

ANALISE COMPARATIVA DA ESPACIALIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS DO AR UTILIZANDO METODOS GEOESTATÍSTICO E REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Kennedy Ribeiro da Silva¹; Roberto Avelino Cecílio²; Julião Soares de Souza Lima³; Edvaldo Fialho dos Reis⁴

¹CCA-UFES /Dep Engº Florestal, kennedyfloresta03@hotmail.com

²CCA-UFES /Dep Engº Florestal, r_cecilio@hotmail.com

³CCA-UFES /Dep Engº Florestal,

Resumo- A interpolação espacial e o uso de Redes Neurais Artificiais estão se tornando cada vez mais freqüente nas análises de elementos meteorológicos, como é o caso das temperaturas do ar. Este trabalho utilizou dados relativos às temperaturas do ar máximas, médias e mínimas mensais, obtidas em 17 estações meteorológicas do Estado do Espírito Santo a fim de avaliar o desempenho de diferentes métodos de interpolação e Redes Neurais Artificiais para a estimativa das temperaturas do ar no Estado. Avaliaram-se os seguintes métodos de interpolação: Krigagem Esférica, Exponencial e Linear. Verificou-se que os interpoladores apresentaram desempenho insatisfatório (baixo índice de confiança). As Redes Neurais Artificiais obtiveram menores erros quadráticos médios e maiores valores do índice de confiança, sendo indicadas para estimativa das temperaturas em substituição aos interpoladores.

Palavras-chave: altitude, interpoladores, memória artificial.

Área do Conhecimento: CIÊNCIAS AGRÁRIAS – (Recursos Florestais e Engenharia Florestal)

Introdução

Dentre os elementos que compõem o clima, a temperatura do ar é aquele que mais significativamente influencia nos processos fisiológicos que ocorrem em animais e plantas. O crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais são fortemente influenciados por este elemento, o que conduz a produtividade agrícola a estar intimamente associada às variações térmicas. O conhecimento da temperatura do ar é, desta forma, fundamental para a condução de estudos de planejamento agrícola, de uso do solo, de classificação ecológica, e de zoneamentos de aptidão climática das culturas (Valeriano & Picini, 2000; Oliveira Neto et al., 2002).

Com intuito de suprir essa necessidade, utilização de métodos tradicionais de interpolação espacial está se tornando cada vez mais freqüente em análises que envolvem elementos meteorológicos, em função de que, atualmente, diversos *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG's), disponibilizam vários destes métodos. Até o momento, não existe consenso a respeito de um método de interpolação que seja o melhor para diversas condições climáticas, fazendo com que seja importante determinar o melhor método para cada circunstância (Lennon e Turner, 1995). Em

alguns casos, como na estimativa das temperaturas do ar, tem se optado pela utilização das Redes Neurais Artificiais que possibilitam a estimativa dos valores médios mensais das

variáveis climáticas em função da latitude, longitude e altitude do local de interesse.

Do exposto o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de diferentes interpoladores e equações de regressão aplicados na estimativa das temperaturas do ar, mínimas, médias e máximas mensais para o Estado do Espírito Santo.

Materiais e Métodos

Utilizaram-se séries históricas de temperaturas do ar máximas, médias e mínimas – mensais – com extensão de 23 anos (1982-2005), obtidas de 13 postos meteorológicos do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) e quatro do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizados no Espírito Santo.

A krigagem é um procedimento de inferência espacial estocástico que apresenta uma etapa geoestatística de análise variográfica anterior aos procedimentos inferenciais onde a estrutura de covariância espacial é modelada (Fuks, 1998).

A modelagem do semivariograma procedeu com a introdução dos parâmetros de entrada como latitude, longitude e o valor da temperatura local. Deste modo foi obtido o semivariograma, o qual é formado por uma série de valores sobre os quais se deseja ajustar uma função.

Os métodos de interpolação espacial utilizados foram: Krigagem Esférica (KRG_ES), Exponencial (KRG_EX), e Linear (KRG_LI).

A estimativa dos valores interpolados para cada estação foi realizada por meio da metodologia proposta por Caruso e Quarta (1998), em que, para a realização da interpolação, um posto especificado é extraído. Assim é possível obter o valor estimado do posto retirado e posteriormente compará-lo com o valor real da variável. Esta metodologia foi empregada separadamente para os 17 postos.

Também se avaliou a estimativa das temperaturas feita pelas Redes Neurais Artificiais (RNAs), aplicadas aos 17 postos deste estudo, utilizando-se seus valores de latitude, longitude e altitude.

Seguindo o procedimento idealizado por Moreira et al. (2005), o treinamento deu-se por meio do software NeuroSolutions®, sendo as RNAs do tipo retroalimentadas com arquitetura 3-n₁-n₂-1: um vetor de entrada com três variáveis, duas camadas intermediárias com n₁ e n₂ neurônios artificiais e um neurônio na camada de saída. O vetor de entrada foi composto pelos valores da latitude e da longitude de cada estação, em graus decimais, bem como pelo valor de sua altitude, em metros. No neurônio da camada de saída empregou-se uma função de ativação linear para fornecer o valor da temperatura (°C) referente à estação representada pelo vetor de entrada.

O desempenho dos interpoladores e das RNAs foi avaliado por intermédio do índice de confiança (c), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), (Tabela 1), que permite analisar conjuntamente a precisão e a exatidão dos resultados obtidos, sendo calculado pelo produto do coeficiente de correlação (r) e do índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981) (equação 1). Também se utilizou a raiz do erro quadrático médio (REQM) (equação 2).

Tabela 1. Análise de desempenho do modelo com base no índice de confiança

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	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (1)$$

$$REQM = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}}{N} \quad (2)$$

N = número total de postos;

O_i = valor da temperatura do ar observado na estação i, em °C; e

E_i = valor da temperatura do ar estimado para a estação i, em °C.

Resultado e discussão

Na Tabela 2, são apresentados os valores de REQM e c obtidos. Menores valores de REQM associados a maiores valores de c indicam melhor desempenho da metodologia de estimativa das temperaturas (interpoladores ou RNAs).

Verifica-se pela tabela 2 que, avaliando-se apenas os interpoladores, a Krigagem esférica obteve menores valores de REQM e maiores valores de c quando aplicado na estimativa das temperaturas médias, mínimas e máximas, possuindo melhor desempenho. Todavia, a baixa magnitude dos valores de c (inferiores a 0,57), ainda classifica-os como de desempenho sofrível (Tabela 1).

Observa-se que as Redes Neurais Artificiais, apresenta em grande parte dos casos (temperaturas mensais médias, mínimas e máximas), menores valores de REQM e maiores valores de c que alguns dos interpoladores avaliados.

A superioridade das Redes Neurais Artificiais deve-se ao fato de que estas, diferentemente dos interpoladores, utilizam-se da altitude de cada posto para a estimativa da temperatura, pois a topografia é sabidamente fator de extrema influência na magnitude assumida por este elemento climático (Pereira et al., 2002).

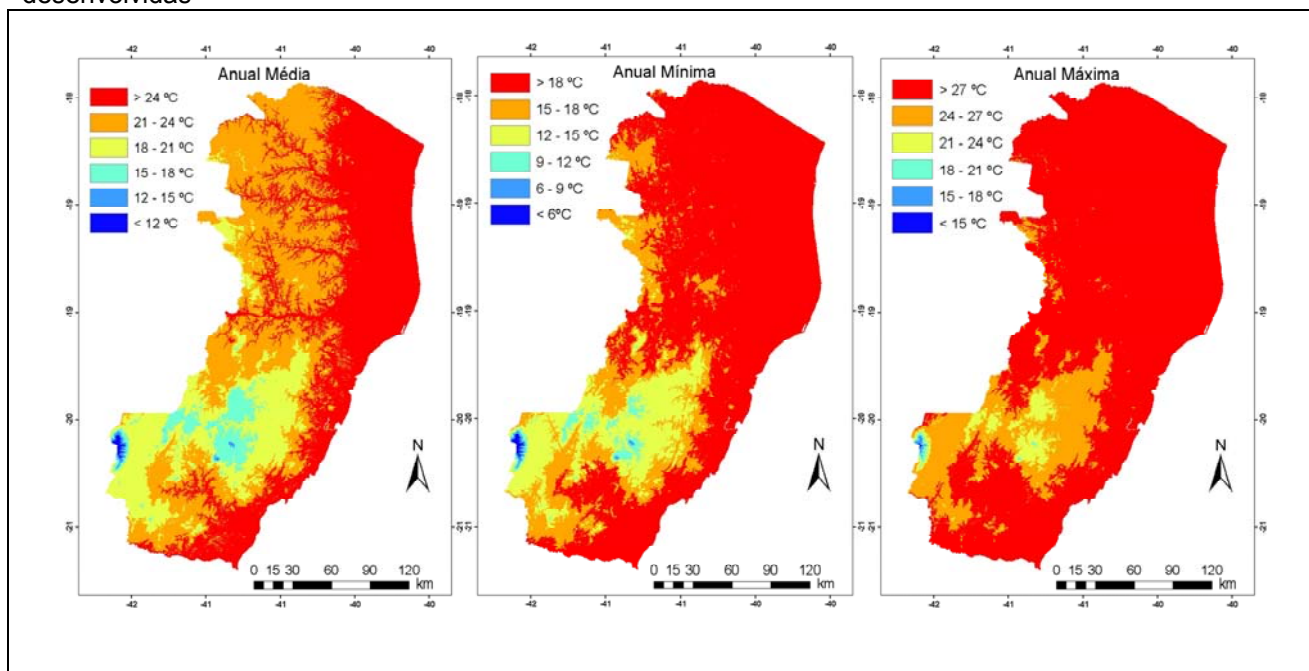
A figura 1 apresenta os mapas de distribuição térmica anual das temperaturas médias, mínimas e máximas do Estado do Espírito Santo, obtidos através das RNAs. Verifica-se que as temperaturas médias variaram entre 12 °C e 24°C (Figura 1), com temperaturas extremamente baixas na serra do Caparaó. As maiores temperaturas foram evidenciadas na região norte e litorânea, justificando o plantio, nestas áreas, de café conilon, mamão papaya e eucalipto.

Com relação às temperaturas mínimas, verifica-se que houve grande variação entre a região litorânea (região de baixas altitudes) e a região serrana demonstrando, com valores entre 6°C e 18°C.

Tabela 2 – Valores de C e REQM obtidos pelos diferentes metodos de estimativa das temperaturas do ar

	KRG_SHF		KRG_EXP		KRG_LIN		RNAs	
	c	REQM	c	REQM	c	REQM	c	REQM
Temperatura Média								
JANEIRO	0,20	1,84	0,18	1,92	0,00	2,03	0,44	1,65
FEVEREIRO	0,19	1,86	0,21	1,88	-0,03	2,20	0,40	1,67
MARÇO	0,12	1,92	0,14	1,95	-0,02	2,13	0,37	1,78
ABRIL	0,28	1,97	0,26	2,06	-0,22	2,27	0,39	1,94
MAIO	0,18	2,07	0,19	2,08	-0,04	2,45	0,41	2,22
JUNHO	0,21	2,31	0,22	2,33	-0,13	2,45	-0,01	3,07
JULHO	0,10	2,36	0,11	2,41	-0,02	2,52	0,38	2,11
AGOSTO	0,09	2,35	0,11	2,35	-0,02	2,51	0,36	2,10
SETEMBRO	0,08	2,14	0,08	2,18	-0,02	2,28	0,40	2,28
OUTUBRO	0,11	1,97	0,10	2,03	-0,01	2,10	0,29	2,04
NOVEMBRO	0,16	1,77	0,17	1,80	-0,02	2,02	0,50	1,65
DEZEMBRO	0,21	1,73	0,20	1,80	-0,03	2,05	0,47	1,63
ANUAL	0,13	2,10	0,14	2,04	-0,02	2,22	0,44	2,08
Temperatura Mínima								
JANEIRO	0,14	2,07	0,25	1,96	-0,04	6,12	0,44	1,77
FEVEREIRO	0,15	2,20	0,28	2,06	-0,02	11,36	0,39	2,11
MARÇO	0,15	2,11	0,28	1,97	0,01	253,86	0,40	2,02
ABRIL	0,52	1,92	0,52	1,93	0,14	16,27	0,39	2,18
MAIO	0,41	1,90	0,41	1,91	0,01	18,96	0,38	2,28
JUNHO	0,54	2,22	0,54	2,22	-0,25	51,73	0,26	2,76
JULHO	0,34	2,30	0,34	2,29	0,00	85,93	0,25	2,80
AGOSTO	0,25	2,39	0,29	2,33	-0,02	17,18	0,36	2,51
SETEMBRO	0,14	2,16	0,24	2,05	-0,08	4,70	0,34	2,34
OUTUBRO	0,18	1,95	0,27	1,86	-0,06	4,89	0,41	1,78
NOVEMBRO	0,20	1,85	0,30	1,75	-0,07	4,46	0,39	1,67
DEZEMBRO	0,26	1,67	0,36	1,56	0,11	23,05	0,39	1,71
ANUAL	0,30	1,98	0,32	1,96	-0,01	34,55	0,38	1,93
Temperatura Máxima								
JANEIRO	0,32	1,62	0,35	1,65	-0,02	4,19	0,57	1,39
FEVEREIRO	0,20	1,80	0,19	1,93	-0,04	2,21	0,49	1,54
MARÇO	0,24	1,81	0,24	1,88	-0,04	2,39	0,40	1,69
ABRIL	0,36	1,85	0,31	1,97	-0,16	2,19	0,36	2,20
MAIO	0,26	1,76	0,26	1,83	-0,02	2,24	0,40	1,99
JUNHO	0,43	1,70	0,39	1,78	-0,06	2,05	0,37	2,03
JULHO	0,21	1,79	0,19	1,88	-0,02	2,12	0,37	1,80
AGOSTO	0,13	1,90	0,11	2,02	0,00	2,06	0,36	1,88
SETEMBRO	0,12	1,89	0,10	2,03	-0,01	2,03	0,47	1,64
OUTUBRO	0,07	1,98	0,07	2,13	0,00	2,05	0,43	1,90
NOVEMBRO	0,14	1,75	0,12	1,90	-0,02	1,94	0,38	1,71
DEZEMBRO	0,18	1,77	0,17	1,90	-0,03	2,11	0,33	2,32
ANUAL	0,20	1,79	0,18	1,88	-0,02	2,07	0,03	1,78

Figura 1 - Espacialização das temperaturas do ar, para o Estado do Espírito Santo, utilizando as RNAs desenvolvidas



Conclusão

1) As Redes Neurais apresentaram melhor desempenho para estimativa das temperaturas do ar no Estado do Espírito Santo.

2) O interpolador krigagem esférico, por ser estatisticamente ótimo, apresenta melhor resultado que os demais interpoladores que ignoram a dependência espacial entre observações, usados neste estudo.

3) As RNAs desenvolvidas foram capazes de espacializar as temperaturas do ar sem a presença de grandes desvios na estimativa das temperaturas nas regiões mais altas do Estado (Caparaó).

Referências

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

- CARUSO, C.; QUARTA F. Interpolation Methods Comparison. **Computers Mathematical Application**. v.35, p. 109-126, 1998

- Fuks, S. D. Novos Modelos para mapas derivados de informações de solos. In: In: Assad, E. D.;Sano, E. E. **Sistemas de informações geográficas. Aplicações na agricultura**. Embrapa-SPI/Embrapa Cerrados, Brasília, 1998.

- LENNON, J.J.; TURNER, J.R.G. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. **J. Anim. Ecol.**, n. 64, p.670-392, 1995.

PEREIRA, R.A.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações**. Ed. Agropecuária: Guaíba, 2002. 478p.

- OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; COSTA, J.M.N. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.57-61, 2002.

- VALERIANO, M.M.; PICINI, A.G. Uso de Sistema de Informações Geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.2, p.255-262, 2000

- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.