

INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO EM MODELO HIDROLÓGICO

José Eduardo Pitelli Turco¹, Nivaldo Carleto²

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho verificar a influência da integridade dos dados (velocidade do vento, radiação solar, temperatura e umidade do ar e precipitação pluviométrica) sobre os parâmetros hidrológicos de saída da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP usando o modelo SWAT. Os dados foram obtidos por três estações meteorológicas automáticas; uma da Campbell Scientific e outra da Davis Instruments instaladas no Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP (Câmpus de Jaboticabal/SP) e uma outra do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizada próxima ao Departamento de Ciências Exatas. Foram aplicadas técnicas para verificar a integridade dos dados destas estações e o SWAT para analisar os parâmetros hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP. Dados meteorológicos sem o devido tratamento inviabilizam a utilização do modelo SWAT. Estações Meteorológicas com os sensores calibrados possibilitam a utilização do modelo SWAT para o planejamento e gestão de recursos hídricos naturais.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, modelo swat, sensor meteorológico.

METEOROLOGICAL DATA INTEGRITY FOR USE IN MODEL HYDROLOGICAL

ABSTRACT

The research objective of this study was to investigate the influence of data integrity (wind speed, solar radiation, temperature and humidity and precipitation) on the hydrological parameters Basin Stream Rico/SP using the SWAT model. The data were obtained for three automatic weather stations; one of Campbell Scientific and another from Davis Instruments installed in the Department of Rural Engineering FCAV/UNESP (Jaboticabal Campus) and another of the Integrated Environmental Data (SINDA) of the National Institute for Space Research (INPE) located near to the Department of Exact Sciences. Techniques were applied to verify the integrity of the data from these stations and the SWAT model to analyze the hydrological parameters Basin Stream Rico/SP. According to results, it was found that the

¹Doutor em Engenharia, Prof. Adjunto III da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, email: jepturco@fcav.unesp.br

² Doutor em Agronomia, Prof. da FATEC, Taquaritinga, e-mail: nivaldo.carleto@fatectq.edu.br

data precipitation sensors, relative humidity, and solar radiation EMA SINDA/INPE were not acceptable. As a result, there were significant differences in the output parameters of the SWAT hydrologic model, which undertakes the planning and management of water and natural resources.

Keywords: watersheds, swat model, meteorological sensor.

INTRODUÇÃO

No Brasil, as Estações Meteorológicas Automatizadas (EMAs) vêm sendo utilizadas com frequência nas universidades, no setor agrícola e alguns institutos de pesquisa. Os principais fabricantes de EMAs são: a Campbell Scientific e a Davis Instruments. Estas estações fornecem dados meteorológicos de modo prático e funcional. Porém, devido ao estado de conservação da malha de estações em operação atualmente no País, os dados fornecidos por elas não são de boa qualidade. Há necessidade de além de fazer a manutenção das estações investimento para seu fortalecimento e expansão. Portanto, é essencial analisar a integridade destes dados para garantir a confiabilidade das informações climatológicas.

Nesse sentido, Turco e Barbosa (2008) avaliaram a integridade de dados meteorológicos de duas EMAs, uma do fabricante Davis Instruments e outra do fabricante Campbell Scientific, para detectar possíveis erros nas medidas dos sensores. Como resultado, os autores identificaram que os dados da radiação solar e da temperatura do ar foram satisfatórios. Porém, os dados da umidade relativa do ar das duas EMAs não foram aceitáveis. Com relação a velocidade do vento, ambas EMAs não apresentaram boa correlação.

Estévez et al. (2011a) apresentaram diretrizes para aplicar técnicas que verificam a confiabilidade dos dados da *Red de Información Agroclimática de Andalucía* (RIAA), bem como Estévez et al. (2011b) desenvolveram um sistema de controle de qualidade para quantificar a Evapotranspiração de Referência (ET_o) e auxiliar no processo de irrigação. Os autores concluíram que é necessário analisar cada

estação meteorológica para detectar erros de medida, bem como estabelecer melhorias na análise de dados para validar a sua confiabilidade.

Sharan (2014) desenvolveu um protótipo de EMA para medir dados meteorológicos de forma remota (*wireless*). Os resultados mostram que os dados medidos são aceitáveis, quando comparados com dados de EMAs existentes no mercado. Jamil et al. (2013) destacam a importância do conhecer tecnicamente os sensores meteorológicos para garantir a correta operação da EMA e, conseqüentemente, auxiliar na prevenção de enchentes. Como resultado, os autores verificaram que o bom funcionamento dos sensores auxilia na confiabilidade dos dados como forma de proteção à sociedade; já que os desastres naturais vêm aumentando.

Turco et al. (2014) avaliaram no município de Jaboticabal/SP o método de (Hargreaves) para estimativa de ET_o e compararam com o método de Penman-Monteith. Os autores concluíram que o desvio padrão diário da ET_o, na comparação com os métodos estudados, foi satisfatório. Pereira et al. (2015) apresentaram um estudo, utilizando o método de Penman-Monteith, quando o coeficiente de cultura é alterado devido a transpiração da cultura e a evaporação do solo. Os autores observaram que as alterações no coeficiente podem ser utilizados para controlar qualidade na estimativa da ET_o, desta forma, auxiliar os agricultores no que se refere ao consumo de água.

Pissarra et al. (2014) utilizaram o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para compreender o processo de erosão na Bacia Hidrográfica do Córrego Tijuco Preto (região de São Carlos/SP) em razão da precipitação pluviométrica. Como resultado,

foram identificadas as principais áreas erosivas da referida bacia hidrográfica.

Sudjarit et al. (2015) utilizaram o SWAT para analisar a água e a produção de sedimentos relacionados ao ecossistema de uma região montanhosa da Tailândia. Nestas condições, os autores identificaram possíveis desabamentos de terra e processos de erosão na região devido a precipitação e o escoamento superficial; tendo em vista que a entrada de água em determinadas áreas era maior que a quantidade de saída. Melo Neto et al. (2014) avaliaram o desempenho do SWAT na simulação do escoamento ao nível micro e meso na escala espacial em uma mesma região hidrográfica. Os autores concluíram que o modelo apresentou resultados satisfatórios com base nos índices estatísticos aplicados em sua análise.

Silva et al. (2014) estimaram a produção de sedimentos e nutrientes (nitrogênio e fósforo) transportados para os rios da microbacia do Ribeirão Canchim (São Carlos/SP), inserida no perímetro da bacia Canchim (sede da Embrapa Pecuária Sudeste), entre 1992 e 2012. Os autores observaram que a estimativa de perda anual de solo, quando comparado com outros trabalhos, não indicou valores significativos para comprometer a qualidade dos mananciais, assim como a qualidade da água na microbacia. Estudos sobre a aplicação do modelo SWAT no Brasil, com o objetivo de descrever a variedade de biomas e zonas climáticas, bem como verificar relatos de estudos e publicações do SWAT, foram desenvolvidos por Bressiani et al. (2015). Os autores identificaram que os biomas brasileiros são caracterizados por uma grande diversidade de vegetação e clima, impondo desafios consideráveis no que diz respeito à aplicação de modelos hidrológicos. No entanto, o uso do modelo SWAT no Brasil vem crescendo consideravelmente nos últimos anos na área acadêmica. Porém, governo, secretarias de meio ambiente e comitês de bacias hidrográficas ainda permanecem distantes da utilização do modelo como ferramenta de apoio a decisão na gestão de recursos hídricos.

Sadler et al. (2015) trabalharam com instrumentação, coleta de dados e documentação de apoio para melhorar as análises e as modelagens hidrológicas. Diante disso, os autores verificaram que existem diversas pesquisas sobre modelos utilizados na gestão de bacias hidrográficas, como por exemplo o SWAT. LI et al. (2015) investigaram os impactos da mudança do uso da terra devido ao escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Heihe (China). Os resultados indicaram que as florestas e as pastagens irão se expandir, reduzindo o escoamento superficial e a disponibilidade da água. Com isso, para alcançar o desenvolvimento sustentável, torna-se necessário informar as autoridades competentes para fins da gestão de recursos hídricos e o uso correto da terra. Estudos sobre o desempenho do SWAT, quando utilizado para uso e ocupação do solo, em diferentes condições climáticas, foram realizados por Kiros et al. (2015). Os autores observaram que o SWAT pode ser aplicado na gestão de terras, aceitando entrada de dados em diferentes cenários de solo e de clima; o que enfatiza a sua importância da gestão de Bacias Hidrográficas.

Mutenyo et al. (2013) utilizaram SWAT para modelar a hidrologia de águas montanhosas de bacias tropicais do rio Manafwa no leste de Uganda (África). Como resultado, os autores concluíram que o SWAT é adequado para a gestão de recursos hídricos em regiões com escassez de água. Além disso, ressaltaram a importância de aumentar a quantidade de EMAs para medir baixas precipitações que ocorrem nestas regiões.

Objetivou-se com este trabalho verificar a influência da integridade de dados meteorológicos de entrada sobre os parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT, tendo como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, situada a 21°14'05"S de latitude, 48°17'09"O de longitude e altitude de 613,68 m. O clima, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Cwa (subtropical com inverno seco e chuvas de verão) (CEPAGRI, 2016).

Os dados meteorológicos coletados das EMAs são relativos ao período de janeiro de 2009 a dezembro de 2012. Estes dados foram obtidos por três EMAs: uma da Campbell Scientific e outra da Davis Instruments instaladas no Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal (a distância entre as duas estações é de aproximadamente 5 metros), e uma terceira estação do SINDA/INPE localizada próxima ao Departamento de Ciências Exatas (a distância entre as duas estações – Campbell e Davis – e a estação do SINDA/INPE é de aproximadamente 800 metros).

As estações da Campbell e do SINDA/INPE possuem um sistema de aquisição de dados (*datalogger*), onde os sensores são conectados. Já na estação da Davis, os dados são transmitidos via rádio (*wireless*) para um console. A estação meteorológica automatizada do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>), possui sensores de temperatura e umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação. A estação automatizada da Campbell Scientific possui os seguintes sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo HMP45C Vaisala; velocidade do vento, modelo 03001 RM Young Co; radiação solar global, modelo CM3 Kipp & Zonen; saldo de radiação, modelo NR LITE Kipp & Zonen. A estação automatizada da Davis Instruments possui os seguintes sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo 7859; velocidade do vento, modelo 7911; radiação solar global, modelo 6450; todos da marca Davis Instruments.

Na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, está plantada grama batatais (*Paspalum notatum Flüggé*) para

manter as condições ideais na coleta dos dados. Nas estações Campbell Scientific e Davis Instruments, os sensores de radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar estão instalados a 1,5 m acima da superfície gramada. Os sensores de velocidade do vento das referidas estações estão instalados a 2 m da superfície gramada e o sensor do SINDA/INPE a 10 m. Diante disso, foi necessário utilizar um fator de conversão (relação logarítmica) para corrigir a altura do sensor em razão do cálculo da ETo (ALLEN et al., 2006).

Problemas apresentados pelos dados meteorológicos das EMAs não são responsabilidade do fabricante ou da instituição detentora do equipamento e, sim, da rotina de manutenção das estações.

Para analisar a integridade dos dados das EMAs, foram aplicadas as técnicas descritas por Allen (1996). Os dados meteorológicos utilizados como referência foram obtidos da EMA da Campbell. Periodicamente, os dados da estação de referência são aferidos em relação a Estação Convencional Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal/SP.

De acordo com Allen (1996), os registros de dados produzidos por estações meteorológicas podem ser comparados aos registros de estações vizinhas (próximas) para verificar se houve alteração no funcionamento dos sensores. Essa técnica é conhecida como análise de dupla massa. Consequentemente, foi analisada a integridade destes dados e, posteriormente, utilizados no SWAT para analisar os parâmetros hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP. As determinações diárias da ETo foram obtidas pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006).

A Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP está localizada na posição geográfica definida pelas coordenadas; latitudes 21°10'S e 21°28'S e longitudes 48°10'W e 48°35'W; conforme Folhas da Carta do Brasil, escala 1:50.000 (IBGE, 1971). Sua área é de aproximadamente de 563 km² e abrange os municípios de Jaboticabal, Monte Alto,

Taquaritinga, Santa Ernestina e Guariba

(Figura

1).

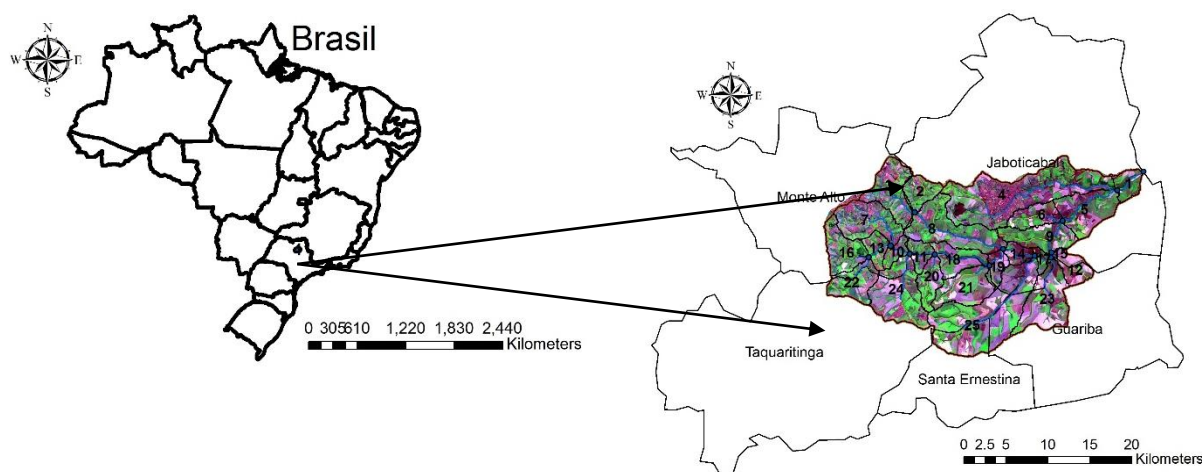


Figura 1. Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.

As cartas que compõem a Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP foram inseridas no ArcGIS 9®, versão ArcMap 9.3.1, com extensão ArcView, para análise espacial. O recorte da área da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP foi realizado com base no BASIN (*Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources*) e executado pelo ArcGIS 9®, versão ArcMap 9.3.1. Para realizar as análises dos parâmetros hidrológicos de saída foi utilizado o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). (ARNOLD et al., 2012).

Os arquivos de entrada para o SWAT foram definidos em três diferentes níveis de detalhe: bacia hidrográfica, sub-bacia e *Hydrological Response Units* (HRUs). Para delinear a bacia hidrográfica com as respectivas

sub-bacias, foi necessário obter o mapa do modelo digital do terreno (MDT), o qual foi criado na resolução espacial de 30 m, na interpolação do plano de informação (PI) das curvas de nível com equidistância de 20 m (PISSARRA, 2002). O método foi de interpolação TIN por rede de triangulação, na representação matemática de superfície altimétrica, nas coordenadas x, y e z em uma série de triângulos irregulares gerados da interpolação de linhas e pontos, espaçadas irregularmente no módulo 3D Analyst do programa ArcGis 9.1. A direção do fluxo de água foi gerada e a área limite para definir as sub-bacias foi de 2.500 ha, perfazendo um total de 25 sub-bacias delineadas (Figura 2).

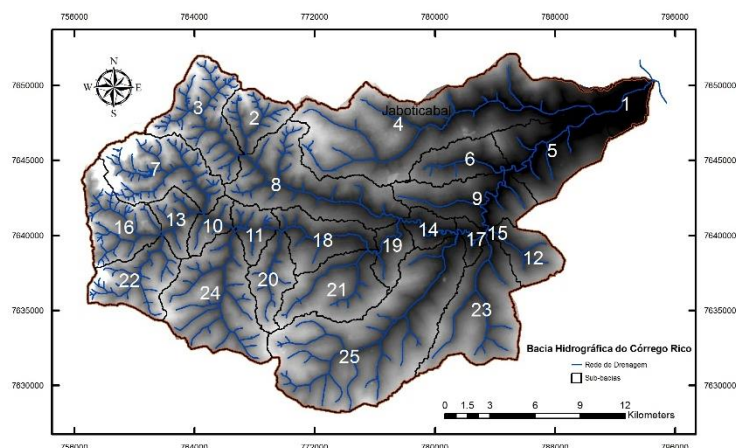


Figura 2. Delineamento das 25 sub-bacias, compartimentos hidrológicos e rede de drenagem no MDT da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.

Os dados das variáveis climatológicas obtidas pelas EMAs foram inseridos no banco de dados do SWAT para analisar as respostas hidrológicas de saída da Bacia Hidrográfica em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da integridade dos dados meteorológicos

A análise da integridade dos dados foi realizada utilizando as técnicas descritas por

Allen (1996). A seguir mostram-se os resultados referentes ao ano de 2009, já que os resultados de 2010, 2011 e 2012 foram semelhantes, relativo as variáveis meteorológicas das EMAs.

Na Figura 3 apresenta os resultados da precipitação pluviométrica medida com o pluviômetro de báscula comparada com a precipitação medida com o pluviômetro padrão VILLE de PARIS. Os valores obtidos, de forma acumulativa, foram analisados segundo a técnica de dupla massa; desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS) (TUCCI, 2001).

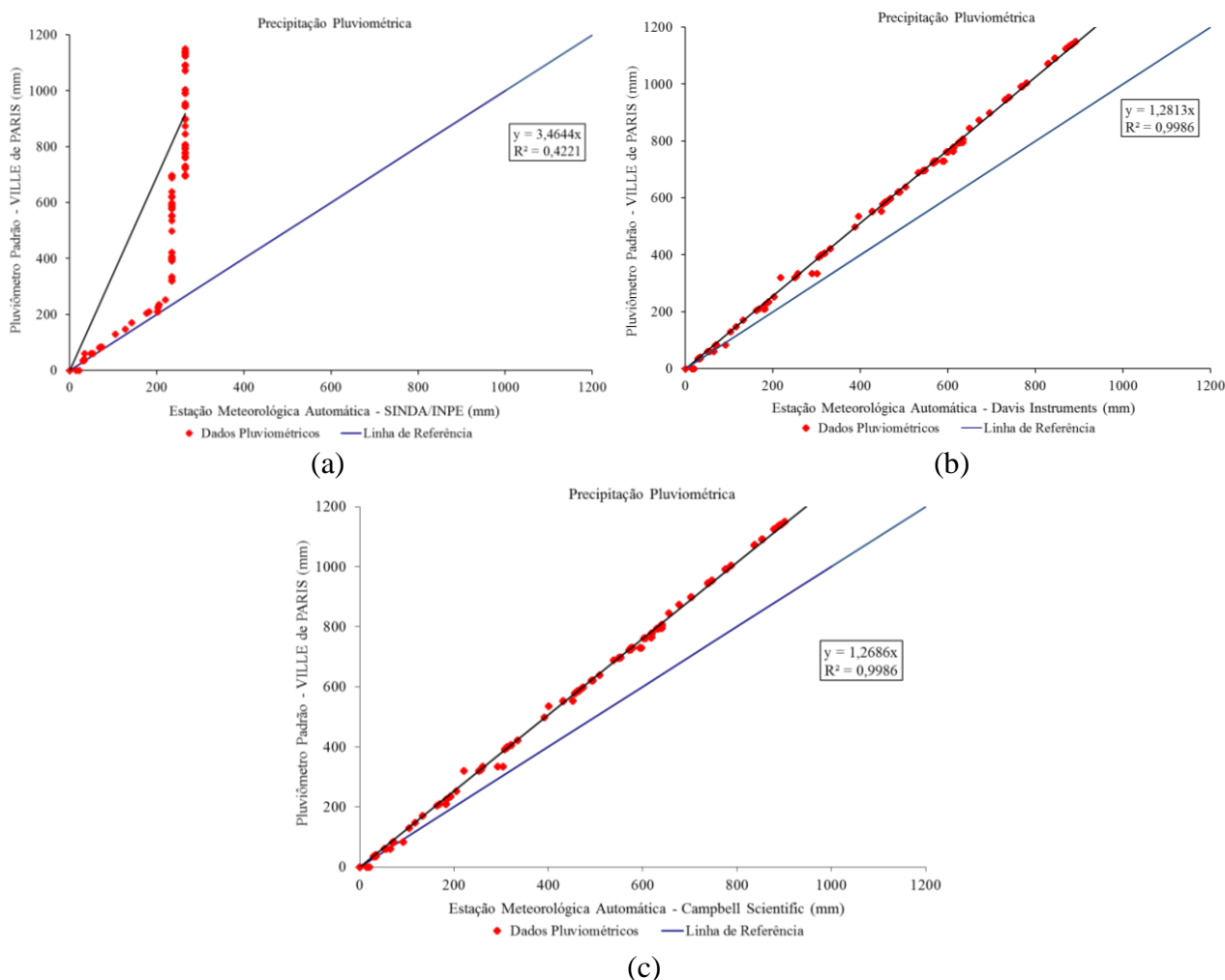


Figura 3. Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2009).

A inclinação da reta na Figura 3a, diferente de 45° , não apresenta uma boa

estimativa dos dados pela estação do SINDA/INPE, indicando um possível

problema no sensor. Entretanto, a inclinação da reta apresentada nas Figuras 3b e 3c, diferente de 45° , não indicaria uma boa estimativa dos dados pelas EMAs da Davis e da Campbell, respectivamente. Porém, como estão instaladas uma ao lado da outra e, o pluviômetro padrão (VILLE de PARIS), próximo das duas, o motivo da inclinação ser diferente de 45° devido ao problema construtivo do pluviômetro de balsa. Este problema é identificado quando ocorre precipitações de grande intensidade, sendo que, no momento de bascular, parte da água é perdida e não registrada pelo sensor.

Os resultados obtidos confirmam com os de Turco & Barbosa (2008), os quais avaliaram EMAs dos mesmos fabricantes (Davis e Campbell). Já Seibert & Móren (1999) testaram seis tipos de pluviômetros de balsa e concluíram que, para precipitações acima de 100 mm, há uma tendência do

sensor não registrar na mesma velocidade em que a precipitação ocorre, uma vez que uma parte da água não é computada pelo sensor.

Nota-se na Figura 4a que a inclinação da reta é diferente de 45° , porém, o motivo, não é do sensor e sim do *offset* utilizado na programação do *datalogger* das estações (Campbell e Davis). Por exemplo, o sensor da EMA da Campbell utiliza um *offset* de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ e o da Davis de $0,0 \text{ m s}^{-1}$. Os resultados obtidos corroboram com os de Turco e Barbosa (2008), que avaliaram EMAs dos fabricantes Davis Instruments e da Campbell Scientific. Observando a Figura 4b, verifica-se que a inclinação da reta, diferente de 45° , não indica uma boa qualidade dos dados por parte do sensor (anemômetro). Provavelmente, a diferença é devido a topografia ou da vegetação. Neste caso, o sensor deve ser duplicado para verificar a necessidade de calibração/substituição.

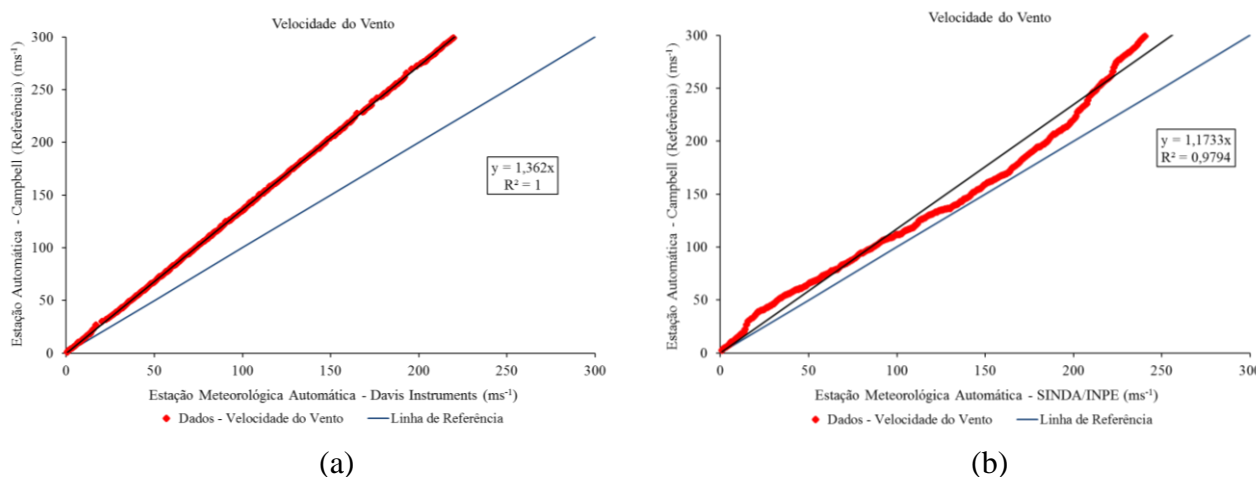


Figura 4. Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2009).

Observa-se na Figura 5 que as temperaturas mínima e máxima registradas pela EMA do SINDA/INPE (Figuras 5a e 5b) apresentam correlações satisfatórias quando comparadas com a EMA da Campbell (referência). Desta forma, com base e na inclinação de 45° da reta, é possível verificar boa confiabilidade dos dados. Esta mesma condição pode ser verificada com temperaturas mínima e máxima da EMA da

Davis (Figuras 5c e 5b). Isso significa que os sensores estão operando de forma satisfatória. Resultados semelhantes foram obtidos por Strassburger et al. (2011), nos quais os autores compararam as temperaturas máxima e mínima de duas estações (convencional e automática). Eles verificaram boas correlações entre ambas as estações, concluindo que os sensores estavam operando corretamente.

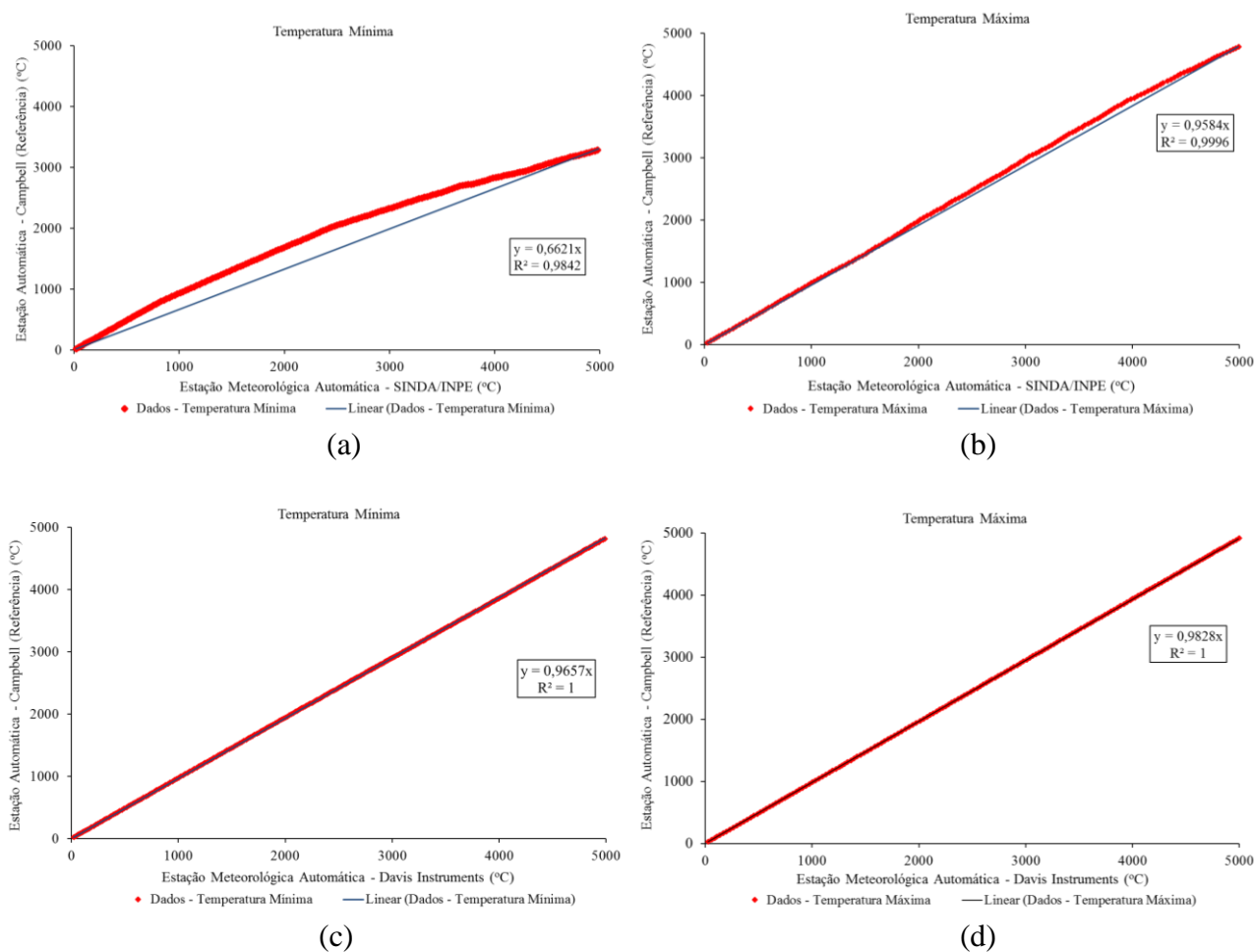


Figura 5. Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2009).

De acordo com a Figura 6a, nota-se que a estação do SINDA/INPE não apresenta resultados satisfatórios, tendo em vista que os dados (da umidade relativa máxima e mínima) se repetem na maioria dos dias. Este fato não é comum, pois durante o dia existem variações na umidade relativa do ar, independente do clima da região. Portanto, o sensor está com problemas. Por outro lado, os valores da umidade relativa máxima nas Figuras 6b e 6c não ultrapassam 100%; o que é comum para esses tipos de sensores durante as primeiras horas do dia ou durante precipitações. No

entanto, existem valores abaixo 80 a 90%, indicando que nestes dias a área gramada estava com déficit hídrico. Neste caso, os sensores das EMAs Davis e Campbell apresentam boa confiabilidade de dados. Os resultados corroboram com as análises realizadas por Oliveira et al (2015), onde os autores avaliaram a integridade dos dados de EMAs utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). Resultados semelhantes foram obtidos por Scarpore et al. (2006), onde os autores analisaram a uniformidade do sensor de umidade relativa do ar entre estações meteorológicas convencional e automática.

INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO EM MODELO HIDROLÓGICO

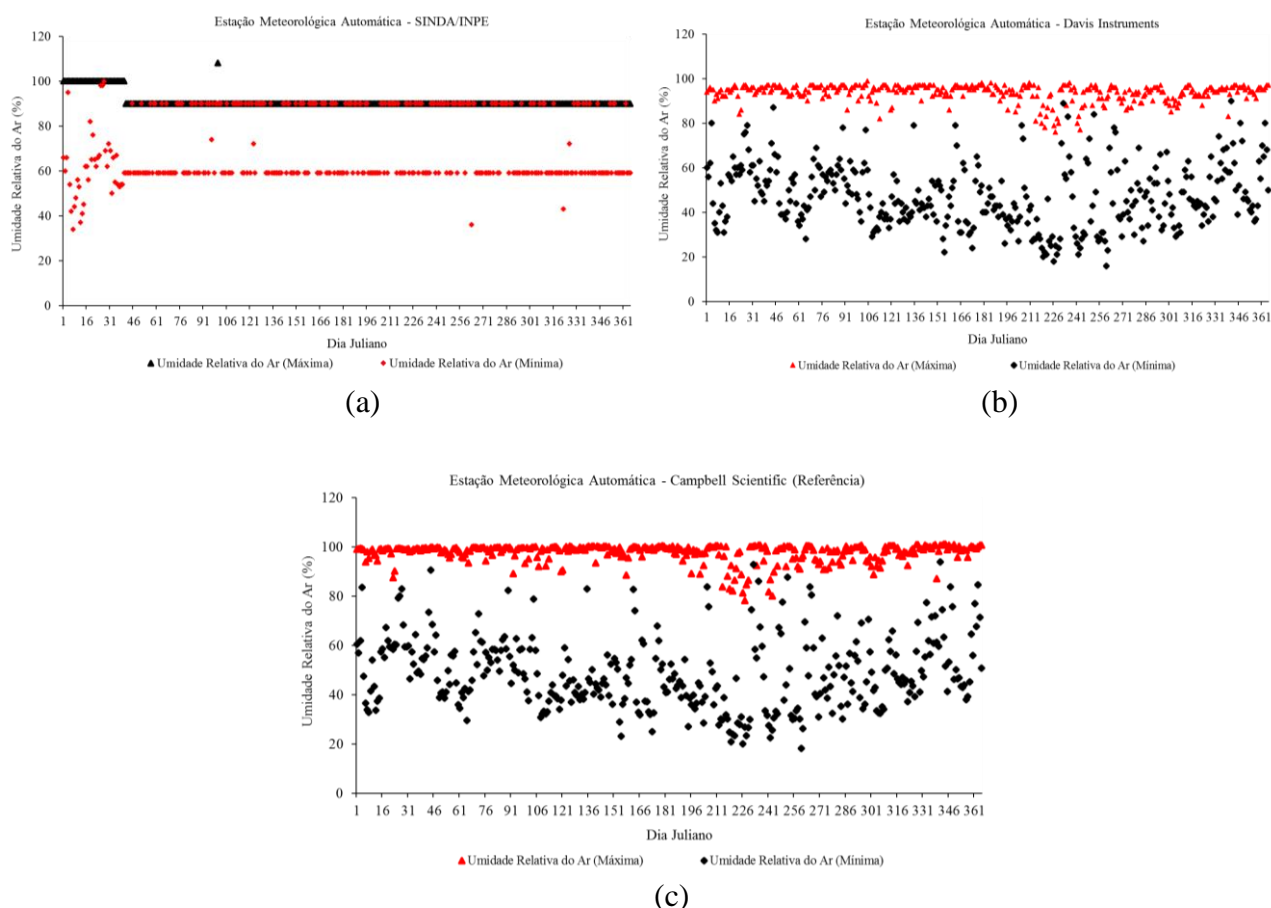
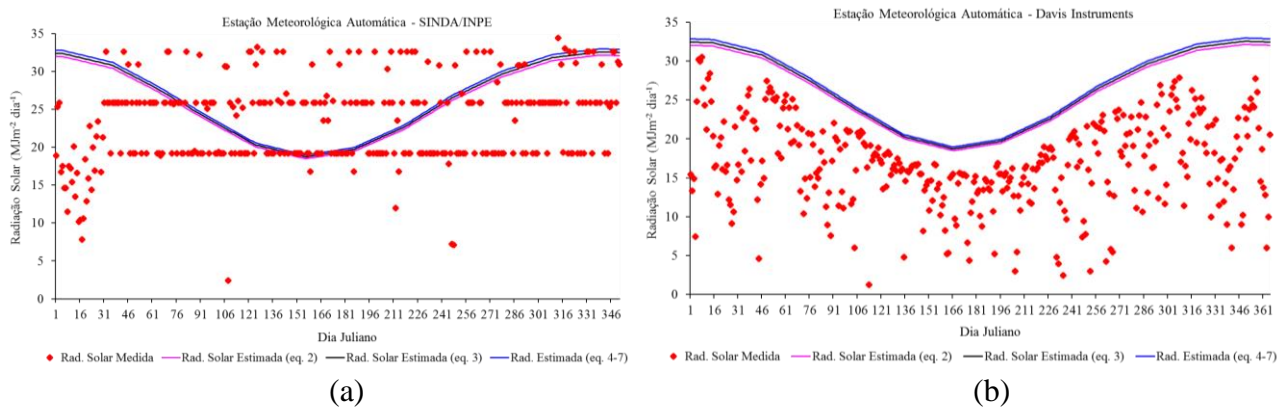


Figura 6. Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs Davis Instruments, SINDA/INPE e Campbell Scientific (ano 2009).

Os dados da radiação solar global da EMA SINDA/INPE (Figura 7a), em diversos dias do ano, ultrapassam e não acompanham a estimada pelas três equações descritas por Allen (1996). Portanto, o sensor de radiação solar (piranômetro) está com problemas e deve ser substituído. Por outro lado, os dados da radiação solar apresentados nas Figuras 7b e 7c, estimados pelas três equações, seguem e

superestimam a radiação solar medida pelas EMAs da Davis e da Campbell, respectivamente. Portanto, os dados são aceitáveis e os sensores estão operando corretamente. Os resultados ratificam as análises realizadas por Oliveira et al (2015), onde os autores avaliaram a integridade dos dados meteorológicos da EMA do SINDA/INPE utilizando as técnicas descritas por Allen (1996).



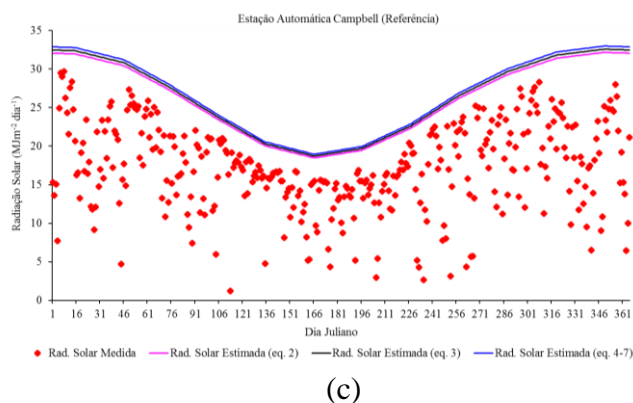


Figura 7. Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis e Campbell (ano 2009).

Análise dos parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT

O modelo SWAT utiliza os dados das variáveis meteorológicas para analisar o impacto dos parâmetros hidrológicos de saída (precipitação, escoamento superficial,

percolação, escoamento subsuperficial, percolação e descarga do aquífero) (Tabela 1) nas redes de drenagem de uma Bacias Hidrográfica. Diante disso, verificou-se estes parâmetros quando, a precipitação foi a principal variável de entrada do modelo.

Tabela 1. Comparação dos resultados dos parâmetros hidrológicos de saída do SWAT obtidos com os dados mundiais e com os dados das estações meteorológicas automáticas.

Parâmetros Hidrológicos (Saída)	Dados Mundiais (mm)	Campbell (mm)	Davis (mm)	SINDA (mm)
Precipitação	1708,8	1218,0	1209,8	<u>785,3</u>
Evaporação + Transpiração	777,1	883,8	888	732
Média (Número de Curva)	76,98	76,98	76,98	76,98
Escoamento Superficial	308,79	139,01	133,87	<u>34,53</u>
Percolação	555,34	165,23	159,63	<u>19,57</u>
Evaporação do Solo	24,26	30,26	30,46	33,76
Escoamento Subsuperficial	66,85	38,13	37,72	<u>24,07</u>
Deflúvio	503,31	134,66	130,2	<u>6,64</u>
PET	1213,2	1512,9	1523,2	1687,8
Recarga Aquífero	27,77	8,26	7,98	<u>0,98</u>

Analisando a Tabela 1, nota-se a influência da integridade dos dados meteorológicos das EMAs nos parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT. Ou seja, os resultados apresentados pelas EMAs da Campbell e da Davis apresentam, em alguns parâmetros, boa correlação quando comparados com os dados mundiais. Por outro lado, observa-se discrepância significativa dos dados apresentados pela EMA do SINDA/INPE; o que corrobora com as análises sobre integridade de dados realizada com o pluviômetro de balsa. Esta discrepância pode ser observada nos seguintes parâmetros: precipitação, escoamento

superficial, percolação, escoamento subsuperficial, deflúvio e recarga do aquífero. Nestas condições, pode-se dizer que estas diferenças estão relacionadas com os sensores de umidade relativa do ar (sensor capacitivo), radiação solar (piranômetro), e o próprio pluviômetro de balsa do SINDA/INPE, os quais não apresentaram resultados aceitáveis na análise da integridade de dados. Por outro lado, os dados das EMAs da Campbell e da Davis são aceitáveis e mostram-se promissores para o planejamento e a gestão de recursos hídricos e naturais.

INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO EM MODELO HIDROLÓGICO

Castro (2013) avaliou a aplicabilidade do modelo SWAT na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jardim, com área aproximada de 105 km², situada na porção sudeste do Distrito Federal. A simulação hidrológica foi realizada para dois anos (período de 01/07/2006 a 30/06/2008) utilizando dados diários de precipitação para analisar os parâmetros hidrológicos de saída (balanço hídrico). O resultado obtido foi que a evapotranspiração contribuiu com cerca de 447,8 mm, o escoamento superficial 141,3 mm, o fluxo lateral 217,7 mm, a percolação 285,7 mm, o fluxo de base 259,0 mm, a recarga para o aquífero 14,3 mm e o CN médio para a bacia ficou em torno de 63,3. Com isso, a autora concluiu que as diferenças encontradas nos parâmetros hidrológicos podem estar relacionadas com a má qualidade dos dados meteorológicos de entrada, já que eles impactam diretamente na saída do

modelo SWAT. Além disso, o modelo SWAT é uma ferramenta de apoio a tomada de decisão, bem como para a prática de gestão de bacias hidrográficas.

Na Figura 8 apresenta-se as análises da precipitação pluviométrica de entrada do modelo entre a EMA da Campbell e a EMA do SINDA/INPE (Figura 8a), entre a EMA da Davis e a EMA do SINDA/INPE (Figura 8b), bem como entre a EMA da Campbell e a EMA da Davis (Figura 8c). Observa-se que o pluviômetro de balsa do SINDA/INPE não apresenta resultado satisfatório, quando comparado com os pluviômetros da Campbell e da Davis. Problemas construtivos foram observados por Seibert e Morén (1999) quando testaram seis tipos de pluviômetros de balsa.

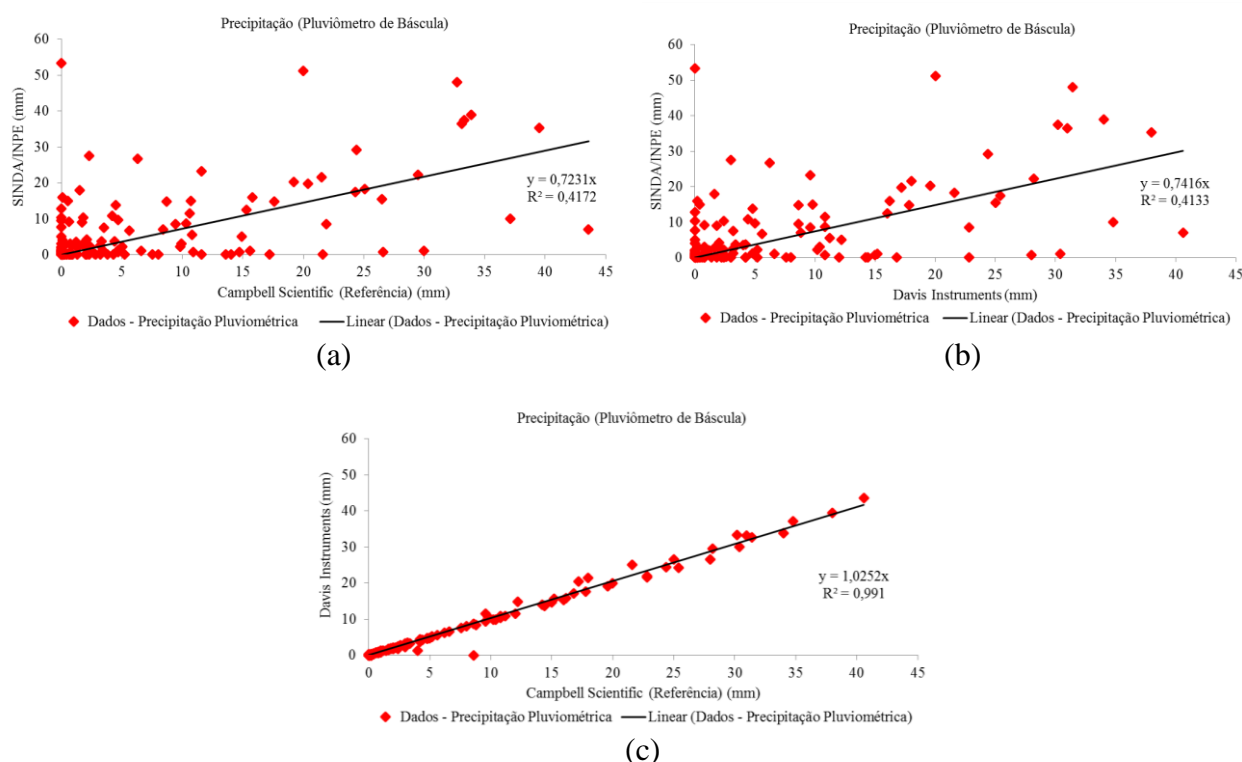


Figura 8. Análise da precipitação pluviométrica entre as EMAs (Campbell, Davis e SINDA/INPE).

CONCLUSÕES

Com base na Estação Meteorológica Automática (EMA) de referência (Campbell Scientific), a EMA da Davis apresentou resultados satisfatórios. No

entanto, os sensores de precipitação, umidade relativa e radiação solar da EMA do SINDA/INPE devem ser substituídos. Já o sensor de velocidade do vento da EMA do SINDA/INPE deve ser duplicado para verificar a

necessidade de calibração ou substituição.

No modelo SWAT, os dados de precipitação da EMA do SINDA/INPE foram insatisfatórios quando comparados com os dados das estações da Campbell e da Davis. Desta forma, as estações meteorológicas automáticas da Campbell e da Davis podem ser utilizadas para o planejamento e gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

Como forma de alerta e de precaução, recomenda-se a elaboração de um plano de inspeção, manutenção e calibração dos sensores, objetivando, com isso, melhorar a qualidade dos dados meteorológicos disponibilizados para empresas, pesquisadores, institutos de pesquisas e sociedade civil. Nestas condições, é fundamental inspecionar periodicamente as EMAs para verificar se existe algum problema nos sensores ou, se fatores como sujeira, poeira e dejetos de pássaros estejam interferindo na sua operação. Verificar o prazo de validade da calibração e atentar-se na depreciação dos sensores também são recomendações que podem auxiliar tanto na vida útil do sensor quanto na qualidade dos dados.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 2, p.97-106, 1996. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:2\(97\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:2(97)).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estúdio Riego e Drenaje, Paper 56).
- ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R. D.; GRIENSVEN VAN, A.; LIEW VAN, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K. SWAT: model use, calibration and validation. **Transactions of the ASABE**. v.55, n.4, p.1491-1508, 2012.
- BRESSIANI, D. A.; GASSAMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. N. Review of soil and water assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n.3, p.9-35, jun/2015.
- CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo swat na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. 2013. 141f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**: Jaboticabal. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_279.html>. Acesso em: 05 mar. 2016.
- ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; GIRÁLDEZ, J. V. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. **Journal of Hydrology**, v. 402, p.144-154, 2011a. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.031.
- ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; GARCÍA-MARÍN, A. P. Data validation procedures in agricultural meteorology – a prerequisite for their use. **Advanced in Science and Research**, v.6, p.141-146, 2011b. doi:10.5194/asr-6-141-2011.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folhas da Carta Brasil**. São Paulo, 1971.
- JAMIL, I.; JAMIL, R.; JINQUAN, Z.; MING, L.; ANSAR, A.; AHMED, R.; JAFAR, I.

- HUSSIAN, R.; JAMIL, R. Application and composition observing system of automatic weather station (AWS) and power grid (PGMIS). **Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)**, v. 2, n. 4, p.31-44, 2013.
- KIROS, G.; SHETTY, A.; NANDAGIRI, L. Performance evaluation of SWAT model for land use and land cover changes in semi-arid climatic conditions: a review. **Hydrology Current Research**. v.6, n.3, p.1-7, 2015. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7587.1000216>.
- LI, Z.; DENG, X.; WU, F.; HASAN, S. S. Scenario analysis for water resources in response to land use change in the middle and upper reaches of the Heihe river basin. **Sustainability Journal**, v.7, p.3086-3108, 2015. doi:10.3390/su7033086.
- MELO NETO, J. O.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; MELLO JÚNIOR, A. V. Simulação hidrológica escalar com o Modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p.177-188, jan/mar, 2014.
- MUTENYO, I.; NEJADHASHEMI, A.P. WOZNICKI, S. A. GIRI, S. Evaluation of SWAT performance on a mountainous watershed in tropical Africa. **Hydrology Current Research**. v. 14, n.1, p.1-7, 2013. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7587.S14-001>.
- OLIVEIRA, P. J. D.; TURCO, J. E. P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos obtidos por estação meteorológica automatizada. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015. São Pedro. **Anais ... São Pedro**, 2015.
- PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p.4-20, 2015.
- PISSARRA, T. C. T. **Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na subregião de Jaboticabal, SP**: comparação entre imagens TM-Landsat 5 e fotografias aéreas verticais. 2002. 136f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- PISSARRA, T. C. T.; MIGLIACCIO, K. W.; ARRAES, C. L.; OLIVEIRA, G. S.; BUENO, C. R. P.; CAMPOS, S. Erosion prediction using Swat model in Córrego Tijuco Watershed, São Paulo State, Brasil. In: International SWAT Conference, 2014, Porto de Galinhas. **Anais ... Porto de Galinhas: Texas Water Resources Institute**, 2014.
- SADLER, E. J.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; VORIES, E. D.; GUINAN, P. E. Long-term agroecosystem research in the central Mississippi river basin: goodwater creek experimental watershed weather data. **Journal of Environmental Quality**. Special Section. LTAR IN THE CENTRAL MISSISSIPPI RIVER BASIN, Columbia MO, v. 44, p.13-17, 2015. doi: 10.2134/jeq2013.12.0515.
- SCARPARE, F. V.; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J.; PIEDEDE, S. M. S.; ANGELOCCI, L. R. Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação convencional e automática – Piracicaba/SP. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis. **Anais ... Florianópolis**, 2006.
- SEIBERT, J.; MORÉN, A. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type of gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 98-99, p.341-348, dec./1999. doi: 10.1016/S0168-1923(99)00107-0.
- SHARAN, R. V. Development of a remote automatic weather station with a PC – based

datalogger. **International Journal of Hybrid Information Technology**, v.7, n.1, 2014, p.233-240.
<http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2014.7.1.19>.

SILVA, C. R.; BRESSIANI, D. A.; BETTIOL, G. M.; CRESTANA, S. Aplicação do modelo SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL) para estimar a produção de sedimentos e nutrientes na microbacia experimental da Embrapa Pecuária Sudeste. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, 2014, São Carlos. **Anais ...** São Carlos, p. 609-612, 2014.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 273-278, 2011.

SUDJARIT, W. PUKNGAM, S.; TANGTHAN, N. Application of SWAT model for assessing effect on main functions of

watershed ecosystem in Headwater, Thailand. In: International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 5(2), p.57-69, 2015. **Proceedings ...** Disponível em: <http://www.iaees.org/publications/journals/pi_aees/online-version.asp>.

Acesso em: 24 jan. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.

TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. **Irriga**, v. 13, n. 3, p.339-354, 2008.

TURCO, J. E. P.; GOES, M. J.; OLIVEIRA, P. J. D.; CARLETO, N. Avaliação de um método simples para determinação da evapotranspiração de referência. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2014, Campo Grande. **Anais ...** Campo Grande. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014.