

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS METEOROLÓGICOS OBTIDOS POR ESTAÇÕES CONVENCIONAIS E AUTOMÁTICAS NO ESTADO DO PIAUÍ, BRASIL*

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO¹; ADERSON SOARES DE ANDRADE JÚNIOR²; EVERALDO MOREIRA DA SILVA³; MARCELO SIMEÃO⁴ E EDSON ALVES BASTOS²

¹Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hull, s/n - Pici, bloco 804, 60455-760, Fortaleza - CE, Brasil, alburibeiro@hotmail.com

²Pesquisador Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil, aderson.andrade@embrapa.br, edson.bastos@embrapa.br

³ Professor Adjunto II da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus, PI, Brasil, everaldo@ufpi.edu.br

⁴ Mestre em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus, PI, Brasil, marcelosimeao16@gmail.com

*Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor

1 RESUMO

O registro de elementos climáticos é efetuado por estações meteorológicas convencionais e automáticas. Porém, por questões operacionais e de custo, as estações automáticas estão substituindo as convencionais. Contudo, para que as séries de dados dessas estações sejam únicas, há a necessidade de estudos comparativos entre as duas estações. O estudo teve como objetivo comparar dados meteorológicos obtidos por estações convencionais (EMC) e automáticas (EMA) em municípios do Estado do Piauí (Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri). Os elementos meteorológicos avaliados foram: temperaturas do ar máxima (°C) mínima (°C) e média (°C), umidade relativa média do ar (%), velocidade do vento a 10 m ($m s^{-1}$), precipitação pluviométrica (mm) e pressão atmosférica média (hPa). As comparações dos dados foram feitas por meio dos seguintes indicadores estatísticos: precisão (R^2), erro absoluto médio (EAM), coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d) e índice de confiança (c). Os melhores ajustes dos dados foram constatados para a precipitação e pressão atmosférica; intermediários, para a temperatura do ar, umidade relativa do ar média e os piores, para a velocidade do vento. A umidade relativa média do ar foi o elemento analisado que mostrou as maiores diferenças entre a EMC e a EMA.

Palavras-chave: Agrometeorologia, elementos climáticos, sensores.

RIBEIRO, A. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E.M.; SIMEÃO, M.; BASTOS, E.A.

COMPARISON OF METEOROLOGICAL DATA RECORDED BY
CONVENTIONAL AND AUTOMATIC STATIONS IN THE STATE OF PIAUÍ,
BRAZIL

2 ABSTRACT

The recording of climatic elements is carried out by conventional and automatic meteorological stations. However, for operational and cost reasons, the automatic stations are

Recebido em 02/04/2016 e aprovado para publicação em 15/02/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n2p220-235>

replacing conventional ones. However, for the data series of these stations to be unique, there is a need for comparative studies between the two stations. The objective of this study was to compare the meteorological data obtained by conventional (EMC) and automatic (EMA) stations in municipalities of the State of Piauí (Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba and Piripiri). The meteorological elements evaluated were: minimum ($^{\circ}\text{C}$) and average ($^{\circ}\text{C}$) air temperatures, mean relative air humidity (%), wind velocity at 10 m (m s^{-1}), rainfall precipitation (mm) and mean atmospheric pressure (hPa). Data comparisons were made using the following statistical indicators: accuracy (R2), mean absolute error (EAM), correlation coefficient (r), Willmott concordance index (d) and confidence index (c). The best data adjustments were recorded for precipitation and atmospheric pressure; intermediate, for air temperature, relative air humidity, and the worst ones, for wind speed. The mean relative air humidity was the analyzed element that showed the greatest differences between the EMC and the EMA.

Keywords: Agrometeorology, climatic elements, sensors

3 INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas são dependentes do ciclo sazonal das precipitações, das oscilações de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar incidente, velocidade do vento e cobertura média de nuvens (MOURA; LORENZETTE, 2006). Cerca de 80% da variação da produção agrícola no mundo se deve à variabilidade das condições meteorológicas predominantes durante o ciclo de cultivo, principalmente para as culturas de sequeiro, uma vez que os agricultores não podem exercer nenhum controle sobre esses fenômenos naturais (HOOGENBOOM, 2000).

A observação desses elementos meteorológicos pode ser efetuada por estações meteorológicas convencionais (EMC) e automáticas (EMA). Atualmente, há no país 270 estações meteorológicas convencionais e 478 automáticas operadas pelo INMET. O Estado do Piauí possui nove EMC e 19 EMA em operação no seu território (INMET, 2015).

A coleta automatizada de dados meteorológicos permite um monitoramento mais rápido das condições atmosféricas para aplicar no manejo da irrigação, com uma velocidade capaz de torná-la mais eficiente por estarem disponíveis em meios eletrônicos de fácil acesso (TAGLIAFERRE et al., 2010). Em decorrência disso, as estações meteorológicas automáticas estão, aos poucos, substituindo as estações meteorológicas convencionais.

No entanto, a substituição de uma estação meteorológica convencional (EMC) por uma automática (EMA), não é apenas um simples ato de troca. Há a necessidade de estudos comparativos entre os dois tipos de estações por determinado período de tempo, como forma de garantir a homogeneidade dos dados, transferindo confiabilidade da EMC para a EMA, para que essas séries possam ser consideradas como única (ALMEIDA; SOUZA; ALCÂNTARA, 2008).

Na literatura existem estudos comparando os dados meteorológicos obtidos entre as duas estações para vários municípios brasileiros: Sentelhas et al. (1997), em Piracicaba, SP; Oliveira et al. (2010), em Jaboticabal, SP; Pereira et al. (2008), em Londrina, PR e Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, PB. No caso específico do Piauí, à exceção do estudo executado por Carvalho (2014) em Teresina, PI, pesquisas sobre essa temática ainda são incipientes, justificando novos estudos comparativos entre as duas modalidades de estações.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo, comparar dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas em municípios localizados no Estado do Piauí, visando obter os parâmetros necessários para permitir a continuidade das séries históricas de precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, caso haja substituição no futuro das estações convencionais por automáticas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com dados obtidos de estações meteorológicas automáticas e convencionais em operação, pertencentes à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em seis municípios do Estado do Piauí, nos quais operam conjuntamente as duas modalidades de estação nos municípios: Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri. A localização geográfica das estações, as coordenadas e período de coleta de dados são apresentados na Figura 1 e Tabela 1. Em todos os municípios avaliados, as estações meteorológicas automáticas e convencionais estão próximas, excluindo-se da análise comparativa as possíveis influências devidas ao fator local de instalação.

Com o auxílio do software Excel 2007[®], os dados coletados passaram por uma análise preliminar para adequação e padronização das datas. Essa medida foi estabelecida para que as datas das estações se equiparassem para a realização da comparação por meio da correlação de dados. Os dias em que houve falhas nas coletas de dados em uma das estações foram eliminados. Por meio de visualização gráfica detectou-se os dados discrepantes, sendo excluídos.

Os elementos meteorológicos avaliados nas estações automáticas e convencionais foram: temperaturas do ar máxima (°C) mínima (°C) e média (°C), umidade relativa média do ar (%), velocidade do vento a 10 m (m s^{-1}), precipitação pluviométrica (mm) e pressão atmosférica média (hPa), analisando-se esses elementos em escala diária.

Figura 1. Mapa identificando os municípios com as estações meteorológicas convencionais e automáticas do INMET utilizadas no estudo (1. Paulistana; 2. Picos; 3. São João do Piauí; 4. Floriano; 5. Parnaíba; 6. Piripiri).

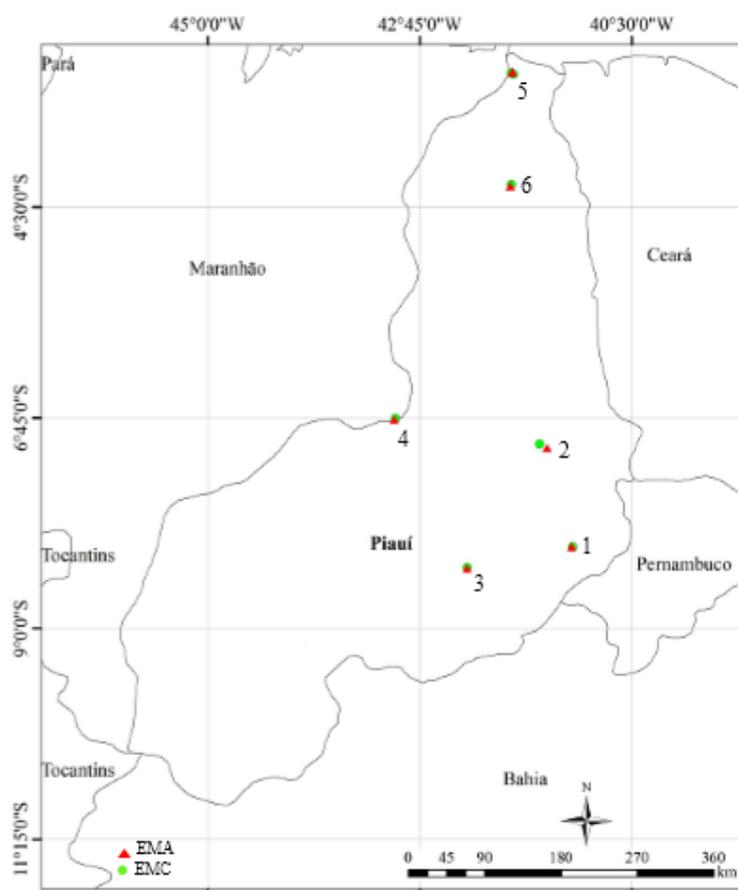


Tabela 1. Municípios, identificação das estações, coordenadas geográficas e período da análise comparativa dos dados meteorológicos das estações automáticas e convencionais do Estado do Piauí selecionadas para avaliação.

Municípios	Estação (ID) *	Coordenadas Geográficas			Período (anos)
		Lat (S)	Long (W)	Alt (m)	
Paulistana	A330	08°07'48''	41°08'24''	374,0	2008-2014
	82882	08°07'48''	41°07'48''	374,2	
Picos	A343	07°04'12''	41°24'00''	233,0	2009-2014
	82780	07°01'48''	41°28'48''	207,9	
São João do Piauí	A331	08°21'03''	42°15'00''	235,0	2008-2014
	82879	08°21'00''	42°15'00''	235,3	
Floriano	A311	06°45'36''	43°00'00''	123,3	2008-2014
	82678	06°45'36''	43°00'36''	123,2	
Parnaíba	A308	03°48'00''	41°46'48''	57,0	2003-2006
	82287	03°04'48''	41°45'36''	79,5	2008-2014
Piripiri	A335	04°16'12''	41°47'24''	161,0	2008-2014
	82474	04°15'36''	41°46'48''	161,1	

*Identificação da estação na rede de estações automáticas (linha superior) e número sinótico da estação convencional (OMM) (linha inferior).

Os elementos meteorológicos observados nas estações, assim como o elemento sensor, sua sensibilidade e fabricante são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Elementos meteorológicos obtidos nas estações meteorológicas convencionais (EMC) e automáticas (EMA), com seus respectivos elementos sensores, sensibilidade e fabricante

Estação	Elemento climático	Elemento sensor	Sensibilidade	Fabricante
EMC	Temperatura máxima	Mercúrio	0,2°C	R Fuess
	Temperatura mínima	Álcool	0,2°C	R Fuess
	Umidade relativa	Cabelo humano	5 %	R Fuess
	Precipitação	Pluviômetro	0,1 mm	R Fuess
	Pressão atmosférica	Mercúrio	0,1 hPa	R Fuess
	Velocidade do vento	Conjunto de 3 canecas	0,1 m.s ⁻¹	R Fuess
EMA	Temperatura máxima	Termistor	0,1 °C	Vaisala
	Temperatura mínima	Termistor	0,1 °C	Vaisala
	Umidade relativa do ar	Capacitor	3%	Vaisala
	Precipitação	Sistema de balança	0,1 mm	Vaisala
	Pressão atmosférica	Capacitor	0,1 hPa	Vaisala
	Velocidade do vento	Conjunto de 3 canetas	0,11 m.s ⁻¹	Vaisala

A Tabela 3 apresenta a comparação na forma de obtenção dos dados meteorológicos a partir da EMC e da EMA.

Tabela 3. Comparação da forma de obtenção dos dados meteorológicos a partir da EMC e da EMA.

Elemento	EMC	EMA
T _{max}	Leituras às 21:00h	> valor das 24:00h
T _{min}	Leituras às 9:00h	< valor das 24:00h
T _{med}	$\frac{T_{9:00} + 2T_{21:00} + T_{\text{máx}} + T_{\text{min}}}{5}$	$\frac{\sum T^*}{24}$
UR _{med}	$\frac{(UR_{9:00} + UR_{\text{máx}} + U_{\text{min}} + 2UR_{21:00})}{5}$	$\frac{\sum UR^*}{24}$
P _{p n+1}	Leitura às 9:00 h	Somatório das chuvas coletadas desde 9:00h do dia n às 9:00h do dia n+1
Patm	$\frac{Patm_{9:00} + Patm_{15:00} + Patm_{21:00}}{3}$	$\frac{\sum P_{Atm}^*}{24}$
V _v	$\frac{Vv_{9:00} + Vv_{15:00} + Vv_{21:00}}{3}$	$\frac{\sum Vv^*}{24}$

T: temperatura do ar; UR: umidade relativa do ar; Pp: precipitação; Patm: pressão atmosférica do ar; Vv: velocidade do vento; 9:00; 15:00 e 21:00 são os horários de coleta dos dados nas estações convencionais

*medidas obtidas a cada hora.

Para a comparação dos dados obtidos nas estações convencionais e automáticas foi utilizada a análise de regressão linear e determinado o coeficiente de determinação (R^2), que indica precisão máxima quando R^2 tende a 1. Utilizou-se também o índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985), o coeficiente de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), coeficiente de correlação (r) e o erro absoluto médio (EAM):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (1)$$

$$c = d \cdot r \quad (2)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (3)$$

$$EAM = \left[\frac{1}{n} \right] \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \quad (4)$$

Em que O_i são os dados coletados na EMC, P_i os dados coletados na EMA, \bar{O} as médias dos dados da EMC; n é o número de observações e EMC e EMA, os dados oriundos das estações meteorológicas convencional e automática, respectivamente.

Os valores dos coeficientes de correlação (r) e dos índices de desempenho ou confiança (c) encontrados foram classificados seguindo-se a classificação proposta por Hopkins (2000) (Tabela 4) e por Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 5), respectivamente.

Tabela 4. Classificação das correlações de acordo com Hopkins (2000).

Coeficiente de correlação (r)	Correlação
0,0-0,1	Muito baixa
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-0,9	Muito alta
0,9-1,0	Quase perfeita

Tabela 5. Critério de interpretação do desempenho pelo índice “c”, segundo Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Temperatura máxima do ar

As estações localizadas nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,98$), Picos ($R^2= 0,95$) e Floriano ($R^2= 0,95$) apresentaram dados de temperatura máxima do ar com baixa dispersão, indicando alta precisão dos dados entre as duas estações. As maiores dispersões, por sua vez, foram encontradas nas estações situadas em Piripiri ($R^2= 0,78$) e Parnaíba ($R^2= 0,76$) (Tabela 6), provavelmente em decorrência da maior variabilidade da temperatura do ar nesses locais, uma vez que estão localizados na fronteira com o Estado do Maranhão, em uma zona de transição climática.

Tabela 6. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico temperatura máxima do ar entre as duas estações em municípios situados no Estado do Piauí

Local	Temperatura máxima do ar (°C)					Desempenho
	R^2	EAM	r	d	c	
Paulistana	0,98	-0,05	0,99	0,99	0,99	Ótimo
Picos	0,95	-0,20	0,97	0,98	0,96	Ótimo
São João do Piauí	0,83	-0,30	0,91	0,91	0,83	Muito Bom
Floriano	0,95	0,10	0,97	0,99	0,97	Ótimo
Parnaíba	0,76	-0,38	0,87	0,81	0,71	Bom
Piripiri	0,78	-0,22	0,88	0,84	0,75	Bom

R^2 = coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

Oliveira et al. (2010) em Jaboticabal, São Paulo, obtiveram boa precisão para os dados de temperatura máxima do ar, com valores de R^2 igual a 0,97, sendo superiores a maioria dos encontrados no presente estudo. Este fato, provavelmente, é explicado pelas diferenças de calibração dos sensores. Em Teresina, Piauí, Carvalho (2014) verificou que a temperatura máxima foi a variável que apresentou maior correlação entre as medidas do sensor automático e convencional.

A exceção de Floriano (EAM= 0,10 °C), as estações meteorológicas automáticas apresentaram valores de temperatura máxima do ar superiores aos obtidos nas estações convencionais, corroborando com Funari e Pereira Filho (2010). As maiores e menores diferenças foram constatadas em Parnaíba (EAM= -0,38 °C) e Paulistana (EAM= -0,05 °C), respectivamente. Nos demais locais, as diferenças foram: Picos (EAM= -0,20 °C), São João do Piauí (EAM= -0,30 °C) e Piripiri (EAM= -0,22 °C) (Tabela 8). Estes valores foram inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2010), em Jaboticabal, São Paulo, que foi de 1,0 °C.

A correlação entre os dados das duas estações foi “Quase Perfeita” entre as estações situadas em Paulistana ($r= 0,99$), Picos ($r= 0,97$) e São João do Piauí ($r= 0,91$) e em Floriano ($r= 0,97$). Nos demais municípios, a correlação foi “Muito Alta”: Parnaíba ($r= 0,87$) e Piripiri ($r= 0,88$). Em relação ao índice de concordância (d) de Willmott, encontrou-se valores elevados para as duas estações nos municípios de Paulistana ($d= 0,99$), Picos ($d= 0,98$), São João do Piauí, ($d= 0,91$) e Floriano ($d= 0,99$), enquanto que em Parnaíba e Piripiri, os valores encontrados foram menores, iguais a 0,81 e 0,84, respectivamente (Tabela 8). Cunha e Martins (2004), em Jaboticabal, São Paulo, também encontraram alta correlação ($r= 0,99$) e concordância ($d= 0,99$) para a temperatura máxima.

Assim sendo, verificou-se que os melhores desempenhos entre os dados das duas estações foram encontrados para os municípios de Paulistana, Picos e Floriano, considerado “Ótimo”. Nos municípios de Parnaíba e Piripiri, por sua vez, o desempenho sofreu ligeiro decréscimo, sendo considerado “Bom”. Carvalho (2014), em Teresina, Piauí, e Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, Parnaíba, encontraram desempenho “Ótimo” para o mesmo elemento meteorológico.

5.2 Temperatura mínima do ar

Para a temperatura mínima do ar, verificou-se maior precisão dos dados entre as duas estações nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,90$), São João do Piauí ($R^2= 0,90$), Floriano ($R^2= 0,92$) e Picos ($R^2= 0,85$). Enquanto que, nos municípios de Parnaíba ($R^2= 0,77$) e Piripiri ($R^2= 0,76$) foram observadas as maiores dispersões dos dados (Tabela 7), repetindo o mesmo comportamento constatado para a temperatura máxima do ar.

Na região do Submédio São Francisco, Pernambuco, Silva, Moura e Turco (2004) não obtiveram boa precisão para os dados de temperatura mínima do ar, assim como constatado em Parnaíba e Piripiri, comportamento atribuído as diferenças dos sensores das duas estações. Entretanto, Pereira et al. (2008), em Londrina, Paraná, concluíram que a temperatura mínima foi o elemento que apresentou a melhor correlação das medidas entre o sensor automático e convencional, com valor de R^2 igual a 0,99, superior aos obtidos no presente estudo.

Tabela 7. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico temperatura mínima entre as duas estações em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Temperatura mínima (°C)					Desempenho
	R^2	EAM	r	d	c	
Paulistana	0,90	0,21	0,98	0,98	0,93	Ótimo
Picos	0,85	0,35	0,92	0,93	0,86	Ótimo
São João do Piauí	0,90	0,11	0,94	0,98	0,93	Ótimo
Floriano	0,92	0,34	0,95	0,98	0,93	Ótimo
Parnaíba	0,77	0,42	0,87	0,85	0,74	Bom
Piripiri	0,76	0,42	0,87	0,84	0,73	Bom

R^2 = coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

Os valores de temperatura mínima do ar medidos na estação convencional superestimaram os obtidos na automática em todos os municípios, concordando com Almeida e Hermenegildo (2013). As maiores diferenças entre os dados das duas estações foram observadas em Piripiri (EAM= 0,42 °C) e as menores em São João do Piauí (EAM= 0,11 °C). Os demais erros encontrados foram: Paulistana (EAM= 0,21 °C), Picos (EAM= 0,35 °C), Parnaíba (EAM= 0,42 °C (Tabela 9). Sentelhas et al. (1997), em Piracicaba, São Paulo, encontraram erro de 0,41°C para a o mesmo elemento meteorológico, similar aos constatados em Parnaíba e Piripiri.

Os municípios de Paulistana (r= 0,98), Picos (r= 0,92), São João do Piauí (r= 0,94) e Floriano (r= 0,95), apresentaram correlação “Quase Perfeita”, igualmente verificado por Carvalho (2014), em Teresina, Piauí. Nos demais, a correlação foi “Muito Alta”: Parnaíba (r= 0,87) e Piripiri (r= 0,87) (Tabela 9). A concordância dos dados foi alta nos municípios de Paulistana (d= 0,98), Picos (d= 0,93), São João do Piauí (d= 0,98), Floriano (d= 0,98), assim

também como observado por Cunha e Martins (2004). Contudo, decresceu nos municípios de Parnaíba ($d=0,853$) e Piripiri ($d=0,84$) (Tabela 9).

Sendo assim, verificou-se alto desempenho entre os dados de temperatura mínima obtidos nas duas estações, nos municípios de Paulistana, Picos, São João do Piauí e Floriano, classificado como “Ótimo”. Enquanto que, nos municípios de Parnaíba e Piripiri, o desempenho foi inferior, classificado como “Bom” (Tabela 9).

5.3 Temperatura média do ar

A precisão dos dados foi boa nos municípios de Paulistana ($R^2=0,93$) e Floriano ($R^2=0,90$). As maiores dispersões dos dados foram constatadas novamente nos municípios de Parnaíba ($R^2=0,73$) e Piripiri ($R^2=0,76$) (Tabela 8). Magalhães (2008), em Lavras, Minas Gerais, e Oliveira et al. (2010), em Jaboticabal, São Paulo, obtiveram boa precisão dos dados de temperatura média, com valores de R^2 iguais a 0,95 e 0,97, superiores aos constatados no presente estudo.

Tabela 8. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Temperatura média do ar					Desempenho
	R^2	EAM	r	d	c	
Paulistana	0,93	-0,12	0,96	0,99	0,95	Ótimo
Picos	0,84	0,27	0,91	0,95	0,87	Ótimo
São João do Piauí	0,85	-0,12	0,92	0,97	0,89	Ótimo
Floriano	0,90	0,22	0,95	0,98	0,93	Ótimo
Parnaíba	0,73	0,34	0,85	0,85	0,72	Bom
Piripiri	0,76	-0,34	0,87	0,83	0,72	Bom

R^2 = coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

As maiores diferenças foram observadas em Parnaíba (EAM= 0,34 °C) e as menores em São João do Piauí (EAM= -0,12 °C). As demais discrepâncias encontradas foram: Paulistana (EAM= -0,12 °C), Picos (EAM= 0,27 °C), Floriano (EAM= 0,22 °C) e Piripiri (EAM= -0,34 °C). Estes valores, contudo, foram inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2010) e Almeida, Souza e Alcântara (2008), que observaram diferenças de 0,41 e 0,66°C, respectivamente, para o mesmo elemento.

Os municípios de Paulistana, São João do Piauí, Picos e Floriano apresentaram dados com correlação próxima de 1, decrescendo para “Muito Alta” nos demais: Parnaíba ($r=0,85$) e Piripiri ($r=0,87$). A concordância dos dados entre as duas estações também seguiu o mesmo comportamento, ou seja, com valores mais elevados para os municípios de Paulistana ($d=0,99$), Picos ($d=0,95$), São João do Piauí ($d=0,97$) e Floriano ($d=0,98$), decrescendo em Parnaíba ($d=0,85$) e Piripiri ($d=0,83$).

Com isso, o desempenho estatístico foi considerado “Ótimo” em Paulistana, Picos, São João do Piauí e Floriano, e “Bom” nas estações localizadas em Parnaíba e Piripiri, similar ao constatado por Carvalho (2014), em Teresina.

5.4 Umidade relativa do ar

Para a umidade relativa média do ar (%), a melhor precisão dos dados foi observada entre as duas estações localizadas nos municípios de São João do Piauí ($R^2= 0,90$) e Floriano ($R^2= 0,91$) (Tabela 9). Nos demais locais, a dispersão dos dados foi maior: Paulistana ($R^2= 0,83$), Picos ($R^2= 0,75$), Parnaíba ($R^2= 0,88$) e Piripiri ($R^2= 0,78$). Souza, Galvani e Assunção (2003) em Maringá, Paraná e Almeida e Hermenegildo (2013) em Areia, Paraíba, encontraram R^2 de 0,88 e 0,83, semelhantes aos constatados em Paulistana e Parnaíba.

Tabela 9. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa do ar em municípios localizados no Estado do Piauí

Local	Umidade relativa do ar					
	R^2	EAM	r	d	c	Desempenho
Paulistana	0,83	3,23	0,91	0,82	0,75	Bom
Picos	0,75	-3,32	0,86	0,82	0,71	Bom
São João do Piauí	0,90	2,15	0,95	0,89	0,85	Ótimo
Floriano	0,91	2,84	0,95	0,81	0,77	Muito Bom
Parnaíba	0,88	-1,33	0,93	0,84	0,79	Muito Bom
Piripiri	0,78	2,44	0,88	0,82	0,73	Bom

R^2 = coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

A umidade relativa média do ar foi o elemento analisado que mostrou as maiores diferenças entre a EMC e EMA, com valores iguais a: Paulistana (EAM= 3,23 %), Picos (EAM= -3,32 %), São João do Piauí (EAM= 2,15 %), Parnaíba (EAM=-1,33%) e Piripiri (EAM= 2,44 %). Estes valores, contudo, foram inferiores aos obtidos por Oliveira et al. (2010), de 5,69 %, Pereira et al. (2008), de 6,5 % e Almeida, Souza e Alcântara (2008), de 9,2 %.

As diferenças de valores na obtenção dos dados entre as duas estações no presente estudo podem ser atribuídas ao tipo de elemento sensível dos instrumentos, que no caso da automática é um capacitor e na convencional, um termohigrógrafo, ou a diferença na amostragem utilizada para se calcular a média da EMA e da EMC. Segundo Oliveira et al. (2010) é conveniente, ao se utilizar dados da EMA, muito critério na obtenção e manipulação, além de uma análise de consistência, por serem comuns valores de umidade relativa do ar superiores a 100%.

A correlação dos dados foi “Quase Perfeita” nos municípios de Paulistana ($r= 0,91$), São João do Piauí ($r= 0,95$), Floriano ($r= 0,95$) e Parnaíba ($r= 0,93$). Nos demais, foi classificada como Muito Alta: Picos ($r= 0,86$) e Piripiri ($r= 0,88$). Porém, o coeficiente de concordância dos dados não foi bom em nenhum dos municípios avaliados. Em Maringá, Paraná, Souza, Galvani e Assunção (2003) obtiveram alta correlação ($r= 0,93$) e concordância dos dados ($d= 0,99$). Contudo, o desempenho estatístico dos dados comparados entre as duas estações foi alto em todos os locais: Paulistana (“Bom”), Picos (“Bom”), São João do Piauí (“Ótimo”), Floriano (“Muito Bom”) e Parnaíba (“Muito Bom”), mesma performance encontrada por Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, Paraíba.

5.5 Precipitação

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de precipitação (mm) entre as duas estações podem ser observados na Tabela 10. Através do (R^2) verificou-se

pequena dispersão dos dados, indicando boa precisão para este elemento meteorológico entre as duas estações em todos os municípios: Paulistana ($R^2= 0,94$), Picos ($R^2= 0,92$), São João do Piauí ($R^2= 0,97$), Floriano ($R^2= 0,97$), Parnaíba ($R^2= 0,98$) e Piripiri ($R^2= 0,90$). Cunha e Martins (2004) e Oliveira et al. (2010) também encontraram boa precisão para os dados de precipitação nos municípios de Botucatu e Jaboticabal, São Paulo, com R^2 de 0,97 e 0,97 respectivamente.

Com exceção de Paulistana (EAM= 0,17 mm), houve superestimativa da EMA em relação a EMC igualmente observado por Silva, Moura e Turco (2004) para a Região do Submédio São Francisco, Pernambuco. A diferença entre os dados obtidos nas duas estações foram: Paulistana (EAM= 0,17 mm), Picos (EAM= -0,33 mm), São João do Piauí (EAM=-0,40 mm), Floriano (EAM= -0,30 mm), Parnaíba (EAM= -0,10 mm) e Piripiri (EAM= -0,34 mm). Os dados obtidos no presente estudo para essa variável foram inferiores aos obtidos por outros trabalhos, tais como os de Sentelhas et al. (1997), Magalhães (2008), Oliveira et al. (2010) e Silva, Moura e Turco (2004), que encontraram valores de 0,47; 0,87; 0,46 e 2,23 mm, respectivamente. As pequenas diferenças observadas no presente estudo são justificadas pela proximidade entre as duas estações em todos os municípios.

Tabela 10. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico precipitação entre as duas estações situadas em municípios no Estado do Piauí.

Local	Precipitação (mm)					Desempenho
	R^2	EAM	r	d	c	
Paulistana	0,94	0,17	0,97	0,93	0,90	Ótimo
Picos	0,92	-0,33	0,96	0,91	0,88	Ótimo
São João do Piauí	0,97	-0,40	0,98	0,99	0,99	Ótimo
Floriano	0,97	-0,30	0,98	0,94	0,92	Ótimo
Parnaíba	0,98	-0,10	0,98	0,90	0,89	Ótimo
Piripiri	0,90	-0,34	0,95	0,96	0,91	Ótimo

R^2 = coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

O coeficiente de correlação r proposto por Hopkins (2000) foi classificado como “Quase Perfeito” para todos os municípios estudados: Floriano ($r= 0,98$), Picos ($r= 0,96$), Piripiri ($r= 0,95$), São João do Piauí ($r= 0,98$), Parnaíba ($r= 0,98$) e Paulistana ($r= 0,97$), igualmente observado por Carvalho (2014), em Teresina, Piauí.

O índice de concordância de Willmott (d) foi superior a 0,90 em todos os municípios: Floriano (d= 0,94), Picos (d= 0,91), Piripiri (d= 0,96), São João do Piauí (d= 0,99), Parnaíba (d= 0,90) e Paulistana (d= 0,93). Como resultado, verificou-se que todos os municípios apresentaram desempenho classificado como “Ótimo”, conforme também constatado por Almeida e Hermenegildo (2013).

5.6 Pressão atmosférica do ar

Para a pressão atmosférica do ar (hPa) também verificou-se boa precisão dos dados para os municípios de Paulistana ($R^2= 0,97$), Picos ($R^2= 0,94$), São João do Piauí ($R^2= 0,95$), Floriano ($R^2= 0,90$) e Parnaíba ($R^2= 0,87$) (Tabela 11). Souza, Galvani e Assunção (2003) em Maringá, Paraná e Oliveira et al. (2010) em Jaboticabal, São Paulo, encontraram boa precisão para o mesmo elemento meteorológico em seus trabalhos, com valores de R^2 de 0,96 e 0,91, respectivamente, semelhantes aos constatados na maioria dos municípios avaliados.

Tabela 11. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico pressão atmosférica do ar entre as duas estações em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Pressão atmosférica (hPa)					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Paulistana	0,97	0,14	0,98	0,99	0,98	Ótimo
Picos	0,94	3,29	0,96	0,83	0,79	Muito Bom
São João do Piauí	0,95	0,46	0,97	0,99	0,96	Ótimo
Floriano	0,90	0,79	0,94	0,90	0,86	Ótimo
Parnaíba	0,87	1,17	0,93	0,84	0,78	Muito Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho. *No município de Piri-piri, não foi realizado análise comparativa entre os dados da EMA e EMC para a pressão atmosférica do ar, devido à ausência de dados para este elemento meteorológico no período que compreende este estudo na estação convencional.

Os valores de pressão atmosférica obtidos pela estação meteorológica convencional foram superiores aos da automática em todos os municípios, conforme também constatado por Souza, Galvani e Assunção (2003), em Maringá, Paraná. As diferenças encontradas foram: Paulistana (EAM= 0,14 hPa), São João do Piauí (EAM= 0,46 hPa), Picos (EAM= 3,29 hPa) Floriano (EAM= 0,79 hPa) e Parnaíba (EAM= 1,17 hPa), podendo serem atribuídas ao princípio de medição dos equipamentos e/ou ao fato da pressão atmosférica ser obtida na EMC a partir da média de três leituras diárias (9, 15 e 21 h), enquanto que na EMA foi calculada pela média dos valores registrados a cada hora do dia (0 a 24 h).

Mesmo assim, a correlação entre os dados das duas estações foi classificada como “Quase Perfeita” em todos os municípios: Paulistana (r= 0,98), Picos (r= 0,96), São João do Piauí (r= 0,97), Floriano (r= 0,94) e Parnaíba (r= 0,93). Os valores do índice de concordância de Willmott obtidos foram altos em Paulistana (d= 0,99), Picos (d= 0,83), São João do Piauí (d= 0,99), Floriano (d= 0,90), diminuindo em Parnaíba (d= 0,84). Oliveira et al. (2010), em Jaboticabal, São Paulo, obtiveram altos valores de correlação (r= 0,96), porém baixa concordância (d= 0,74) para a pressão atmosférica do ar.

Contudo, o desempenho dos dados comparados entre as duas estações foram altos em todos os municípios: Paulistana (“Ótimo”), Picos (“Muito Bom”), São João do Piauí (“Ótimo”), Floriano (“Ótimo”) e Parnaíba (“Muito Bom”). Segundo Carvalho (2014), a pressão atmosférica é influenciada pela radiação solar, temperatura do ar, altitude. Como a variação desses fatores é relativamente pequena, em função da proximidade da linha do Equador, a pressão atmosférica é pouco influenciada.

5.7 Velocidade do vento

Para a velocidade do vento (m s⁻¹), a precisão dos dados não foi boa em nenhum dos municípios, sendo a pior dentre todos os elementos meteorológicos avaliados (Tabela 12). Os valores obtidos foram: Paulistana (R²= 0,71), Picos (R²= 0,56), São João do Piauí (R²= 0,68), Floriano (R²= 0,52), Parnaíba (R²= 0,73) e Piri-piri (R²= 0,45). Sentelhas et al. (1997) e Cunha e Martins (2004), também não encontraram boa precisão para este mesmo elemento meteorológico, com valores de 0,56 e 0,32, respectivamente.

Tabela 12. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico

Local	Velocidade do vento (m.s ⁻¹) – 10 m					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Paulistana	0,71	0,35	0,84	0,90	0,76	Muito Bom
Picos	0,56	-0,18	0,75	0,94	0,70	Bom
São João do Piauí	0,68	0,41	0,82	0,85	0,70	Bom
Floriano	0,52	0,13	0,73	0,92	0,67	Bom
Parnaíba	0,73	0,53	0,85	0,94	0,80	Muito Bom
Piripiri	0,45	0,38	0,67	0,79	0,53	Sofrível

velocidade do vento (10 m de altura) entre as duas estações em municípios localizados no Estado do Piauí.

R²= coeficiente de determinação; EAM= erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

Sentelhas et al. (1997) atribuíram essa grande dispersão dos dados ao fato de que a velocidade do vento a 2m na EMC foi estimada em função da velocidade observada a 10m, sendo, portanto, uma das fontes dos erros observados. No presente estudo, porém, comparou-se a velocidade do vento a 10 m de altura. Assim sendo, acredita-se que a alta dispersão dos dados encontrada é justificada nesse caso, às diferenças de sensibilidade dos sensores das duas estações e à própria natureza desse elemento meteorológico, caracterizada pela grande variabilidade na sua ocorrência, que pode causar dispersão dos valores medidos, conforme mencionado por Cunha e Martins (2004).

As estações meteorológicas convencionais apresentaram dados de velocidade do vento superiores aos das automáticas, à exceção do município de Picos (EAM= -0,18 m s⁻¹). As maiores diferenças entre os dados foram observadas nas estações de Parnaíba (EAM= 0,53 m s⁻¹), ao passo que as menores foram registradas em Floriano (EAM= 0,13 m s⁻¹). As demais discrepâncias observadas foram: Paulistana (EAM= 0,35 m s⁻¹), São João do Piauí (EAM= 0,41 m s⁻¹) e Piripiri (EAM= 0,38 m s⁻¹). Essas diferenças foram semelhantes às encontradas por Oliveira et al. (2010), que foi de 0,37 m.s⁻¹ e inferior às obtidas por Sentelhas et al. (1997), de 0,71 m s⁻¹.

Os sensores de velocidade do vento utilizados são diferentes para a EMA e EMC, cada uma tem seu próprio momento de partida como de parada, fazendo com que exista um maior efeito da inércia no conjunto das canecas do anemógrafo da EMC (PEREIRA et al., 2008). Mesmo que se utilizem sensores de um mesmo modelo e adequadamente calibrados, haverá diferenças entre as medidas de velocidade do vento obtidas em função dos sensores estarem em pontos diferentes num mesmo local (CUNHA; MARTINS, 2004).

Os municípios de Paulistana (r= 0,854), Picos (r= 0,75) e São João do Piauí (r= 0,82) apresentaram correlação classificada como “Muito Alta”. Na mesma categoria, encontrou-se Floriano (r= 0,73) e Parnaíba (r= 0,85), enquanto que as estações de Piripiri, apresentaram correlação ligeiramente inferior (r= 0,67), classificada como “Alta”. Os valores de correlação obtidos foram superiores aos encontrados por Carvalho (2014) em Teresina, Piauí, que foi de 0,57.

À exceção das estações situadas nos municípios de Piripiri (d= 0,79) e São João do Piauí (d= 0,70), a concordância dos dados entre as duas estações foi superior a 0,90 nos demais locais: Floriano (d= 0,92), Paulistana (d= 0,94), Parnaíba (d= 0,90) e Picos (d= 0,94). Valores semelhantes para a concordância dos dados de velocidade do vento foram observados por

Pereira et al. (2008) e Souza, Galvani e Assunção (2003), que foi de 0,91 e 0,86, respectivamente. O pior desempenho para o elemento meteorológico foi registrado entre as duas estações de Piripiri, classificada como “Sofrível”, mesma performance encontrada por Carvalho (2014), em Teresina, Piauí.

6 CONCLUSÕES

Os melhores ajustes dos dados foram constatados para a precipitação e pressão atmosférica; intermediários, para a temperatura do ar, umidade relativa do ar média, e os piores, para a velocidade do vento. A umidade relativa média do ar foi o elemento analisado que mostrou as maiores diferenças entre a EMC e EMA.

7 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. A Embrapa Meio-Norte e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que cederam os dados meteorológicos para a realização deste estudo.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. A.; HERMENEGILDO, G. M. S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencionais e automáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 12, n. 9, p. 32-47, 2013.

ALMEIDA, H. A.; SOUZA, J. A.; ALCÂNTARA, H. M. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.16, n.1, p.58-66, 2008.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, M. W. L. **Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Teresina-PI**. 2014. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 103-111, 2004.

FUNARI, F. L.; PERERA FILHO, A.J. Análise comparativa de medições de variáveis meteorológicas realizadas por estações meteorológicas convencional e automática instaladas no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga - São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.7, n. 7, p. 158-167, 2010.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, Davis, 103, 137-157, 2000.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**: a new view of statistics. Internet Society for Sport Science, Dunedin, 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Estações meteorológicas convencionais e automáticas**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>> e <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: 21 fev. 2015

MAGALHÃES, C. A. S. **Estudo físico-hídrico em lisímetros e comparação de elementos climáticos na região de Lavras, MG**. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MOURA A.D.; LORENZZETTI J.A. Aplicações da meteorologia na agricultura e na pesca. **Boletim da sociedade brasileira de meteorologia**, Santa Maria, v.30, n. 2-3, p. 16-17, 2006.

OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; 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.

PEREIRA, L. M. P.; CAMAONI, P. H.; RICCE, W. S.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina, PR, **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2008.

SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; TURCO, S. H. **Comparação de dados meteorológicos obtidos em estações meteorológica convencional e automática no Submédio São Francisco**. 2004. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/>>. Acessado em: 21 de maio de 2015.

SOUZA, I. A.; GALVANI E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 25, no. 2, p. 203-207, 2003.

TAGLIAFERRE, C.; JESUS SILVA, R. A.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. C.; SILVA, C. S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis, BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R.
Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**,
Delaware, v.90, p.8995-9005, 1985.