente após a colheita da cana, já na estação seca, o resíduo que cobriu o solo, formando um “mulching protetor”, restringiu a perda de água e CO₂ para a atmosfera. A não incorporação da palhada ao solo, a alta relação C:N e a baixa umidade do solo inibiram o processo de decomposição do material orgânico, limitando a emissão de CO₂.

A incorporação da palhada ao solo e o aumento da umidade devido a chuva - 28,7 mm acumulados - (Figura 1), e uma condição térmica favorável intensificou a ação microbiana. De imediato os dados coletados apontaram para um aumento esperado da emissão de CO₂ e também da evaporação (Figura 2).

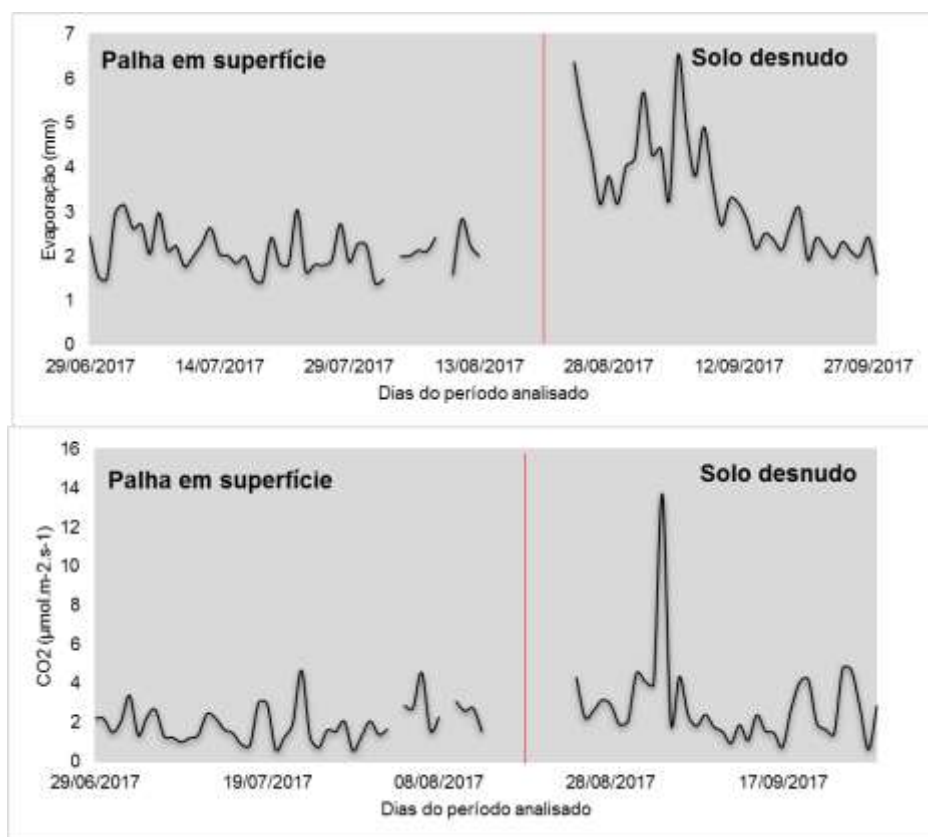


Figura 2. Fluxo de vapor d'água e de CO₂ nas situações de solo com palha na superfície e desnudo.

Enquanto os dados coletados no período 1 apresentavam média de 1,9 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de CO₂ e 2,1 mm de evaporação, pós manejo mecanizado e ocorrência da chuva observaram-se um pico de 4,3 mm nos 20 dias subsequentes de evaporação e de 3,2 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de CO₂. Apesar das oscilações, ao longo desses 20 dias (24 de agosto a 12 de setembro) as emissões de gases superaram as de todo o restante do período considerado. Após o período destacado os dados do período 2 (solo desnudo) retornaram para uma média de 2,4 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de CO₂ e 2,3 mm próximos aos patamares observados no período 1.

BIBLIOGRAFIA

- AUBINET, M., VESALA, T., PAPALE, D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer, 460 pp. 2012.
- BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BRAIDO, L. M. H; TOMMASELLI, J. T. G. Caracterização climática e dos anos extremos (chuvoso e seco): seus efeitos na produção de cana-de-açúcar, milho e soja para a região do pontal do Paranapanema–SP. **Revista Formação**, v. 1, n.17, p. 13-34, 2010.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, v.64, p.83-99, 2007.
- COSTA, L.G. Crescimento, desenvolvimento e consumo hídrico de cana-de-açúcar sob dois sistemas de manejo da palhada. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2017
- DELAHAYE, F.; KIRSTETTER, P. E.; DUBREUIL, V.; MACHADO, L. A. T.; VILA, D. A.; CLARK, R. A consistent gauge database for daily rainfall analysis over the Legal Brazilian Amazon. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 292–304, 2015.
- IAMAGUTI, JL, MOITINHO, MR, TEIXEIRA, DD, BICALHO, EDS, PANOSSO, AR E LA SCALA JUNIOR, N. Preparo solo e emissão de CO₂, temperatura do solo e umidade do solo em uma área de cana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* , pg.497-504, 2015.
- MARSHALL, J.S.; PALMER, W.McK. The distribution of raindrops with size. **Journal of Meteorology**, Shorter Contributions, v. 5, p. 165-166, 1948.
- MELLAART, E.A.R. **Small-scale spatial rain distribution**: the effect of temporal and spatial rain distribution on drought and crop yield at village level. Nelspruit: Institute for Soil, Climate and Water, 1999. 18p.
- PARK, S.G., MAKI, M., IWANAMI, K., BRINGI, V.N. Correction of radar reflectivity and differential reflectivity for rain attenuation and estimation of rainfall at X-band wavelength. In: SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HYDROLOGICAL APPLICATIONS OF WEATHER RADAR, 2004, **Anais...** Melbourne: Australian Bureau of Meteorology, 2004.

PESSOA, M. L. **Hidrometeorologia com radar**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 943 p.

SAUVAGEOT, H. **Radar Meteorology**. Artech House Publishers, 1992. 384 p.

SILVA, D. F. SANT'ANNA NETO, J. L. Variabilidade pluviométrica e suas influências na produtividade agrícola no município de Ourinhos-SP. In: II Semana de Geografia – UNESP, Ourinhos. **Anais...Ourinhos**: UNESP, 2006.

WEBB, E.K., PEARMAN, G.I. AND LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 106: 85- 100. 1980.