

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**VERIFICAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS DE
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DA
REGIÃO ADMINISTRATIVA E DE GOVERNO DE
RIBEIRÃO PRETO**

Pedro da Fonseca Bertoletti

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação
em Engenharia Agrônômica.

JABOTICABAL – SP

2º SEMESTRE DE 2023

B546v Bertoletti, Pedro da Fonseca
VERIFICAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS DE ESTAÇÕES
METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DA REGIÃO ADMINISTRATIVA E DE
GOVERNO DE RIBEIRÃO PRETO / Pedro da Fonseca Bertoletti. -- Jaboticabal, 2023
39 p. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal
Orientador: José Eduardo Pitelli Turco

1. evapotranspiração. 2. estações automatizadas. 3. integridade dos dados. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

CERTIFICADO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Verificação de dados meteorológicos de estações meteorológicas automáticas da região administrativa e de governo de Ribeirão Preto

ACADÊMICO: Pedro da Fonseca Bertoletti

CURSO: ENGENHARIA AGRONÔMICA

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

PERÍODO: 06/2023 À 10/2023

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. Sim Não

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco	
Membro	Eng. Elétric. Daniel Aparecido Morello da Costa	
Membro	Biol. Renata Amaral da Silva	

Jaboticabal 30 / 10 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 30 / 10 / 2023, por ato "ad referendum".

Chefe do Departamento

Prof. Dr. Danisio Prado Munari
Chefe do Depto. de Engenharia
e Ciências Exatas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir estar realizando o sonho de possuir um diploma de Engenheiro Agrônomo formado por uma das faculdades de agronomia mais conceituadas do Brasil, a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/FCAV. Segundamente, quero agradecer aos meus pais José Luis Bertolletti e Gisele Aparecida da Fonseca Bertolletti, e também ao meu padrinho Ricardo Bertolletti, e madrinha Ilza Bertolletti, por todo suporte que me proporcionaram para que eu pudesse chegar onde cheguei, e dizer que sem eles nada disso seria possível. Quero agradecer também a todas as pessoas que estiveram ao meu lado ao longo desses anos, e que me desejam o bem, me proporcionando companheirismo e me apoiando sempre que precisei. Um agradecimento especial ao meu professor e orientador desse Trabalho de Conclusão de Curso José Eduardo Pitelli Turco, por todo suporte, tempo disponibilizado e aprendizado que me proporcionou. Espero exercer com maestria a profissão de Engenheiro Agrônomo, respeitando o ser humano, prezando pela natureza e agindo de acordo com minhas virtudes, transmitindo os conhecimentos por mim adquiridos a fim de contribuir com a sociedade.

Sumário

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Estações Meteorológicas Automáticas	3
2.2. Verificação de dados meteorológicos	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Localização da Pesquisa e Coleta de Dados	7
3.2. Técnicas descritas por Allen (1996).	10
3.2.1. Radiação Solar	10
3.2.2. Radiação Líquida	14
3.2.3. Umidade do Ar	15
3.2.4. Velocidade do Vento	16
3.2.5 Temperatura do Ar, Precipitação Pluviométrica	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÃO	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMO

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é utilizada tanto para o planejamento quanto para o manejo da irrigação. Dados meteorológicos de qualidade duvidosa, obtidos em estações meteorológicas automáticas (EMAs) para estimativa da ET_o, podem conduzir ao manejo inadequado da irrigação. Com este trabalho a finalidade foi avaliar os dados meteorológicos de quatro EMAs. Os dados meteorológicos avaliados foram das seguintes variáveis: radiação solar global, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica. A estação meteorológica automática de referência está instalada na FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP. As técnicas utilizadas possibilitaram a verificação dos dados meteorológicos das EMAs. A análise dos resultados leva a concluir que, as técnicas utilizadas devem ser aplicadas periodicamente para verificar se houve mudança no resultado e se não forem obtidos bons resultados os sensores devem ser duplicados para verificar a necessidade de calibração ou substituição.

Palavras chave: evapotranspiração, estações automatizadas, integridade de dados.

ABSTRACT

The estimation of reference evapotranspiration (ET_o) is used both for planning and for irrigation management. Meteorological data of dubious quality, obtained from automatic weather stations (EMAs) to estimate ET_o, can lead to improper irrigation management. The purpose of this work was to evaluate meteorological data from four (EMAs). The meteorological data were evaluated for the following variables: solar radiation, air temperature, air humidity, wind speed and rainfall. The automatic reference meteorological station is installed at FCAV/UNESP, Jaboticabal Campus, SP. The techniques used made it possible to verify the meteorological data of the EMAs. The analysis of the results leads to the conclusion that the techniques used must be applied periodically to verify if there has been a change in the result and if good results are not obtained, the sensors must be duplicated to verify the need for calibration or replacement.

Key words: evapotranspiration, automated weather station, integrity of the data.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil as estações meteorológicas automáticas (EMAs) estão sendo utilizadas com muita frequência.

São utilizadas em centros educativos e universidades, assim como no setor agrícola, na indústria, em pesquisas, agências governamentais e também por particulares em suas residências.

Estas EMAs 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 os dados para garantir a confiabilidade das informações climatológicas.

Informações sobre a evapotranspiração de referência (ET_o) são instrumentos fundamentais tanto para o planejamento quanto para o manejo da irrigação. Assim, a não verificação dos dados meteorológicos para estimativa da ET_o, podem conduzir ao manejo inadequado da irrigação. Aplicações de lâminas d'água insuficientes ou em excesso resultam em perdas e prejuízos

consideráveis às plantas e ao solo, diminuindo, dessa forma, a eficiência do uso de irrigação.

Há uma tendência à utilização de EMAs, que auxiliam na determinação da ETo, com o intuito de diminuir os erros na lâmina de água a ser aplicada na cultura. As EMAs têm proporcionado precisão e rapidez na coleta de dados, facilitando o seu uso nas estimativas da ETo, principalmente pelo método Penman-Monteith.

Com este trabalho o objetivo é verificar os dados meteorológicos de EMAs da região Administrativa e de Governo de Ribeirão Preto - São Paulo, para estimativa da ETo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estações Meteorológicas Automáticas

As estações meteorológicas automáticas (EMAs) são instrumentos práticos e funcionais que fornecem dados meteorológicos de forma autônoma. Os parâmetros climáticos são medidos, registrados e transmitidos a um console, podendo ser disponibilizados e utilizados em inúmeras aplicações.

As informações meteorológicas são informações importantes para a maioria das pessoas, independentemente de sua ocupação, sexo ou idade; está até mesmo diretamente relacionado à economia e segurança nacional. Considerando a segurança das informações meteorológicas, informações sobre o clima de forma imprecisa pode ser uma enorme ameaça à segurança nacional e à economia (SOARES et al., 2019).

A coleta de dados meteorológicos ocorre por meio de EMAs ou manuais equipados por sensores específicos para cada variável desejada. Entre as variáveis mais utilizadas estão temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pluviosidade e radiação solar. Dessa forma é necessário instalar e operar estações para coleta de dados meteorológicos, incluindo sensores que

atendam padrões técnicos mínimos para reduzir as incertezas associadas com a aquisição de dados de campo (TOLMASQUIM et al., 2007).

Vários processos econômicos estão diretamente ligados as condições meteorológicas, entre eles estão a agricultura, a pecuária, a geração de bioenergia, entre outros. A energia solar, em específico, é limpa e utiliza uma fonte inesgotável de matéria prima, o Sol. Assim, o levantamento e planejamento do recurso solar em determinada localidade é de alto valor estratégico para fornecedores de energia e investidores (LIMA et al., 2016).

2.2. Verificação de dados meteorológicos

Além da qualidade e a instalação correta dos equipamentos utilizados nas EMAs, é fundamental manter um controle de qualidade dos dados observados com o intuito de garantir a representatividade dos dados em relação às condições meteorológicas locais e possibilitar a análise de comparação com diferentes bases de dados para a mesma localidade, assim relatam Soares et al. (2019).

Devido a importância e aplicabilidade dos dados medidos em EMAs é necessário que eles sejam analisados quanto à integridade antes mesmo de serem disponibilizados para os usuários para garantir a confiabilidade das informações (WMO, 2008; CARLETO, 2016).

Um funcionamento correto dos sensores reflete na confiabilidade das avaliações feitas realizadas por eles, o que pode auxiliar até mesmo na proteção da sociedade tendo em vista um monitoramento real das mudanças climáticas e desastres naturais cada vez mais frequentes no mundo (JAMIL et al., 2013).

Falhas ao longo do histórico de dados climáticos podem levar a resultados errôneos ou tendenciosos, o que compromete a análise climática (VIEIRA et al., 2018; DIAZ et al., 2018).

Várias técnicas para avaliação da qualidade dos dados medidos em EMAs foram desenvolvidas pelo CIMIS 2014 (Califórnia Irrigation Management Information System).

A confiabilidade dos dados, por sua vez, é testada quanto à calibração dos sensores e norteia a sua checagem, manutenção ou troca. Ao se detectar diferenças significativas pela análise de integridade de dados, comparando sensores de estação meteorológica próximas, significa que existe algum tipo de problema nos sensores (ALLEN, 1996).

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) apresentam algumas diretrizes para aplicação de técnicas que verificam a integridade de dados meteorológicos encontradas na literatura, para garantia da qualidade de dados meteorológicos da Rede de Informação Agroclimático da Andaluzia (sul da Espanha). Concluíram que as diretrizes propostas são capazes de identificar os vários tipos de erros e são utilizadas 16 como uma ferramenta que permite tomar decisões, tais como a

substituição do sensor e para remover os dados antes da sua aplicação, 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.

Oliveira et al. (2010, 2015) comparando dados de duas EMAs concluíram que uma boa concordância das variáveis de temperatura e precipitação, o que indicou bom funcionamento dos sensores. Scarpate et al. (2006) também encontraram uniformidade de umidade relativa do ar entre estações meteorológicas convencional e automática.

Sharan (2014) desenvolveu um protótipo de estação meteorológica automática 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 estação meteorológica automática 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

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da Pesquisa e Coleta de Dados

A pesquisa foi desenvolvida no LIAP (Laboratório de Instrumentação Automação e Processamento) do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, situada a 21^o15'22" de latitude sul, 48^o18'58" de longitude oeste e altitude de 575 m.

Os dados meteorológicos coletados das EMAs são relativos aos anos de 2020 e 2022. Não foram utilizados os dados do ano de 2021 neste trabalho pois os dados das EMAS do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nos municípios de Pradópolis – SP e São Simão – SP estavam incompletos. Estes dados foram obtidos em cinco estações meteorológicas automáticas: uma da marca Campbell Scientific (EMAR) e outra da marca da Davis Instruments instaladas em área experimental do LIAP (a distância entre as duas estações é de aproximadamente 5 metros), uma da marca Campbell Scientific localizada no município de Monte Alto - SP e duas do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas nos municípios de Pradópolis – SP e São Simão – SP.

EMA da Marca Campbell Scientific, Inc (EMAR), instalada na área experimental do LIAP.

Estação meteorológica instalada na área experimental do LIAP (laboratório de Instrumentação Automação e Processamento) do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: 21° 15'22" de latitude sul, 48° 18'58" de longitude oeste e altitude de 575 m, na cidade de Jaboticabal-SP.

A estação da Campbell possui um sistema de aquisição de dados (datalogger), onde os sensores são conectados.

A estação meteorológica automática 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.

EMA da Marca Davis Instruments instalada na área experimental do LIAP.

A estação tem um Sistema de Aquisição de Dados Vantage Pro Plus Wireless da marca Davis Instruments.

A medida da radiação solar global é realizada com um sensor standard de radiação solar modelo 6450 da Davis Instruments.

A temperatura e umidade relativa do ar são medidas com um sensor externo de temperatura e umidade modelo 7859 da Davis Instruments.

A velocidade do vento é obtida por meio de um Anemômetro standard modelo 7911 da Davis Instruments.

A precipitação pluviométrica é obtida por um pluviômetro (Davis Instruments) modelo 7852: Rain Collector, 0.01”.

EMA da Marca Campbell Scientific, Inc, instalada no Município de Monte Alto -SP.

A estação meteorológica automática está instalada no sítio Santo Antônio, município Monte Alto, nordeste do estado de São Paulo, Brasil, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21° 15' S, longitude 48° 29' W e altitude de 735 m.

A estação tem um Sistema de Aquisição de Dados (CR10X Measurement and Control System) da marca Campbell Scientific, Inc.

A medida da radiação solar global é realizada com um Piranômetro (KIPP & ZONNEN) modelo CM3, montado a 1,5 m acima da superfície gramada.

A temperatura e umidade relativa do ar são obtidas com um psicrômetro de termopares do tipo T desenvolvido por Turco e Fernandes (2003). O sensor é mantido a 1,5 m acima da superfície gramada.

A velocidade do vento é obtida por meio de um Anemômetro (R.M. Young Co) modelo: 03001, instalado a 2 m da superfície gramada.

Nas EMAS 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

EMAs do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nos municípios de Pradópolis – SP e São Simão – SP.

A descrição das duas EMAS pode ser obtida em:
<https://portal.inmet.gov.br/>

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 EMAR da Campbell. Periodicamente, os dados da EMR são aferidos em relação a Estação Agroclimatológica do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal/SP.

3.2. Técnicas descritas por Allen (1996)

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.

3.2.1. Radiação Solar

A operação do piranômetro e a precisão da calibração podem ser avaliadas pela delineação (plotagem) de hora em hora ou pela média diária das leituras do piranômetro comparando com as radiações de ondas curtas esperadas computadas sob condições de céu limpo (R_{so}). R_{so} pode ser descrita como:

$$R_{so} = K_T R_a \quad (1)$$

na qual,

R_a = radiação extraterrestre;

K_T = índice de “claridade”.

A R_a pode ser computada por períodos diários ou de hora em hora como uma função da latitude, dia do ano e hora do dia. Para dados de 24 horas, o K_T pode variar de 0,7 a 0,8; dependendo da claridade atmosférica (poeira em suspensão no ar, poluição, umidade, etc.), elevação e ângulo solar.

Uma simples previsão para o K_T , onde apenas a elevação do local é considerada, pode ser determinada pela equação:

$$K_T = 0,75 + (2E - 5)z \quad (2)$$

na qual,

z = elevação da estação (m).

A equação (2) foi desenvolvida para uma média do ângulo solar de 45° acima da linha do horizonte.

Estimativas aperfeiçoadas da R_{so} para períodos ou dias com baixos ângulos solares podem ser feitas utilizando-se a seguinte equação:

$$K_T = \exp\left(\frac{-0,0018P}{K_{tb} \sin\Phi}\right) \quad (3)$$

na qual, K_{tb} = coeficiente de claridade, $0,5 < K_{tb} \leq 1,0$, onde $K_{tb} = 1,0$ para condições de ar limpo e 0,5 para extremamente turbido ou pardo. Geralmente, K_{tb} é tomado como 1,0 para prever o limite mais alto de K_T para a maioria das

áreas agrícolas. A variável P significa pressão atmosférica (kPa), e $\Phi =$ o ângulo solar acima do horizonte (rad).

Uma porção da absorção ou a dispersão da radiação de luz direta na atmosfera é causada pelo vapor de água (radiação de luz direta é definida como a densidade de fluxo de radiação de onda curta, vinda diretamente do feixe de luz solar, incidente em um plano paralelo da superfície da terra. Radiação difusa é definida como a densidade de fluxo de radiação de onda curta, vinda da dispersão da luz solar). A função K_T pode ser melhorada incluindo a água precipitável como variável. A função K_B prediz o índice de claridade para radiação de luz direta, sob condições de céu limpo com baixa turbidez.

$$K_B = 0,98 \exp [- 0,00146P / K_{tb} \sin \Phi - 0,162 (W / \sin \Phi)^{0,25}] \quad (4)$$

na qual,

P = pressão atmosférica (kPa);

W = água precipitável na atmosfera, em cm.

W pode ser calculado utilizando a seguinte equação:

$$W = 0,014e_dP + 0,21 \quad (5)$$

na qual,

e_d = pressão de vapor próxima à superfície (kPa).

Um índice de radiação difusa, K_D , pode ser estimado de K_B , usando as seguintes expressões:

$$K_D = 0,35 - 0,33K_B \quad \text{para } K_B \geq 0,15 \quad (6)$$

$$K_D = 0,18 + 0,82K_B \quad \text{para } K_B < 0,15$$

Quando as equações (4) e (6) são utilizadas, o índice de claridade é calculado como a soma de K_B e K_D .

$$K_T = K_B + K_D \quad (7)$$

Para períodos de hora em hora ou mais curtos, o $\sin \Phi$ nas equações (3) e (4) é calculado como:

$$\sin \Phi = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (8)$$

na qual,

φ = latitude da estação (rad);

δ = declinação solar (rad);

ω = ângulo de tempo solar (rad).

Para aplicação das equações (3) e (4) para dados fixados de 24 horas ou mensais, uma média de 24 horas ponderada do $\sin \Phi$ pode ser estimada por ponderação instantânea de $\sin \Phi$, de acordo com a R_a instantânea, durante o curso do dia. O resultado integrado e médio é

$$(\sin \Phi)_{24} = \{ \sin^2 \varphi \sin^2 \delta \omega_s + 2 \sin \varphi \sin \delta \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta [\omega_s/2 + \sin (2 \omega_s)/4] \} / (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (9)$$

na qual,

ω_s = ângulo do horário do pôr-do-sol.

Uma simplificação da equação (9) determinada por regressão é

$$(\sin \Phi)_{24} = \sin [0,85 + 0,3 \varphi \sin (2\pi / 365 J - 1,39) - 0,42 \varphi^2] \quad (10)$$

na qual,

J = dia do ano (1 a 365);

φ = latitude em graus radianos.

A equação (10) estima $(\sin \Phi)_{24}$ com um padrão de erro de estimativa de aproximadamente 4% para períodos da primavera, verão e outono, sobre uma faixa de -65 a 65° latitude e 6% para todos os meses sobre uma faixa de -60 a 60° latitude. Essa precisão é adequada para predizer K_T para períodos de 24h.

3.2.2. Radiação Líquida

Equação para estimar média horária e de 24h de Radiação Líquida (R_n) utilizando medidas de radiação de ondas curtas (R_s) são precisas sob a maioria das condições. Contudo, dados de R_n medidos deveriam ser plotados contra a R_n estimada utilizando equações baseadas na R_s , temperatura do ar e pressão do vapor. A maioria dessas equações pode ser aplicada mensalmente, diariamente, a cada hora ou em um pequeno intervalo de tempo.

Se os valores medidos da R_n frequentemente desviarem dos valores estimados por mais de 3 a 5%, então a calibração ou o funcionamento do aparelho de R_n (radiômetro) deve ser examinado. Comparando a R_n calculada com a medida podemos prontamente apontar dias ou períodos durante os quais

o radiômetro teve um mau funcionamento devido a efeitos de sujeira, dejetos de pássaros, condensação da umidade dentro dos domos, perda de uniformidade ou perda de vegetação abaixo do sensor.

3.2.3. Umidade do Ar

Podem ocorrer erros nos sensores eletrônicos de umidade relativa por histereses, deslinearidade e erros de calibração. Alguns desses erros são herdados nos desenhos dos sensores. Outros resultam da poeira, umidade, insetos, poluição e idade.

É recomendado que sensores duplos de umidade relativa (UR) e de temperatura do ar sejam empregados em estações climáticas eletrônicas. Esta prática é cara, mas pode evitar despesas com tempo, para reparo de defeitos e preocupações que dizem respeito à integridade dos dados de UR, e é de custo relativamente pequeno quando comparada ao valor de dados climáticos utilizados no calendário e projeto de irrigação em planejamento, nos modelos de recursos hídricos e no estudo do aquecimento global. Quando sensores duplos de UR (e temperatura do ar) produzem sinais similares, então é provável que ambos estejam funcionando apropriadamente, desde que equações de calibração adequadas estejam sendo empregadas. Diferenças significantes entre sensores deveriam sinalizar algum tipo de problema com um ou com ambos.

Quando dados da umidade são medidos em um lugar de referência (em cima da grama aparada e bem regada que está ativamente transpirando), a UR no início da manhã irá se aproximar de 100%, mesmo em áreas semiáridas, se os registros forem tomados dentro de uma região irrigada. Valores de umidade

relativa máxima (UR_{max}) abaixo de 80 a 90% indicam problemas na calibração do sensor de UR; de funcionamento; de aridez no local da medida e/ou de divergência das condições de referência.

3.2.4. Velocidade do Vento

É difícil de obter precisão nas medições do vento a menos que sejam utilizados instrumentos duplicados. Deve-se sempre sondar registros de ventos para a presença constante de registros de ventos baixos. Para instrumentos eletrônicos, esses registros podem representar um “desvio” numérico na equação de calibração do anemômetro, o qual tem a intenção de representar uma fricção giratória constante e a entrada giratória inicial do instrumento. O registro consistente desses desvios indica tanto a presença de condições excepcionalmente calmas velocidade do vento menor do que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ durante o período inteiro de amostragem (o que é raro), ou o mau funcionamento do sensor de velocidade do vento devido a um curto-circuito elétrico ou fadiga dos procedimentos. Esses problemas podem não ser notados pelo operador da estação.

Quando a checagem em pares dos anemômetros não é possível, pode ser utilizado um tipo de abordagem de balanço de massa onde o vento cumulativo que corre para o anemômetro é plotado contra o vento cumulativo que corre para uma estação por perto. A tendência em inclinar-se entre as duas acumulações não deveria mudar ao longo do tempo.

3.2.5. Temperatura do Ar, Precipitação Pluviométrica

Registros produzidos por estações meteorológicas podem ser periodicamente comparados a registros de estações vizinhas para estimar se houve mudança no funcionamento do equipamento e/ou problemas de calibração dos instrumentos ocorreram através do tempo. Uma técnica que é utilizada para essa proposta é a da análise de dupla massa, em que somas acumulativas de um parâmetro em duas localidades são plotados um contra o outro (por exemplo, vento acumulativo no local 1 versus vento acumulativo no local 2). Uma mudança na inclinação da curva acumulativa em um período de tempo pode indicar uma mudança no funcionamento e calibração em um dos instrumentos.

Essa técnica é comumente utilizada em hidrologia para avaliar os efeitos da mudança em locais; as operações dos níveis de precipitação; os níveis do fluxo da correnteza, ou, ainda, para estimar valores que estão faltando.

A proximidade requerida de duas estações para serem comparadas é dependente da variável meteorológica. Radiação solar e radiação líquida sob vegetação similar deveriam se correlacionar bem sob distâncias de centenas de km em áreas não montanhosas. Umidade relativa (ou pressão do vapor computada) e temperatura do ar deveriam se correlacionar bem sob distâncias acima de 100 km, desde que estas mudanças na topografia ou clima não sejam abruptas e que a vegetação geral e a aridez das duas localidades sejam similares. As velocidades do vento são as menos prováveis de se correlacionar sob longas distâncias devido a efeitos locais do lugar, os quais podem mudar com a direção do vento; devido às diferenças dos climas locais e padrões frontais e aos atrasos de tempo associados. Contudo, em base semanal ou mensal, as correlações podem ser fortes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam os resultados da radiação solar da EMAR, EMA – Área Experimental do LIAP, EMA – Monte Alto, EMA – Pradópolis e EMA – São Simão, respectivamente, nos anos de 2020 e 2022.

Os dados da radiação solar apresentados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, seguem e subestimam a radiação solar estimadas por três equações, segundo a técnica descrita por Allen (1996). 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 estação meteorológica automática (EMA) do SINDA/INPE utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). Os resultados deste trabalho corroboram com os de Turco e Barbosa (2008), que avaliaram a integridade de dados das EMAs da Davis e da Campbell por meio das técnicas descritas por Allen (1996).

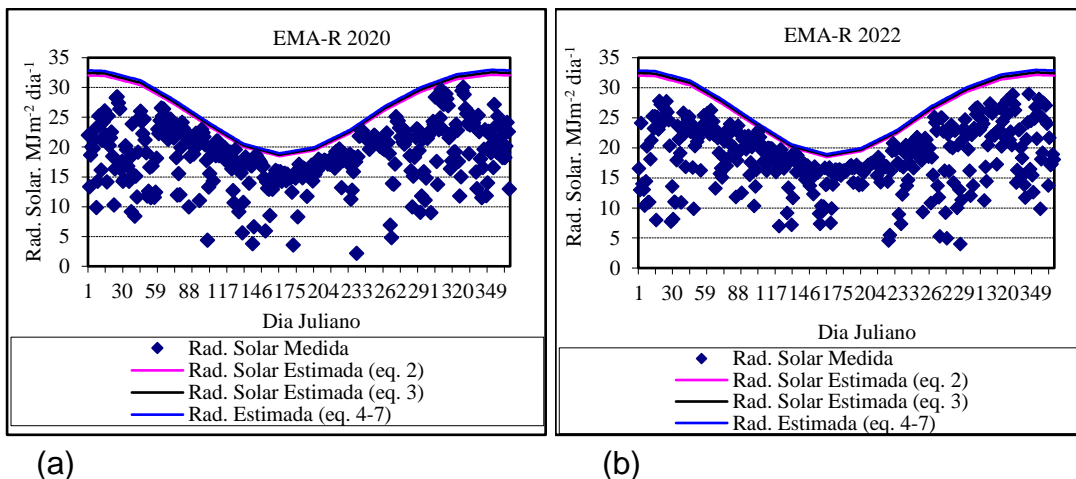


Figura 1. Radiação solar medida (EMAR) e estimada por três equações.

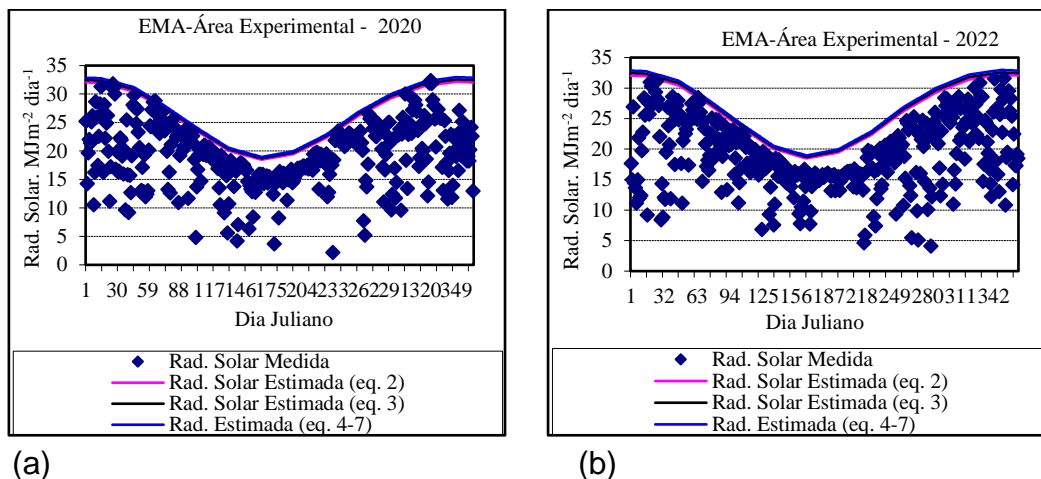


Figura 2. Radiação solar medida (EMA – Área Experimental do LIAP) e estimada por três equações.

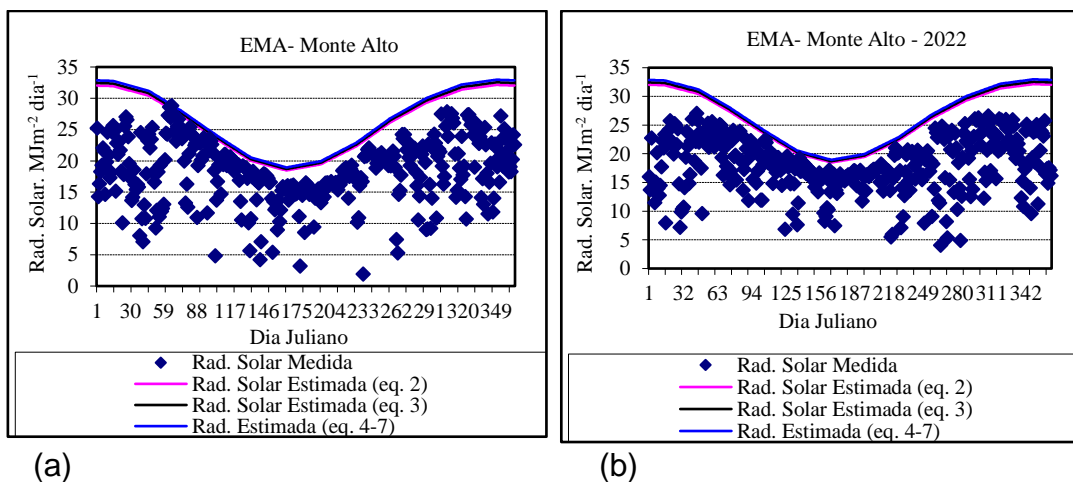


Figura 3. Radiação solar medida (EMA – Monte Alto) e estimada por três equações.

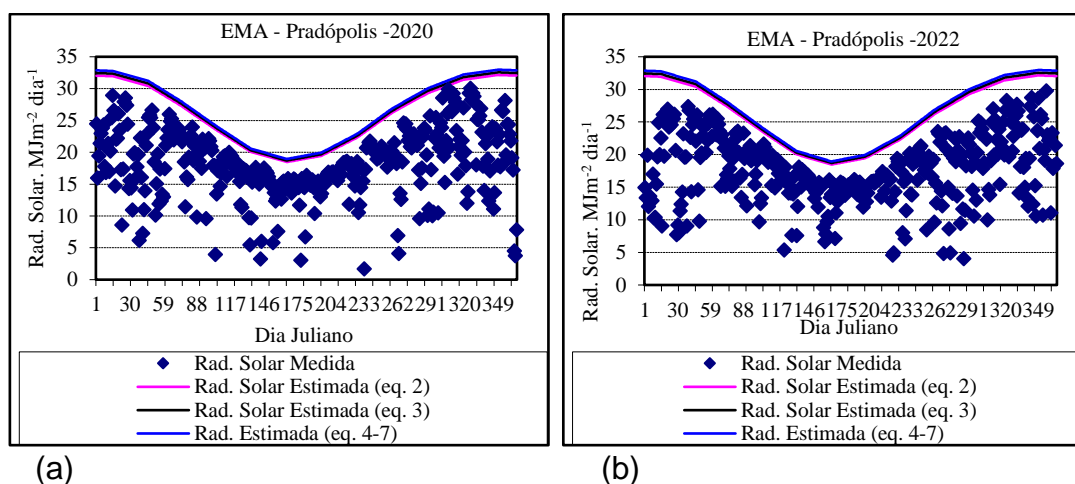


Figura 4. Radiação solar medida (EMA – Pradópolis) e estimada por três equações.

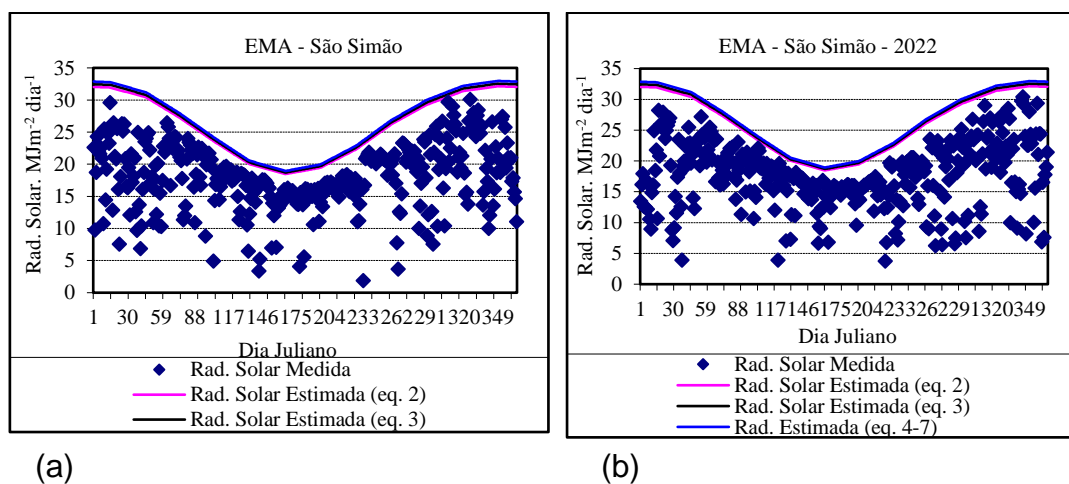


Figura 5. Radiação solar medida (EMA – São Simão) e estimada por três equações.

As Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 apresentam os resultados referentes à umidade relativa do ar (máxima e mínima) da EMAR, EMA – Área Experimental do LIAP, EMA – Monte Alto, EMA – Pradópolis e EMA – São Simão, respectivamente, nos anos de 2020 e 2022.

De acordo com as Figura 6, 7, 8, 9 e 10, nota-se que os valores da umidade relativa máxima não ultrapassam 100%; o que é comum para esses tipos de sensores durante as primeiras horas do dia. No entanto, existem valores entre 50 e 90%, indicando que nestes dias a área gramada estava com déficit hídrico. Neste caso, os sensores das cinco estações meteorológicas automáticas 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 da EMA do SINDA/INPE utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). Resultados semelhantes foram obtidos por Scarpate et al. (2006), onde os autores analisaram a uniformidade do sensor de umidade relativa do ar entre estações meteorológicas do tipo convencional e automática.

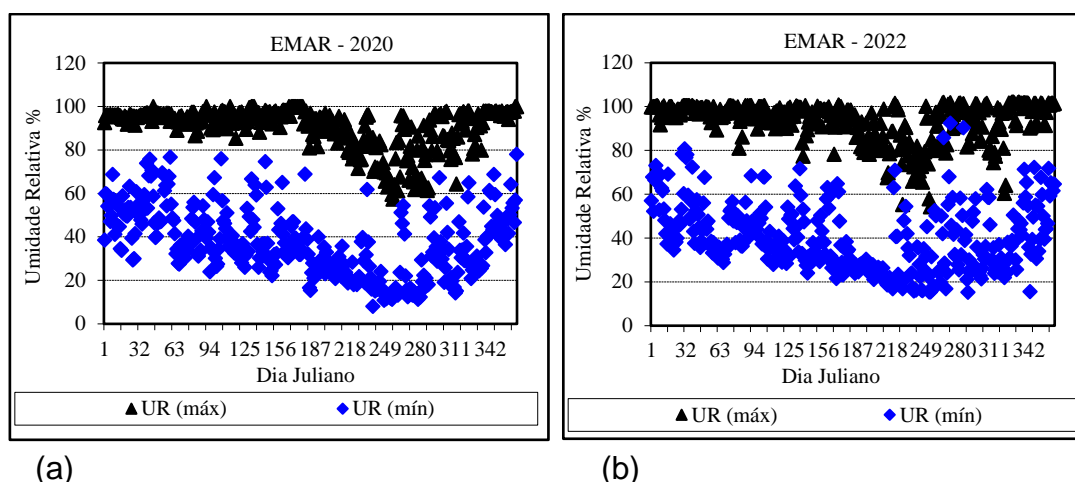


Figura 6. Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) da EMAR.

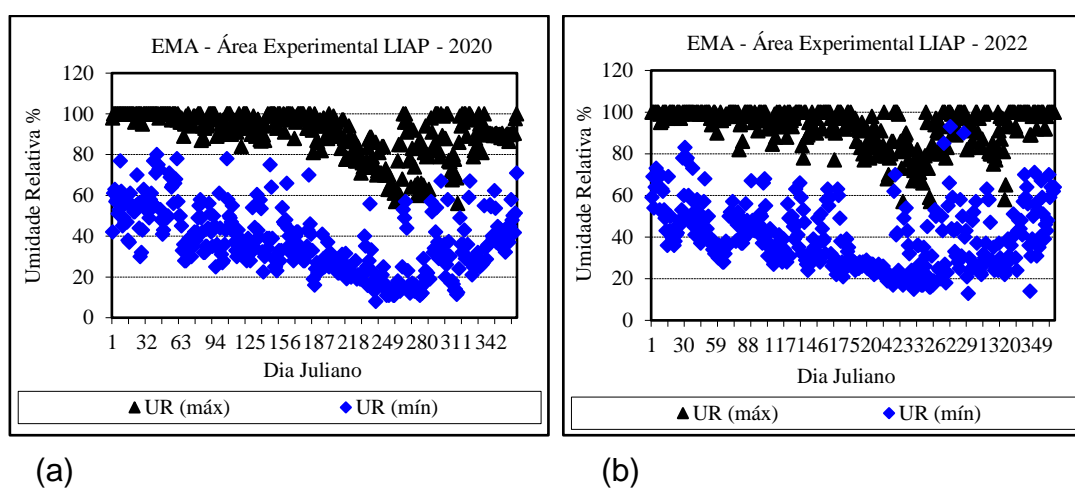


Figura 7. Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) da EMA - Área Experimental LIAP.

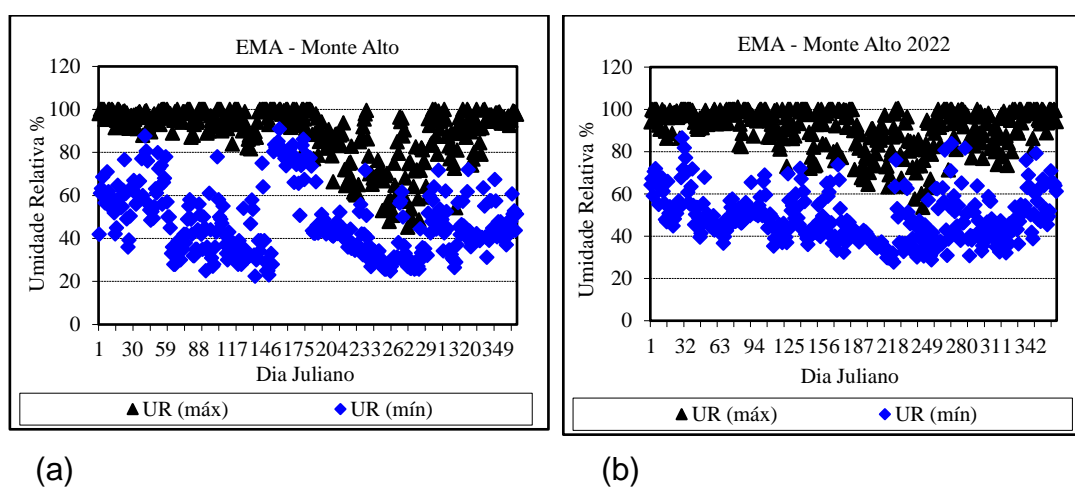


Figura 8. Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) da EMA - Monte Alto.

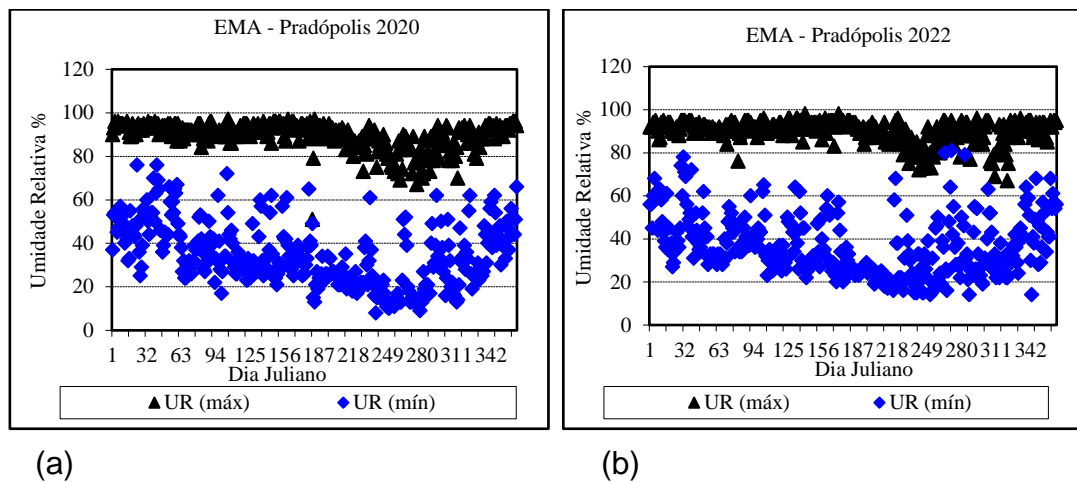


Figura 9. Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) da EMA – Pradópolis.

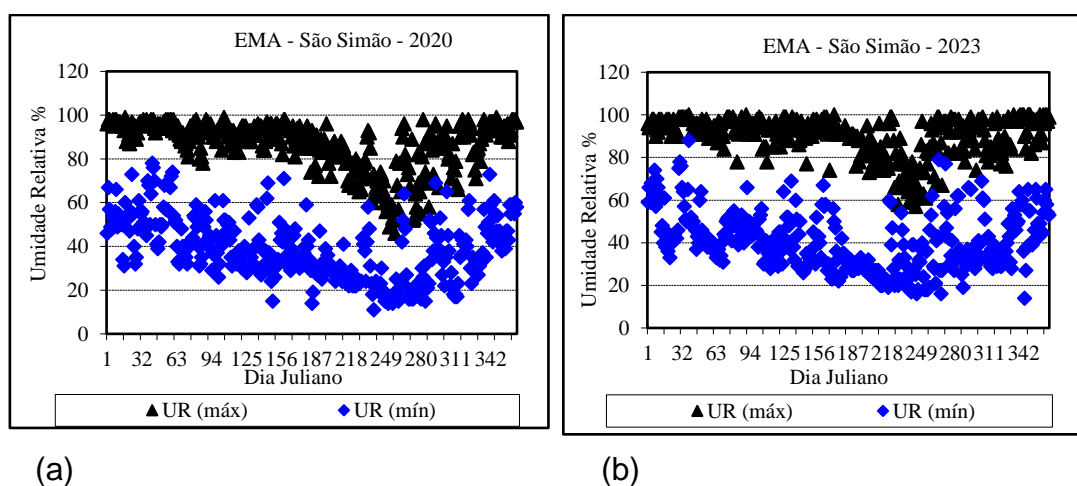
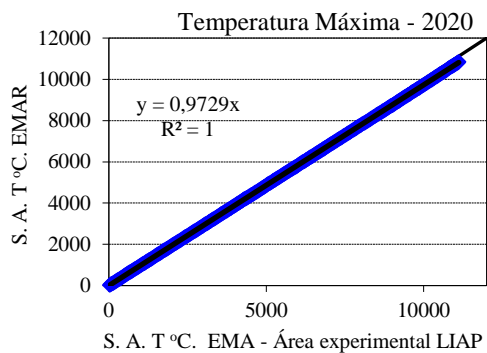


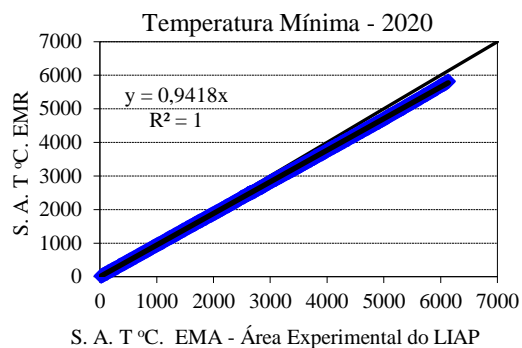
Figura 10. Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) da EMA – São Simão.

As Figuras 11 a 14 apresentam os resultados referentes a temperatura do ar (máxima e mínima) de forma acumulativa, segundo a técnica de dupla massa. Os dados da EMA – Área Experimental do LIAP, EMA – Monte Alto, EMA – Pradópolis e EMA – São Simão foram comparados com os dados da EMAR nos anos de 2020 e 2022.

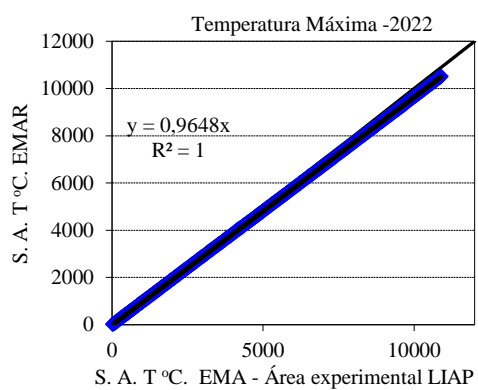
Observa-se nas Figura 11 a 14 que as temperaturas máxima e mínima registradas pelas quatro estações meteorológicas apresentam correlações satisfatórias quando comparadas com a EMAR. Desta forma, com base na inclinação de 45° da reta, é possível verificar boa confiabilidade dos dados. Isso significa que 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.



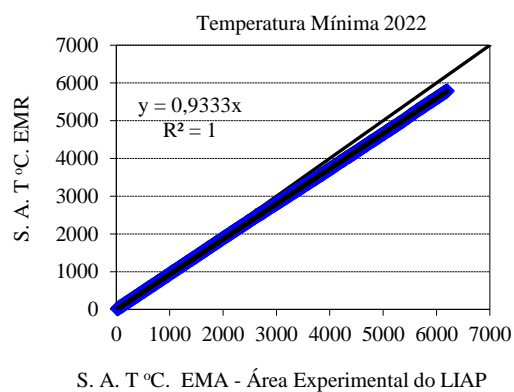
(a)



(b)

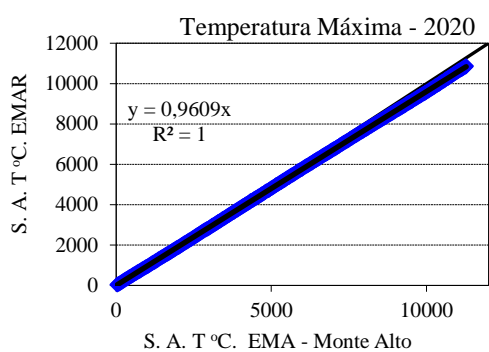


(a)

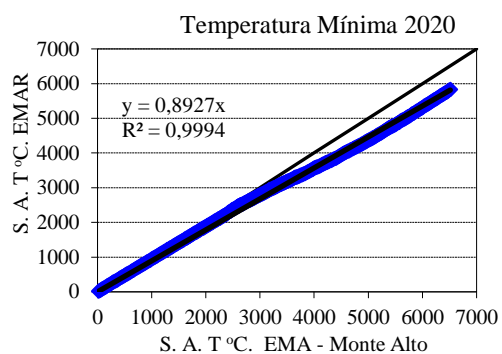


(b)

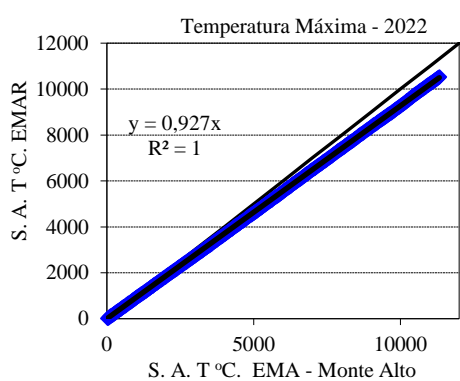
Figura 11. Soma acumulada dos valores diários da temperatura máxima e mínima, EMA – Área Experimental LIAP e EMAR.



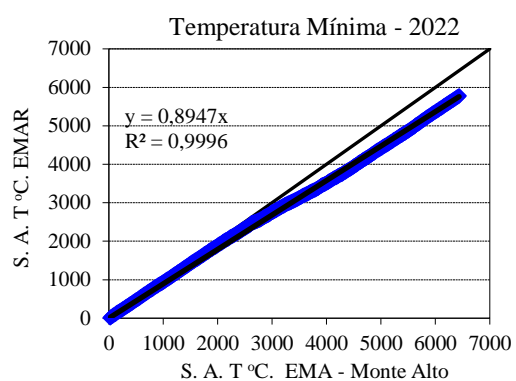
(a)



(b)

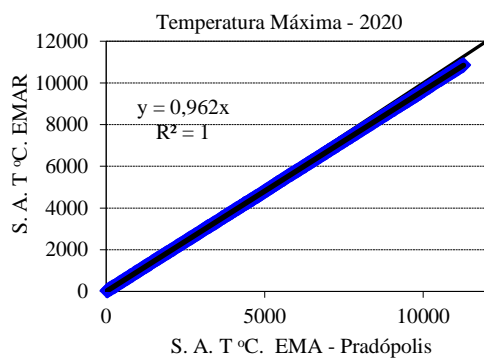


(a)

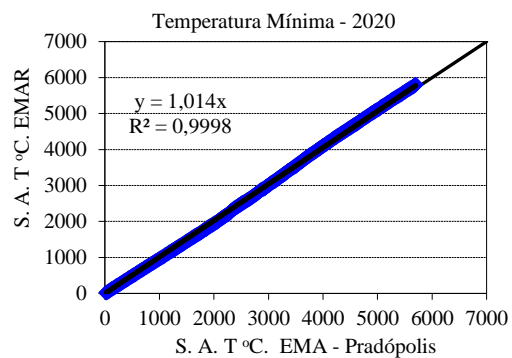


(b)

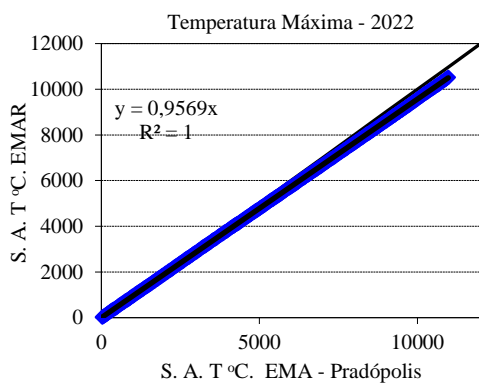
Figura 12. Soma acumulada dos valores diários da temperatura máxima e mínima, EMA – Monte Alto e EMAR.



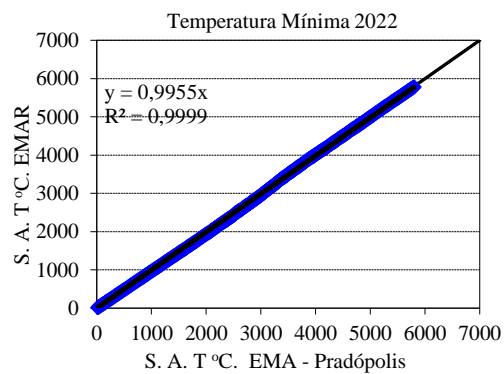
(a)



(b)

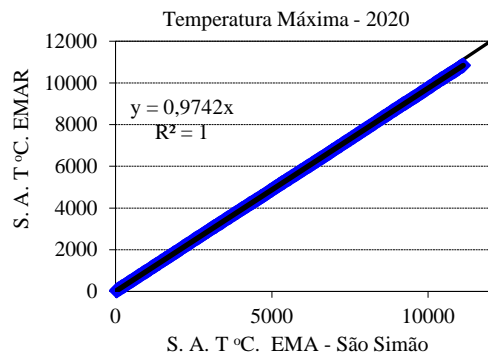


(a)

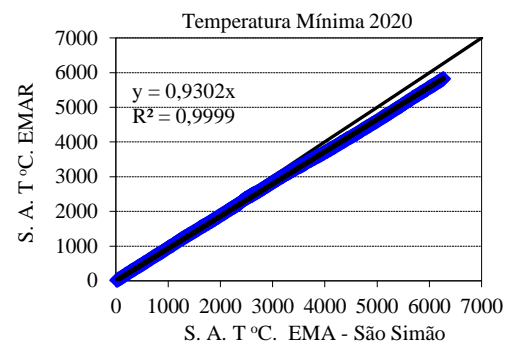


(b)

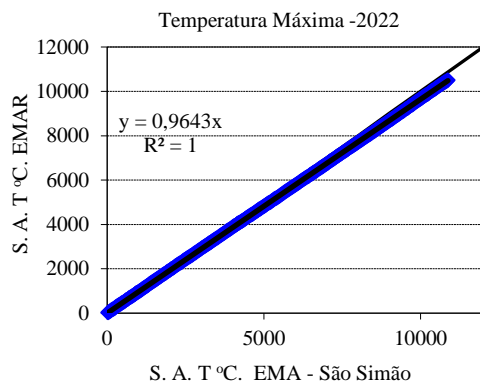
Figura 13. Soma acumulada dos valores diários da temperatura máxima e mínima, EMA – Pradópolis e EMAR.



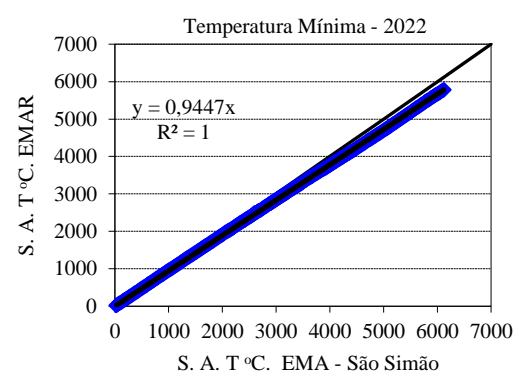
(a)



(b)



(a)



(b)

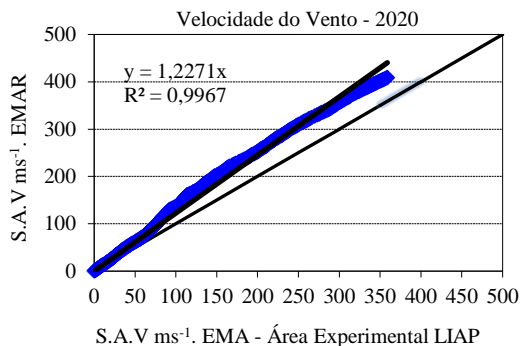
Figura 14. Soma acumulada dos valores diários da temperatura máxima e mínima, EMA – São Simão e EMAR.

As Figuras 15 a 18 a apresentam os resultados referentes a velocidade do vento. Os dados da EMA – Área Experimental do LIAP, EMA – Monte Alto, EMA – Pradópolis e EMA – São Simão foram comparados com os dados da EMAR nos anos de 2020 e 2022. Os valores obtidos da velocidade do vento, de forma acumulativa, foram analisados segundo a técnica de dupla massa (TUCCI, 2007).

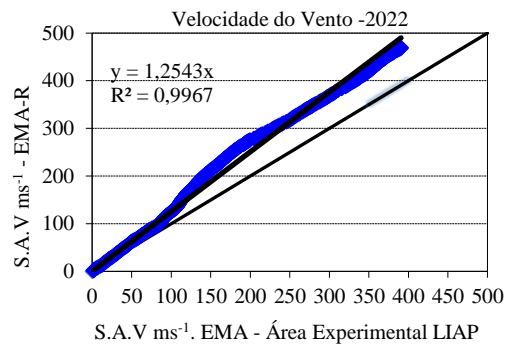
Nota-se na Figura 15 que a inclinação da reta é próxima de 45° , porém, o motivo, não é do sensor e sim do offset utilizado na programação do datalogger das estações (Campbell e Davis). Por exemplo, o sensor da EMAR da Campbell utiliza um offset de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ e o da Davis de $0,0 \text{ m s}^{-1}$. Os resultados obtidos da Figura 15 corroboram com os de Turco e Barbosa (2008), que avaliaram estações meteorológicas automáticas dos fabricantes Davis Instruments e Campbell Scientific.

Observando a Figura 16, verifica-se que a inclinação da reta, próxima de 45° , indica uma boa qualidade dos dados por parte do sensor (anemômetro). O sensor de velocidade do vento deve ser periodicamente comparado com o da EMAR para verificar se houve mudança no resultado (coeficiente angular, e coeficiente de determinação (R^2)).

A Figuras 17 e 18 apresentam a inclinação da reta diferente de 45° . Esta diferença pode estar associada ao offset utilizado na programação dos datalogger da EMA – Pradópolis e EMA – São Simão. Esta diferença pode ser em razão da distância entre as duas estações meteorológicas e a EMAR. Portanto, os sensores devem ser duplicados para verificar a necessidade de calibração ou substituição.

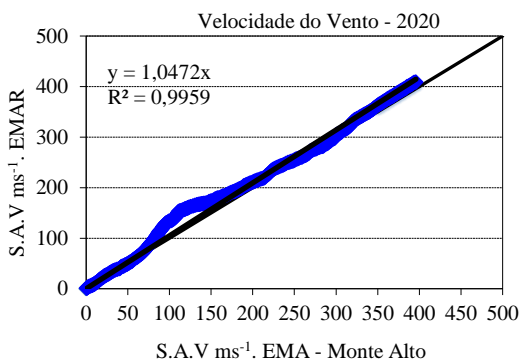


(a)

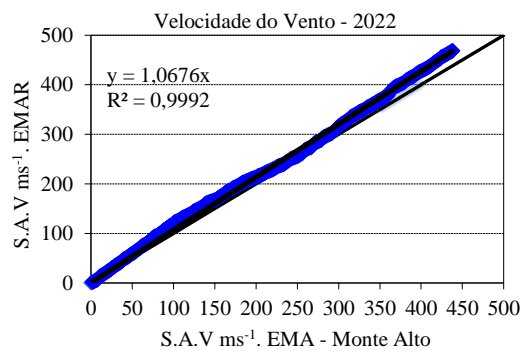


(b)

Figura 15. Soma acumulativa dos valores diários da velocidade do vento, EMA – Área Experimental LIAP e EMAR.



(a)



(b)

Figura 16. Soma acumulativa dos valores diários da velocidade do vento, EMA – Monte Alto e EMAR.

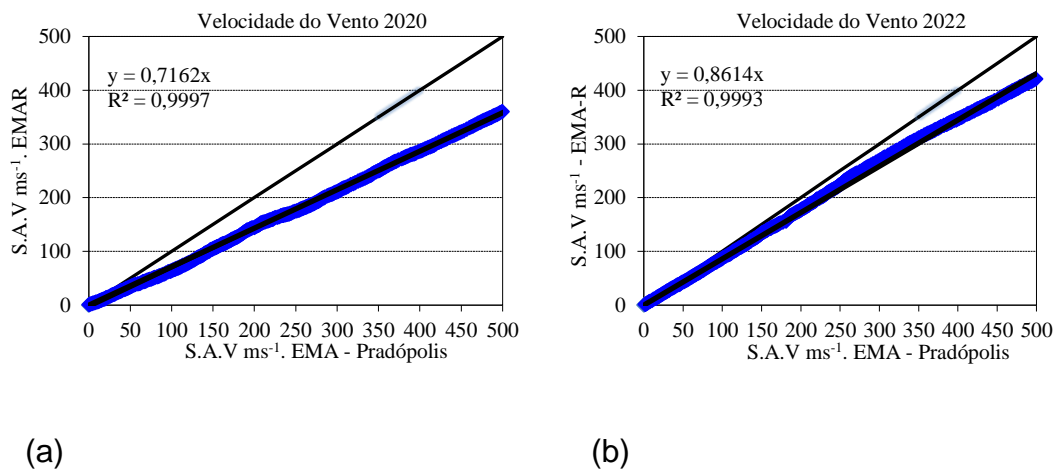


Figura 17. Soma acumulativa dos valores diários da velocidade do vento, EMA – Pradópolis e EMAR.

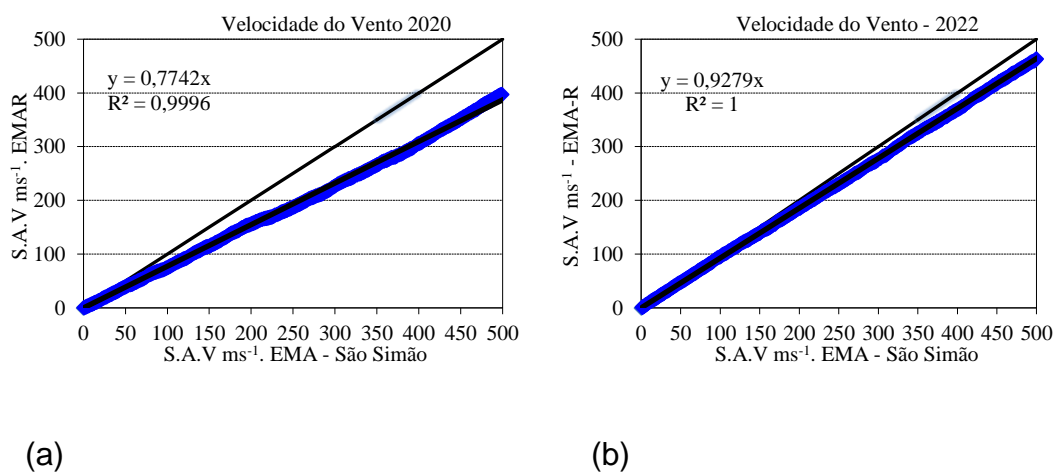


Figura 18. Soma acumulativa dos valores diários da velocidade do vento, EMA – São Simão e EMAR.

As Figuras 19, 20, e 21 apresentam os resultados da precipitação pluviométrica medida com o pluviômetro de báscula da EMA – Área Experimental do LIAP, EMA – Pradópolis e EMA – São Simão comparados a precipitação pluviométrica medida com o pluviômetro de báscula da EMAR. Neste trabalho não consta os dados de precipitação pluviométrica da EMA – Monte Alto, pois está estação não possui pluviômetro.

Os dados da estação EMA – Área Experimental do LIAP, apresentaram correlação satisfatória quando comparadas com os da EMAR. A diferença dos sensores está associada a calibração dos mesmos, indicando que o sensor de precipitação pluviométrica da EMA – Área Experimental do LIAP estão operando de forma satisfatória (Figura 19).

A inclinação da reta na Figura 20b é próxima de 45° . Portanto, apresenta uma boa qualidade do dados de precipitação pluviométrica obtidos pelo sensor da EMA – Pradópolis no ano de 2022. O sensor de precipitação pluviométrica deve ser periodicamente comparado com o da EMAR para verificar se houve mudança no resultado (coeficiente angular, e coeficiente de determinação (R^2)).

No ano de 2020 o sensor de precipitação pluviométrica apresentou problemas (Figura 20a).

A Figura 21 apresenta a inclinação da reta diferente de 45° . Esta diferença pode estar associada a distância entre a EMA – São Simão e a EMAR. As precipitações pluviométricas registrada pela EMA – São Simão apresentam correlações satisfatórias quando comparadas com a EMAR. Com base no

coeficiente de determinação (R^2), é possível verificar boa confiabilidade dos dados, indicando que o sensor está operando de forma satisfatória. O sensor de precipitação pluviométrica deve ser periodicamente comparado com o da EMAR para verificar se houve mudança no resultado (coeficiente angular, e coeficiente de determinação - R^2).

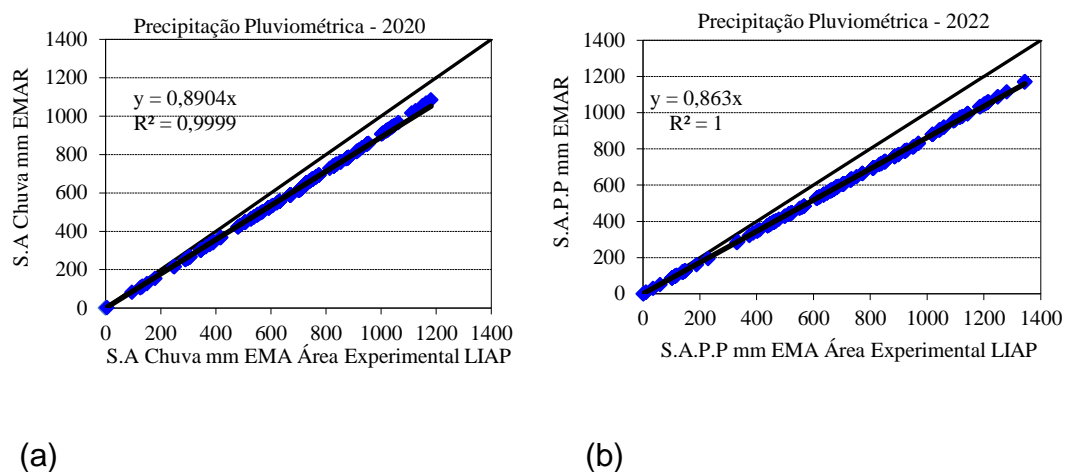


Figura 19. Soma acumulativa da precipitação pluviométrica, EMA – Área Experimental LIAP e EMAR.

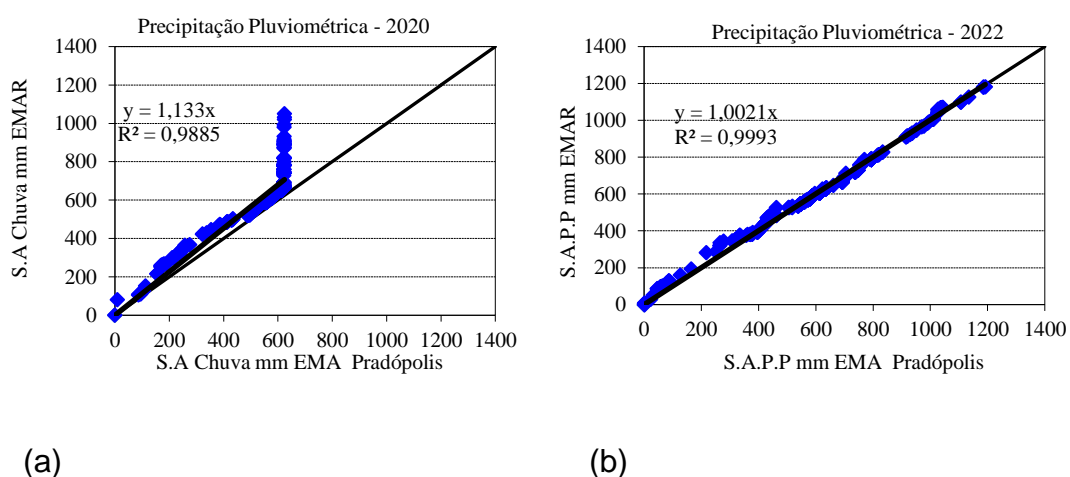
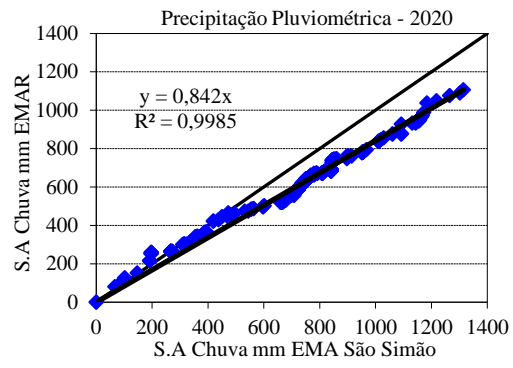
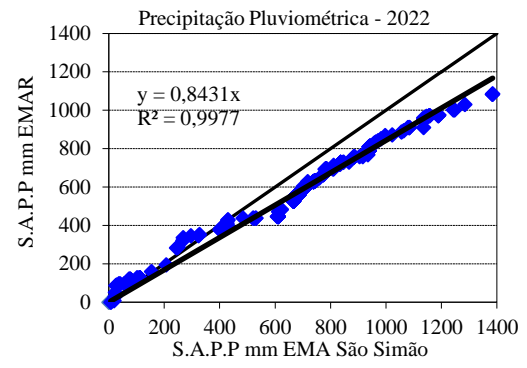


Figura 20. Soma acumulativa da precipitação pluviométrica, EMA – Pradópolis e EMAR.



(a)



(b)

Figura 21. Soma acumulativa da precipitação pluviométrica, EMA – São Simão e EMAR.

5. CONCLUSÃO

As técnicas utilizadas possibilitaram a verificação dos dados meteorológicos das EMAs. Devem ser aplicadas periodicamente para verificar se houve mudança no resultado (coeficiente angular, e coeficiente de determinação - R^2) e se não forem obtidos bons resultados os sensores devem ser duplicados para verificar a necessidade de calibração ou substituição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

CALIFÓRNIA IRRIGATION MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM (CIMIS). **Publicações**. Disponível em: < <http://www.cimis.water.ca.gov/Resources.aspx> >. Acesso em: 25 mar. 2014.

CARLETO, N. **Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo hidrológico**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, 2016.

DIAZ, C. C. F; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para o preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 324-339, 2018.

ESTÉVES, 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.

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.

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.

LIMA, J.C.O; BISPO, F.S; RIFFEL, D.B. Comparação entre dados de radiação solar medidas por estações meteorológicas automáticas no Estado de Sergipe com valores estimados a partir de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO SERGIPANO DE ENERGIA SOLAR. 2016, Aracaju. **Anais....** Aracaju.

OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; CAVALCANTI JÚNIOR, E. G.; SOBRINHO, J. E.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal – SP. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 108-114, 2010.

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.

SCARPARE, F. V.; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J.; PIEDADE, 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. 2006. Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

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.

SOARES, T.G; MENDES, C.C; CLOSOSKI, G; SOUZA, G.T; PEREIRA, A.L.V; CONTI, W.R.P, MARTINS; F.R. Data-QS-Ferramenta numérica para qualificação de dados coletados em estações automáticas de superfície. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.7, p. 9641-9651, 2019.

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.

TOLMASQUIM, M; GUERREIRO, A; GORINI, R. Matriz Energética Brasileira: Uma Prospectiva. **Novos Estudos**, v.3, p. 46-69, 2007.

TURCO, J.E.P.; FERNANDES, E.J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.23, n.3, p.468-477, 2003.

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: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu-SP, v. 13, n. 3, p.339-354, 2008.

VIEIRA, S.; OSORIO, D. M. M.; QUEVEDO, D. M.; ADAM, K. N.; PEREIRA, M. A. F. Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas – Bacia do Rio dos Sinos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 189-204, 2018.

WMO. World Meteorological Organization. **Guide to meteorological instruments and methods of observation WMO-Nº. 8**. Geneva 2, Switzerland, p.161-173, 2008.