

ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR PARA A REGIÃO DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

IUG LOPES¹; JULIANA MARIA MEDRADO DE MELO² E BRAULIRO GONÇALVES LEAL³

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmão, CEP: 52171-900 – Recife, PE. iuglopes@hotmail.com

² Departamento de Agronomia, Universidade do Estado da Bahia, Rua Edgar Chastinet, s/n - São Geraldo, BA, 48905-680 – Juazeiro, BA. medrado.juliana@gmail.com

³ Colegiado de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus Juazeiro, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, CEP: 48.902-300 – Juazeiro, BA. brauliro.leal@univasf.edu.br

1 RESUMO

Dentre as variáveis meteorológicas requeridas para o cálculo do balanço hídrico destacam-se as temperaturas mínimas, médias e máximas do ar, que apresentam uma continuidade no quantitativo de distância e assim permitem de uma maneira mais simples a criação de campos contínuos utilizando métodos de interpolação espacial. O objetivo deste trabalho foi avaliar potências para o método de interpolação do Inverso da Potência da Distância (IPD) na espacialização de valores diários da temperatura no Submédio São Francisco, para os períodos de um ano, das estações do ano (inverno, primavera, verão e outono). Foram obtidos os parâmetros de potência do interpolador Inverso da Potência da Distância das temperaturas mínimas, médias e máximas a partir dos dados medidos em 14 estações meteorológicas automáticas do INMET em operação no Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro. Foram realizadas interpolações para as épocas: anual, inverno, primavera, verão e outono. A variação diária do erro relativo médio obtida, para a época ano, calculado utilizando os dados de temperatura mínima, média e máxima utilizando o valor da potência do interpolador foram iguais a 3,3; 3,4; e 3,4, respectivamente. Os valores de erro médio foram pequenos quando comparados com o erro instrumental.

Palavras-chave: interpolação, validação cruzada, estação meteorológica

**LOPES, I; MELO, J. M. M.; LEAL, B. G.
SPATIALIZATION OF AIR TEMPERATURE TO THE SÃO FRANCISCO LOWER-
MIDDLE REGION**

2 ABSTRACT

Among the meteorological variables required for the calculation of the water balance are the temperatures, which present a continuity in the quantitative distance and thus allow in a simpler way the creation of continuous fields, by means of spatial interpolation methods. The objective of this work was to evaluate the power of the Inverse Distance Power (IPD) in the spatialization of daily values of temperature in the São Francisco lower-middle region, for the one-year periods of the seasons (winter, spring, summer it's fall). The power parameters of the Inverse

Distance Power Interpolator were obtained from the minimum, average and maximum temperatures from the data measured in 14 INMET automatic meteorological stations operating at the Petrolina-Juazeiro Development Pole. Interpolations were performed for annual, winter, spring, summer and fall seasons. The daily variation of the average relative error obtained for the year time, calculated by using the data of minimum, average and maximum temperature by means of the value of the interpolator power were equal to 3.3; 3.4; and 3.4, respectively. The mean error values were small when compared to instrumental error.

Keywords: interpolation, cross-validation, meteorological station

3 INTRODUÇÃO

O Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro constituiu-se como uma sucedida política pública brasileira para o desenvolvimento da irrigação, situado na zona mais árida do Nordeste Brasileiro, às margens do Rio São Francisco, no extremo Oeste de Pernambuco e Norte da Bahia. Atualmente a região possui uma área de cerca de 260.000 hectares irrigados (CODEVASF, 2016).

No Brasil e no mundo o maior usuário de água é a irrigação para a produção de alimentos, com aproximadamente 69% do uso destinado a esta finalidade (BRAGA, 2008). Para manter-se sustentável, em termos ambientais, a agricultura irrigada necessita-se utilizar os recursos hídricos com maior eficiência (ALLEN et al., 1998). Uma das formas de tornar-se mais eficaz é a implantação de manejo de irrigação, que pode estar associada a mudanças de manejos agrícolas e conceitos através do balanço hídrico.

Dentre as variáveis meteorológicas requeridas para o cálculo do balanço hídrico destaca-se a temperatura, que apresenta uma continuidade no quantitativo de distância e assim permitem a criação de campos contínuos utilizando métodos de interpolação espacial (CARDOSO, MARCUZZO & BARROS, 2013). Desta forma pode-se estimar dados de temperatura para locais onde não há disposição de estações meteorológicas ativas.

Segundo Martins e Rosa (2012), dentre os vários métodos de espacialização de dados meteorológicos, o Inverso da Potência das Distâncias (IPD), mostrou-se mais eficaz por não necessitar de uma continuidade espacial, apresentando melhor suavização das isolinhas geradas. Porém não foi possível mensurar as possíveis distorções provocadas pela interpolação. Em estudo de metodologia de espacialização da temperatura o IPD é o mais utilizado, com 63,6% das publicações, seguido da Krigagem (PERIN et al., 2015).

Para verificar o desempenho de métodos é utilizado o processo de validação cruzada, que permite comparar valores estimados e os valores medidos. A diferença entre esses dois valores e o erro de estimação observado, que permite selecionar o melhor modelo de espacialização (CASTRIGNANÒ, 2011).

Sugeridos por Willmott & Matsuura (2006), através do estudo dos erros de dados meteorológicos interpoladas pelo Inverso do Quadrado da Distância, a forma para a avaliação dos erros de interpoladores espaciais são através do Erro Absoluto Médio (MAE) e o Viés Médio (VM). Além da aplicação em meteorologia, existem várias pesquisas que consolidam a verificação em outros campos, por esses dois métodos (DELGADO et al., 2012; BORGES JÚNIOR et al., 2012).

Tendo em vista a importância das variáveis meteorológicas para o cálculo do balanço hídrico e devido à carência de bibliografia relacionadas à espacialização de variáveis meteorológicas para o Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, o objetivo deste trabalho

foi obter os parâmetros de potência para o método de interpolação do IPD, na espacialização de valores diários das temperaturas mínimas, médias e máximas desta região, para o período de um ano, das estações de inverno, primavera, verão e outono.

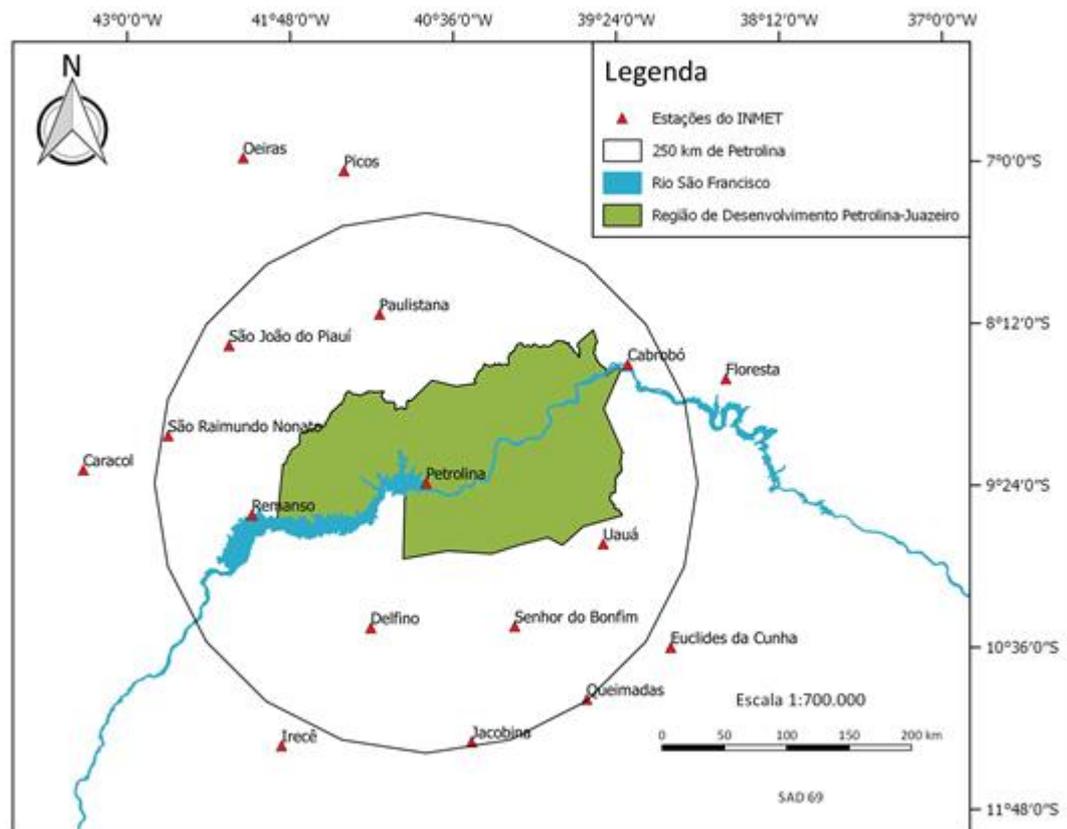
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área estudada do Submédio São Francisco compreende o Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, situado na zona mais árida do Nordeste Brasileiro, às margens do Rio São Francisco, no extremo Oeste de Pernambuco e Norte da Bahia. O pólo conta com uma área de cerca de 260.000 hectares irrigados (CODEVASF, 2014).

A região de estudo, é representada cartograficamente através um círculo de aproximadamente 250 km de raio em torno da cidade de Petrolina-PE (Figura 1), no Semiárido Nordestino.

Figura 1. Área de estudo da espacialização das estações automáticas do INMET utilizadas, com distância de referência da estação de Petrolina-PE.

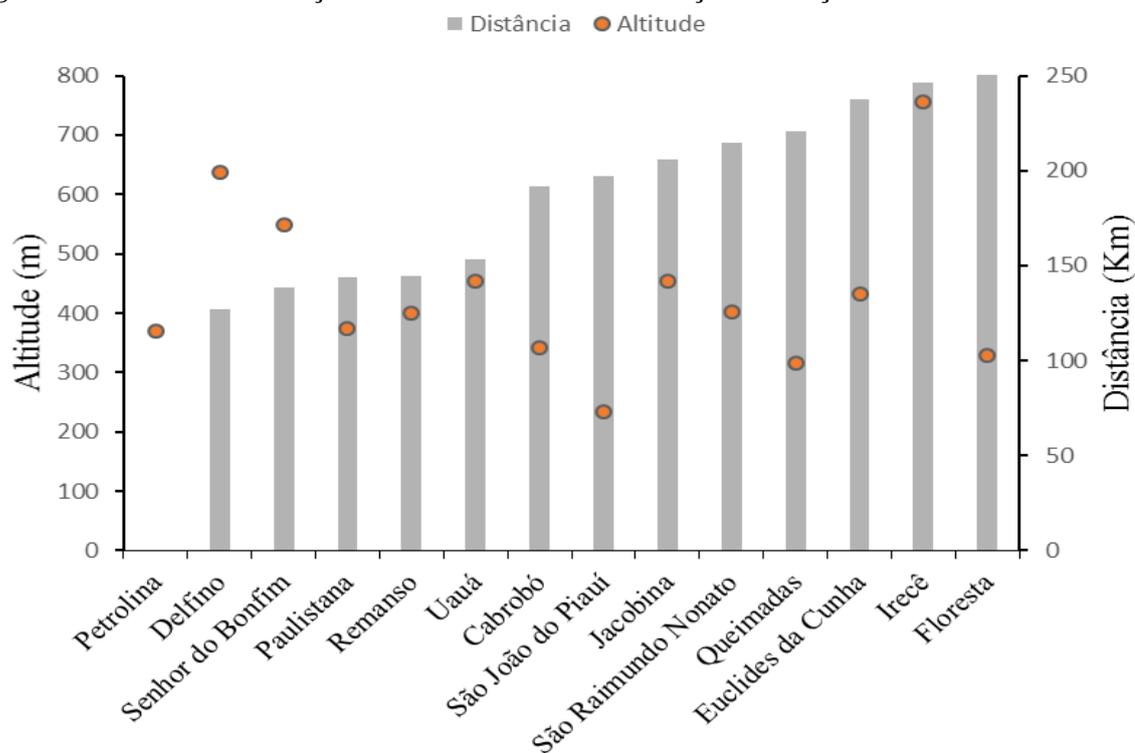


Foram utilizados dados horários de 14 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET em operação na área estudada, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas no trabalho com código, local, Unidade Federativa (UF), Latitude e Longitude.

Código	Local	UF	Latitude (°)	Longitude (°)
A329	Cabrobó	PE	-9,3833	-40,8012
A443	Delfino	BA	-10,4553	-41,2072
A442	Euclides da Cunha	BA	-10,4442	-40,1469
A351	Floresta	PE	-8,1325	-41,1428
A424	Irecê	BA	-9,6189	-42,0831
A440	Jacobina	BA	-9,8336	-39,4956
A330	Paulistana	PI	-8,5036	-39,3144
A307	Petrolina	PE	-8,3647	-42,2508
A436	Queimadas	BA	-11,205	-40,4653
A423	Remanso	BA	-9,0331	-42,7006
A331	São João do Piauí	PI	-10,9847	-39,6171
A345	São Raimundo Nonato	PI	-10,5367	-38,9978
A428	Senhor do Bonfim	BA	-11,3289	-41,8647
A435	Uauá	BA	-8,6103	-38,5922

Na Figura 2 está indicada altitude destas estações e suas distâncias em relação à estação de Petrolina.

Figura 2. Altitude das estações e suas distâncias em relação à estação de Petrolina-PE.

4.2 Períodos estudados

Os valores diários das temperaturas mínima (Tmin), média (Tmed) e máxima (Tmax) foram obtidos a partir dos dados horários das temperaturas medidos nas estações

meteorológicas automáticas. Foram utilizados apenas dias que possuíam pelo menos 18 dados horários válidos. Estes dados foram organizados em dois períodos e cinco épocas cada:

- Primeiro período - de 21/06/2008 a 20/06/2009, com as épocas, ano (21/06/2008 a 20/06/2009), inverno (21/06/2008 a 22/09/2008), primavera (23/09/2008 a 20/12/2008), verão (21/12/2008 a 20/03/2009) e outono (21/03/2009 a 20/06/2009), estes dados foram utilizados para estimar os valores de p destas épocas consideradas;
- Segundo período - de 21/03/2009 a 21/03/2010, estes dados foram utilizados para avaliar o erro do valor da potência, ao estimar dados utilizando os valores de p no primeiro período.

4.3 Estimação dos parâmetros de potência do IPD

Para a espacialização das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias avaliaram-se as potências para o método de interpolação do Inverso da Potência da Distância (IPD). Variou-se o parâmetro de potência de 0,0 a 25,0, com incremento de 0,1. Metodologia também usada por Castro et al. (2010) e Silva et al. (2011).

A metodologia do IPD leva em consideração que o quantitativo da variável, a ser estimado numa posição qualquer, é calculado pelos seus vizinhos e assim ponderados pelo inverso da sua distância elevada a uma potência “ p ”, conforme a Equação 1.

O desempenho do IPD foi determinado utilizando os valores do Erro Absoluto Médio (MAE) (Equação 2) e de Viés Médio (VM) (Equação 3), calculados por meio da técnica de Validação Cruzada (VC) aplicada aos dados do primeiro período.

$$f_e(r) = \frac{\sum_{i=1}^n d(r, r_i)^{-p} f_m(r_i)}{\sum_{i=1}^n d(r, r_i)^{-p}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_m(r_i) - f_e(r_i)| \quad (2)$$

$$VM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f_m(r_i) - f_e(r_i)] \quad (3)$$

Em que,

- | | | |
|-------------|---|---|
| $f_e(r)$ | - | valor estimado de f no vetor posição r , |
| $f_m(r_i)$ | - | valor medido de f no vetor posição r_i , |
| n | - | número total de pontos conhecidos e utilizados na interpolação, |
| $d(r, r_i)$ | - | distância euclidiana entre os vetores r e r_i , e |
| p | - | parâmetro de potência. |

Na elaboração da VC, os valores calculados com dados de menos de 10 estações meteorológicas automáticas foram desconsiderados. Nesta etapa foram obtidos os valores da potência das épocas ano, inverno, primavera, verão e outono.

Realizou-se a validação cruzada dos dados, segundo a metodologia de Robinson & Metternicht (2006) e Amorim, Ribeiro & Leal (2008). Essa metodologia consiste em descartar

um ponto de medida e sucessivamente a realização da interpolação, sendo possível obter o valor estimado (E) relativo ao retirado e desta forma pode-se compará-lo com o valor real da variável (O).

4.4 Avaliação do valor de p

O valor de p da época ano, obtido com os dados do primeiro período, foi avaliado utilizando os dados do segundo período por meio dos valores do erro relativo médio diário, conforme definido a seguir:

- erro relativo das temperaturas mínimas, médias e máximas diária (er_{dia}), o erro relativo calculado a partir dos valores das temperaturas mínimas, médias e máximas diários estimados (X_e) e valores de das temperaturas mínimas, médias e máximas diários medidos (X_m) em uma estação meteorológica, Equação 4.
- erro relativo médio das temperaturas mínimas, médias e máximas diária (er_{med}), a média aritmética de er_{dia} de um conjunto de estações meteorológicas, Equação 5.

$$er_{dia} = \frac{X_m - X_e}{X_m} \quad (4)$$

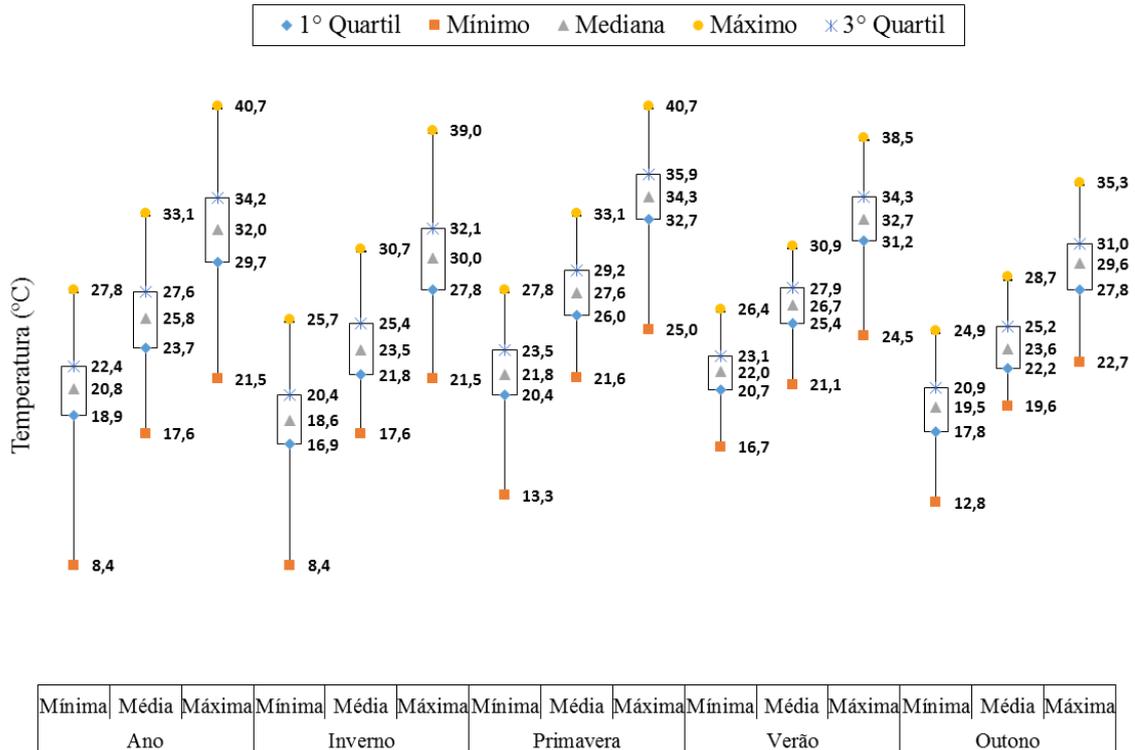
$$er_{med} = \text{média}\{er_{dia}\} \quad (5)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos dados de temperatura

Do primeiro período foram utilizados 4494, 4913 e 4537 valores de temperatura mínima, média e máxima, respectivamente, calculados utilizando dados horários (convertidos em diários) medidos nas estações meteorológicas da Tabela 1. Os valores mínimos, médio, mediana, máximo, primeiro quartil (Q1/4) e terceiro quartil (Q3/4) dos dados utilizados por época do primeiro período estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Boxplot dos dados de temperatura mínima, média e máxima utilizados nas épocas ano, inverno primavera, verão e outono do primeiro período.



Pode-se verificar na Figura 3, que os valores de temperatura mínima, média e máxima do primeiro período variaram de 8,4 a 27,8; de 17,6 a 33,1; e de 21,5 a 40,7 °C, respectivamente, com medianas e desvios padrão igual a 20,8, 25,8 e 32,0; e 2,53, 2,57 e 3,18, na mesma sequência.

O desvio padrão e o número de dados utilizados estão apresentados na Tabela 2. Pode-se verificar que a variação do desvio padrão (s) foi pequena entre os períodos (anual, inverno, primavera, verão e outono) e as temperaturas (mínima, média e máxima), os números de dados utilizados variaram conforme a disponibilidade de dados coletadas.

Tabela 2. Estatísticas das temperaturas diárias mínimas, médias e máximas do primeiro período e suas épocas: desvio padrão (s) e número de dados utilizados (n)

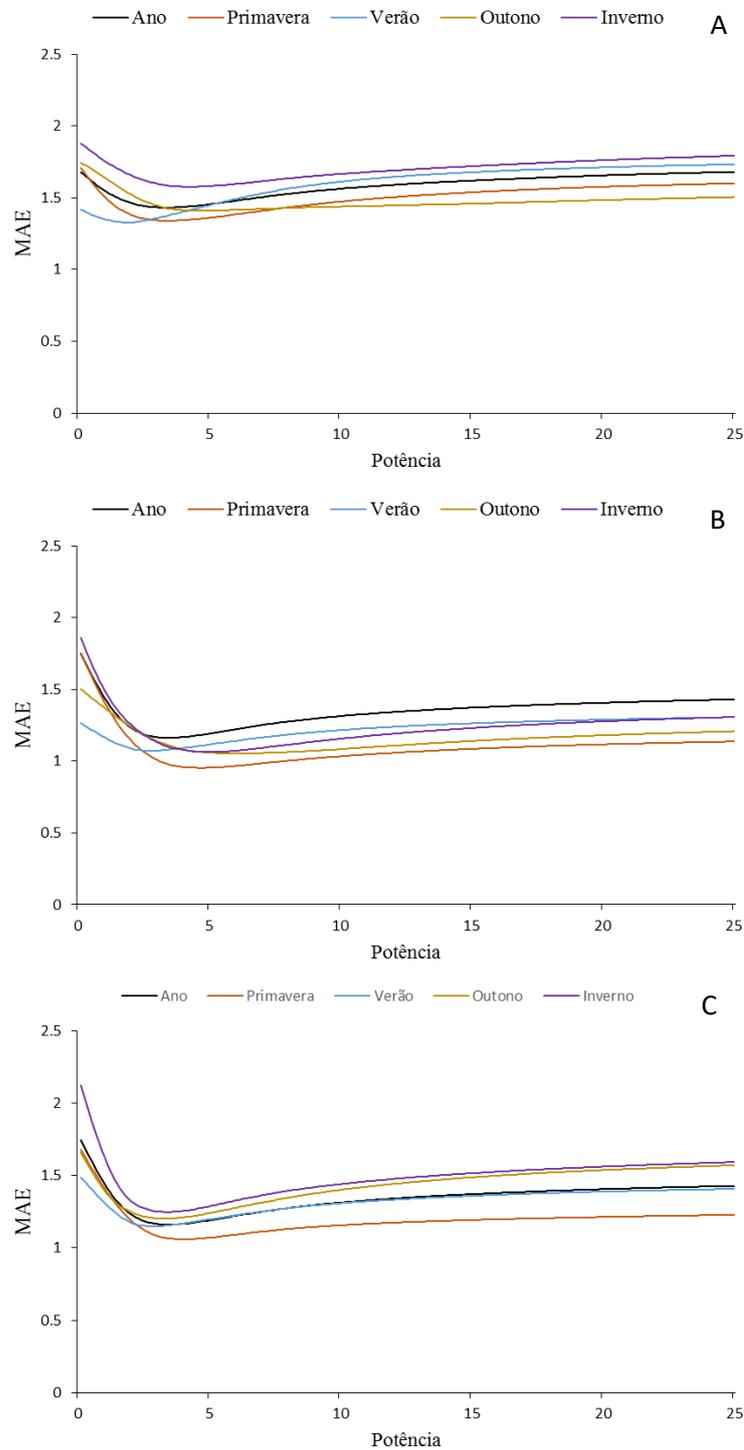
Primeiro Período	Temperatura (°C)					
	Mínima		Média		Máxima	
	s	n	s	n	s	n
ano	2,53	4494	2,57	4913	3,18	4537
inverno	2,49	1118	2,47	1188	3,03	1147
primavera	2,31	1114	2,25	1209	2,43	1106
verão	1,81	1116	1,65	1235	2,15	1119
outono	1,90	1146	1,91	1281	2,73	1165

Fonte: Próprio autor (2017)

5.2 Estimação da potência

Nas Figuras 4A, 4B e 4C pode-se observar a variação de Erro Absoluto Médio (MAE) em função de potência nas épocas e período estudado. A variação do MAE foi similar nas épocas, com uma tendência de valor inicial mais elevado, acompanhado por uma sutil redução até um valor mínimo, seguido de um crescimento moderado.

Figura 4. Erro Absoluto Médio absoluto das potências utilizadas e nas épocas ano, inverno primavera, verão e outono do primeiro período, para temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C).



Os valores mínimos de MAE para temperatura mínima foram 1,43, 1,57, 1,33, 1,32 e 1,41 para a época anual, inverno, primavera, verão e outono, respectivamente, com os correspondentes valores de p iguais a 3,3, 4,3, 3,5, 1,9 e 4,7. Para a mesma sequência de épocas, os valores de MAE para temperatura média foi de 1,16, 1,06, 0,95, 1,07 e 1,05 com os

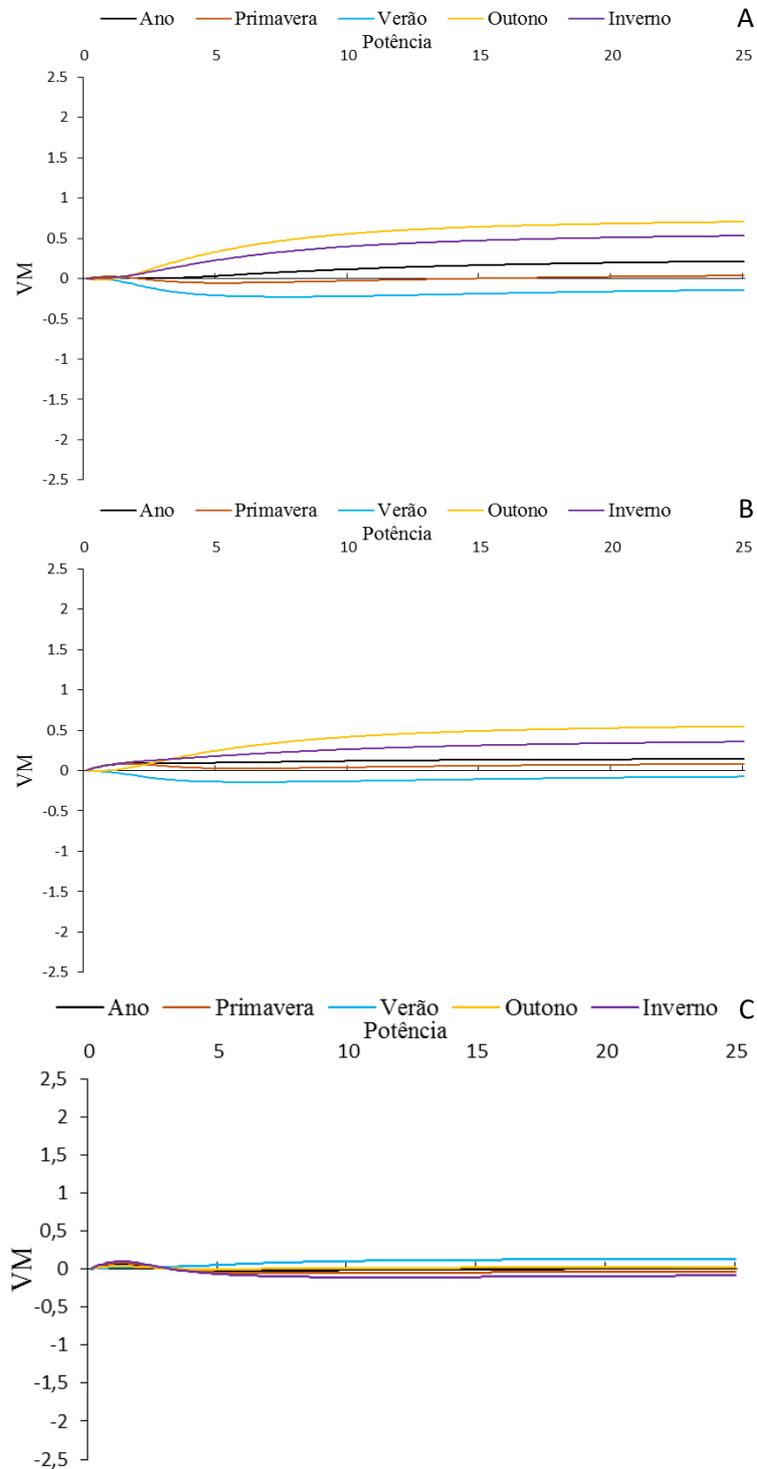
correspondentes valores de p, 3,4, 5,0, 4,6, 2,7 e 5,9. Seguindo com os valores de MAE para temperatura máxima, observa-se 1,05, 1,10, 0,98, 1,05 e 1,06 com os correspondentes valores de p, 3,3, 3,4, 3,8, 3,0 e 3,0. De maneira geral visualiza-se que nos resultados obtidos houve pequena influência da sazonalidade nas escalas temporais consideradas.

Os valores de p obtidos utilizando MAE, por serem maiores que 1,0, indicam uma maior influência dos valores mais próximos ao ponto interpolado (BOOTH, 2001).

As aplicações dos melhores valores de potência são de fundamental importância para a qualidade da obtenção de dados de temperatura para locais que não possuem estações, por conseguinte são essenciais para o manejo da irrigação, visto que a área não dispõe de um quantitativo maior de estações meteorológicas públicas. Além do que a espacialização da temperatura do ar pode contribuir para verificações da percepção de mudanças climáticas ao longo tempo, em locais que não dispõe de dados meteorológicos, como foi estudado por Silva e Azevedo (2008) as variações na temperatura e outros elementos climáticos.

Nas Figuras 5A, 5B e 5C constam a variação de VM em função de p nas épocas e período estudado, para temperaturas mínima, média e máxima, respectivamente. Para a mínima, a variação geral do VM não foi similar nas épocas, com valores iniciais próximos, acompanhado por um aumento acentuado até um valor máximo para outono e inverno, para verão e primavera aconteceu uma diminuição até um valor mínimo local e em seguida um crescimento moderado. A curva de ano foi a intermediária com uma pequena oscilação de VM, apresentando um valor mínimo no início e acrescentando um valor gradativo até a potência de 25.

Figura 5. Viés Médio absoluto das potências utilizadas e nas épocas ano, inverno primavera, verão e outono do primeiro período, para temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C).



Para temperatura média, seguiu o mesmo padrão de distribuição das curvas da mínima, com apenas um acréscimo de valores

A melhor medida de desempenho para avaliar os erros médios de interpolação espacial de parâmetros meteorológicos na região e no período estudado é a comparação do

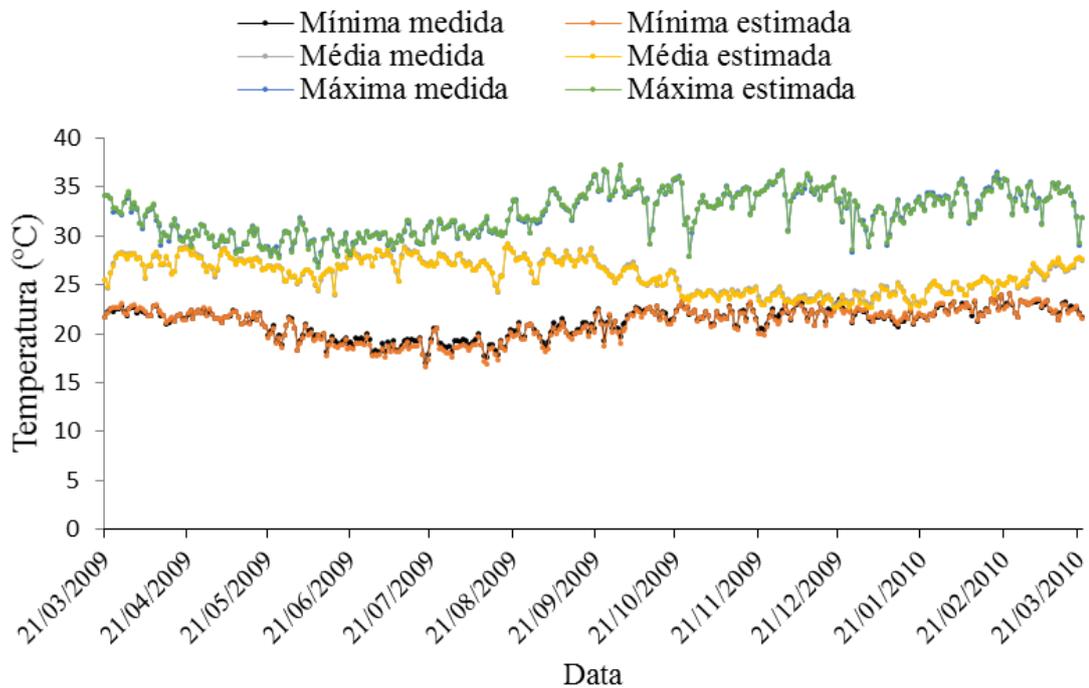
comportamento de MAE e VM. Permite inferir que o MAE, por ter um comportamento semelhante para as épocas e apresentar um único ponto de mínimo, está de acordo com o metodologia descrita por Willmott e Matsuura (2006).

5.3 Desempenho do valor da potência estimada

A eficiência do método de interpolação para aplicação no parâmetro temperatura na Região de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro pode ser observada nas Figuras 6 e 7, onde visualiza-se a diferença mínima entre os valores estimados.

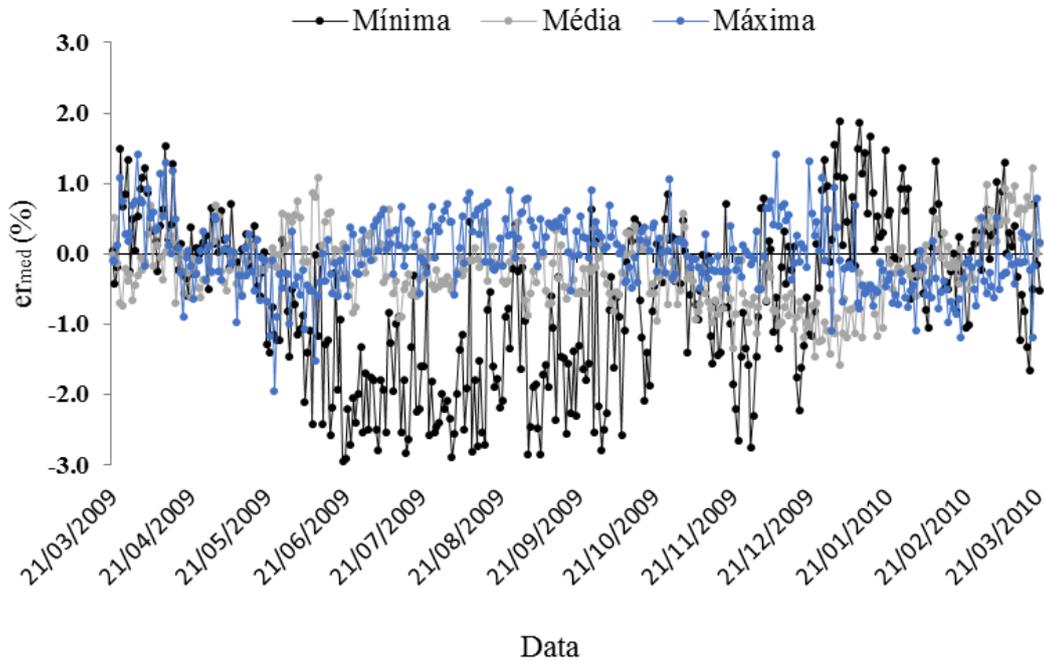
Essa precisão na metodologia também já foi verificada por Perin et al. (2015), concluindo que o método de interpolação é eficiente na estimativa da temperatura, apesar de ser vasta a utilização de metodologias para aquisição de temperatura especializada.

Figura 6. Temperaturas mínimas, médias e máximas medidas e estimadas para o segundo período.



Na Figura 7 consta a variação diária do erro relativo médio (er_{med}) calculado utilizando os dados de temperatura mínima, média e máxima do segundo período utilizando o valor de p obtido para a época ano, $p = 3,3$, $p = 3,4$ e $p = 3,4$, para as respectivas temperaturas. Nesta figura pode-se observar que a variação de er_{med} é de natureza aleatória, com uma pequena tendência de queda. De modo geral os valores de er_{med} foram pequenos, para temperatura mínima variou de -2,9 a 1,9% e média de -0,7%, para temperatura média variou de -1,6 a 1,2% e média de -0,2%, para temperatura máxima variou de -2,0 a 1,0% e média de 0,0%. Esses valores que já são pequenos, ainda podem estar relacionados a faixa de precisão do sensor, que varia de -0,58 a 0,50% (VAISALA, 2011).

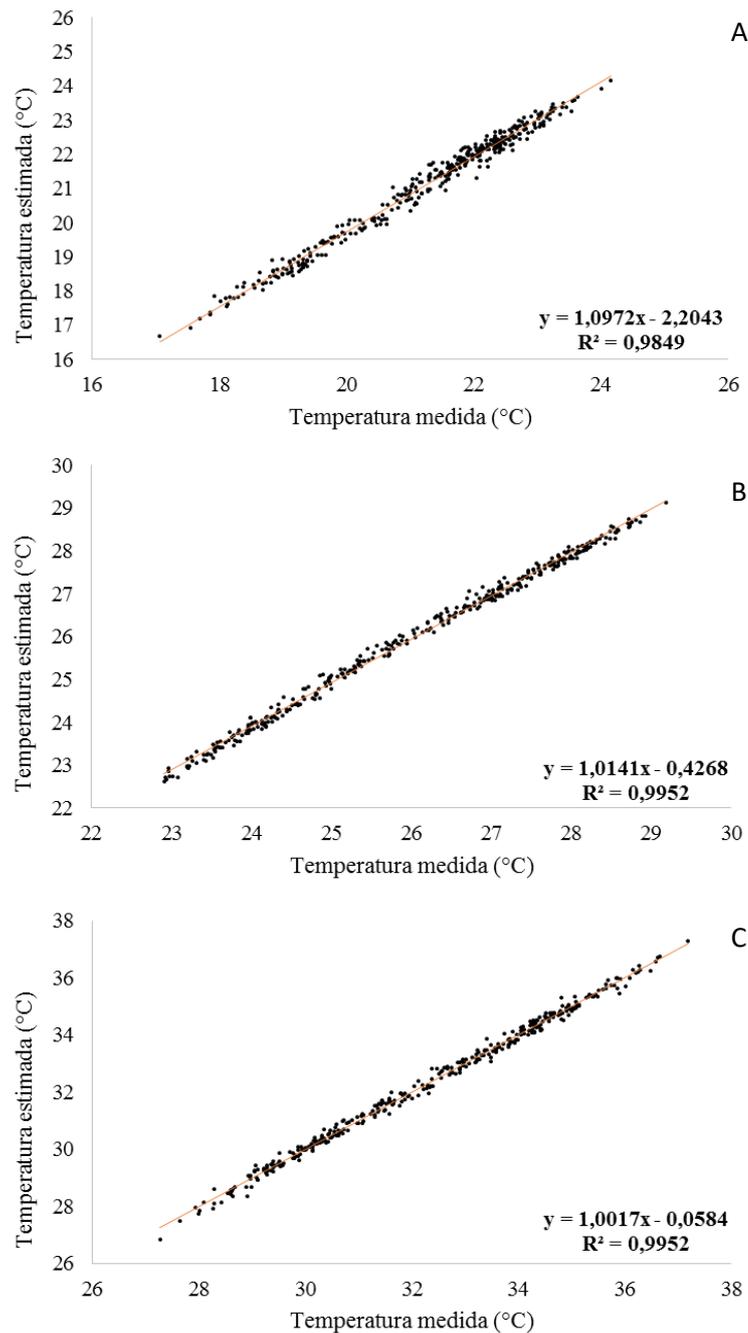
Figura 7. Erro médio entre valores medidos e estimados para o segundo período, para temperatura mínima, média e máxima.



Quanto a correlação entre os dados de temperatura medida e estimada (Figura 8A, 8B, 8C), mais uma vez fica notório a eficiência da aplicação da interpolação para os dados de temperatura mínima, média e máxima para a região.

Embora as estações meteorológicas estejam distantes uma das outras, pode-se observar uma grande concordância entre os valores medidos e estimados das temperaturas utilizando os dados do segundo período, nas Figuras 8A, 8B e 8C, com $R^2 = 98,49\%$, $R^2 = 99,52\%$ e $R^2 = 99,52\%$.

Figura 8. Erro médio entre de temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C) medida e estimada para o segundo período.



Fonte: Próprio autor (2017)

Os resultados encontrados com elevados valores de correlação dos valores das temperaturas medidas e estimadas não foram observados nos trabalhos de Castro et al. (2010) e de Cecílio et al. (2012). Esse resultado distinto para interpolação de dados climáticos que subsidiam o Balanço Hídrico Climatológico por IQD, pode estar relacionado a escolha da melhor potência para o método, cujo os autores variaram a potência em valor unitário até 4, enquanto o atual estudo variou de forma decimal até a potência 25.

Os resultados obtidos com a interpolação das 14 estações permitem a criação de mapas temáticos para o Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, ou seja, a demonstração das temperaturas para um raio de 250 Km da cidade de Petrolina. Desta forma, porém com menor precisão, foi realizado por Medeiros et al. (2005), que ajustaram equações de regressão para estimativa das temperaturas mínimas, médias e máximas mensais e anual, sendo possível elaborar mapas temáticos das temperaturas para a região nordeste do Brasil.

Uma possível aplicação desses dados obtidos pode ser a estimativa das temperaturas máximas e mínimas em regiões com produção agrícola sensível a mudanças meteorológicas abruptas, a exemplo do estudo realizado por Bardin, Pedro Júnior & Morais (2010), que obtiveram a estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para uma determinada região agrícola do estado de São Paulo e assim fornecendo subsídios para um melhor planejamento agropecuário de regiões agrícolas.

6 CONCLUSÕES

Foram estimados os valores da potência (p) do inverso da potência da distância para a interpolação das temperaturas no Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, utilizando validação cruzada e erro absoluto médio. Os valores de p obtidos para temperatura mínima corresponderam a 3,3, 4,3, 3,5, 1,9 e 4,7 para ano, inverno, primavera, verão e outono, respectivamente. Na mesma sequência de épocas, para temperatura do ar média foi de 3,4, 5,0, 4,6, 2,7 e 5,9. E para temperatura do ar máxima, 3,3, 3,4, 3,8, 3,0 e 3,0.

O erro absoluto médio foi a melhor medida de desempenho do inverso da potência da distância para a espacialização das temperaturas no Pólo Petrolina-Juazeiro. Os valores de erro médio foram pequenos comparados com o erro instrumental.

Estudos posteriores devem ser realizados a maximizar o conhecimento da potência da espacialização do balanço hídrico climatológico no Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, a fim de tornar um subsídio para auxílio na tomada de decisões na irrigação pelos agricultores nos perímetros irrigados que estão presentes nessa área.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.319 p.

AMORIM, R. C. F. E.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Avaliação do comportamento de variáveis meteorológicas espacializadas em áreas de relevo ondulado na bacia do Rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 16, p. 19-26, 2008.

BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MORAIS, J. F. L. Estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 6, p. 618–624, 2010.

BOOTH, B. **Using ArcGis 3D Analyst**. New York: ESRI Press, 2001. 220 p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de

Garanhuns, PE. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande-PB, v. 16, p. 380-390, 2012.

BRAGA, P. F. Gestão de águas no Brasil. **Scientific American Brasil**, São Paulo-SP, n. 70, p. 38-41, 2008.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Caracterização da temperatura do ar no Estado do Goiás e no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba-PR, v. 11, p. 119-134, 2013.

CASTRIGNANÒ, A. **Introduction to spatial data processing**. Roma: Aracne, 2011. 108 p.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 7, p. 871-880, 2010.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, K. R.; XAVIER, A. C. X.; PEZZOPANE, J. R. M. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 47, p. 478-488, 2012.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA – CODEVASF. Projetos de Irrigação no Vale do São Francisco. Petrolina-PE, 2014. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/publicacoes/publicacoes-atuais/pdf/projetos-de-irrigacao-no-vale-do-sao-francisco-documento-elaborado-pelos-tecnicos-da-codevasf.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. **Revista Engenharia Agrícola**, Viçosa-MG, v. 32, n. 2, p. 369-380, 2012.

MARTINS, A. P.; ROSA, R. Caracterização climática da bacia do rio Paranaíba a partir da rede de estações de superfície automática do INMET (2001-2011), utilizando ferramentas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, Manaus-AM, v. 2, n. 5, p. 1303-1316, 2012.

MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA JÚNIOR, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. **Geografia**, Rio Claro-SP, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.

ROBINSON, T. P.; METTERNICHT, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdã, v. 50, n. 2, p. 97-108, 2006.

SILVA, G. B.; AZEVEDO, P. V. Índices de tendências de mudanças climáticas no Estado da Bahia. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinha-SP, v. 5, n. p. 3, 2008.

SILVA, K. R ; CECILIO, R. A. ; XAVIER, A. C. ; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santo. **FLORAM: Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro-RJ, v. 18, p. 417-427, 2011.

VAISALA. Transmissor climático Vaisala WXT520. Vanta, 2008. Disponível em: <<http://br.vaisala.com/br/products/multiweathersensors/Pages/WXT520.aspx>>. Acesso em: 23 jul. 2011.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. **International Journal of Geographical Information Science**, Dallas, v. 20, n. 1, p. 89-102, jan. 2006.