

USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA A ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS DO AR MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, MENSAIS E ANUAIS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Kennedy Ribeiro da Silva

Mestrando em Ciências florestais pela UFES
kennedyfloresta03@hotmail.com

Roberto Avelino Cecílio

Prof. Dr. em Engenharia Agrícola da UFES
rcecilio@yahoo.com.br

RESUMO

O conhecimento da temperatura do ar é fundamental para a condução de estudos de planejamento agrícola, de uso do solo, de classificação ecológica, e de zoneamentos de aptidão climática das culturas. O objetivo do trabalho é desenvolver RNA's capazes de prover estimativas das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas, em escalas mensais e anuais. A área de estudo compreende o estado do Espírito Santo, localizado na região sudeste do Brasil. As RNA's desenvolvidas, no geral, não apresentaram bom desempenho. Na distribuição térmica para o estado do Espírito Santo pode se verificar que as temperaturas médias variaram entre 15 °C e 27°C, com maiores temperaturas máximas nas regiões norte e litorânea. Com relação às temperaturas mínimas, verifica-se que houve grande variação entre a região litorânea e a região serrana demonstrando valores entre 12°C e 21°C.

Palavra chave: altitude, planejamento agrícola, estações meteorológicas

USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO ESTIMATE AIR TEMPERATURES AVERAGE, MAXIMUM AND MINIMUM, MONTHLY AND ANNUAL IN ESPÍRITO SANTO STATE

ABSTRACT

Knowledge of the air temperature is essential for the conduct of studies of agricultural planning of soil use of ecological classification and zonings of climatic suitability of crops. The objective is to develop RNA's able to provide estimates of minimum air temperatures, average and maximum in monthly and annual scales. The study area includes the state of Espírito Santo, located in southeastern Brazil. The RNA's developed, in general, did not show good performance. In the distribution for the thermal state of the Holy Spirit can be found that the average temperatures ranged between 15° C and 27° C, with higher maximum temperatures in northern and coastal regions. With respect to minimum temperatures, it appears that there was great variation between the coastal region and the mountain region showing values between 12° C and 21° C.

Keywords: altitude, agricultural planning, weather stations

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). No entanto, a escassez de dados históricos de temperatura do ar limita a caracterização as condições climáticas reinantes em grandes áreas.

Recebido em 17/07/2009

Aprovado para publicação em 15/07/2010

Com o intuito de contornar estes problemas, diversos pesquisadores lançam mão de técnicas de interpolação, disponíveis nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), para a estimativa da temperatura do ar, não havendo até o momento, evidências que um método qualquer seja o melhor para diversas condições, o que faz com que seja importante determinar o melhor método para cada circunstância. Além disso, a não consideração da altitude do terreno no emprego destas técnicas tem levado a estimativas muitas vezes não satisfatórias.

A fim de suprir esta escassez, diversos pesquisadores (Sediyama et al., 2002; Pezzopane et al., 2004; Medeiros et al., 2005, entre outros) ajustaram equações de regressão que possibilitam a estimativa dos valores médios mensais das temperaturas do ar em função da latitude, longitude e altitude do local de interesse. Este artifício consiste em uma melhor alternativa em substituição às técnicas de interpolação (Bolstad et al., 1998), uma vez que a altitude da região é levada em consideração na estimativa da temperatura. Todavia, muitas vezes as equações de regressão apresentam baixos coeficientes de determinação, não possuindo acurácia suficiente para serem utilizadas ou não realizando estimativas confiáveis quando aplicadas em certas partes da região para a qual foram estabelecidas, notadamente aquelas em que há brusca variação da altitude ou onde os valores desta variável se situam próximos ao extremo (Medeiros et al., 2005).

A utilização de redes neurais artificiais (RNA's) é hoje uma alternativa potencial para a estimativa de variáveis climáticas em substituição às equações de regressão e aos métodos tradicionais de interpolação (Li, 2002). RNA's são modelos computacionais que simulam a estrutura e o funcionamento do cérebro humano, podendo, deste modo, estabelecer relações entre variáveis independentes para estimar variáveis dependentes, possuindo, assim, o potencial de serem aplicadas em problemas de grande complexidade, como a variação espacial das temperaturas do ar, conforme realizado por (Bryan & Adams, 2002), (Silva, 2003) e (Moreira et al., 2005).

No Estado do Espírito Santo, ainda hoje, existe pouca disponibilidade de dados relativos às temperaturas do ar. A carência de informações a respeito do comportamento deste elemento do clima consiste em fator limitante da confiabilidade de diversos estudos conduzidos no âmbito das Ciências Agrárias, principalmente nos estudos de zoneamento ecológico, zoneamento agroclimático e potencial de instalação e desenvolvimento de diferentes patógenos em áreas agrícolas.

Diante do exposto o objetivo do trabalho é desenvolver RNA's capazes de prover estimativas das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas, em escalas mensais e anuais, para todo o estado do Espírito Santo, a partir de dados de altitude, latitude e longitude.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o estado do Espírito Santo, localizado na região sudeste do Brasil. No presente trabalho criou-se um banco de dados com séries temporais (dados mensais) de temperaturas do ar máximas, médias e mínimas – mensais e anuais – obtidas de 13 estações meteorológicas do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) e quatro do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1), considerando-se as séries temporais, com extensão mínima de 23 anos.

Para aumentar a capacidade de generalização das RNA's e minimizar o problema do tamanho da amostra, utilizou-se uma variante da técnica de treinamento por validação cruzada conhecida como deixando um de fora (*leaving one out*). Seguindo o procedimento idealizado por (Moreira et al., 2005), o treinamento deu-se por meio do software Neuro Solution[®], sendo as RNA's do tipo retroalimentadas com arquitetura 3- n_1 - n_2 -1: um vetor de entrada com três variáveis, duas camadas intermediárias com n_1 e n_2 neurônios artificiais e um neurônio na camada de saída. O vetor de entrada foi composto pelos valores da latitude e longitude de cada estação, em graus decimais, bem como pelo valor de sua altitude oriunda do projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, em inglês) obtidas de (Miranda, 2005), com resolução espacial de 90 m. 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.

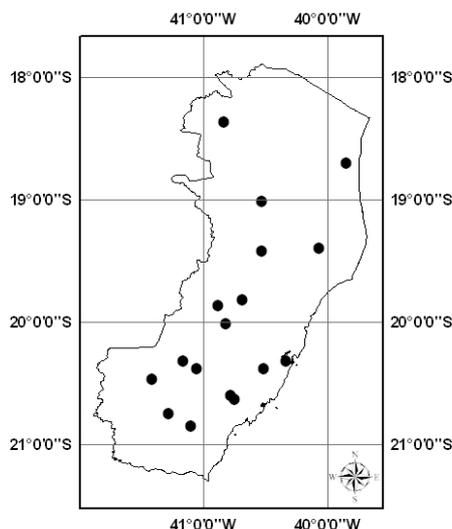


Figura 1: Distribuição das Estações Meteorológicas utilizadas no presente trabalho, localizadas no estado do Espírito Santo.

A avaliação do desempenho das RNA's foi feita a partir do cálculo de índices estatísticos utilizando-se os valores reais e estimados para as temperaturas do ar em cada um dos 17 postos. Os índices estatísticos calculados foram o 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).

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

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

- 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.

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

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997).

Após análise de desempenho das RNA's estimadas das, foram espacializadas, para cada mês as temperaturas médias, máximas e mínimas para o Estado do Espírito Santo. Para tal, foi utilizado o software Arclnf 9.2[®].

RESULTADO E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2, 3 e 4 apresentam-se, os valores do índice de concordância (c) e da raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) para as RNA's. Menores valores de REQM associados a maiores valores de c indicam o desempenho da metodologia na estimativa das temperaturas, a partir dos dados coletados das 17 estações meteorológica.

Tabela 2
Valores de c e REQM estimados pelas RNA's. Temperatura Média

Meses	Temperatura Média		
	c	REQM	Desempenho
Janeiro	0,44	1,65	Mau
Fevereiro	0,40	1,67	Péssimo
Março	0,37	1,78	Péssimo
Abril	0,39	1,94	Péssimo
Maio	0,41	2,22	Mau
Junho	-0,01	3,07	Péssimo
Julho	0,38	2,11	Péssimo
Agosto	0,36	2,10	Péssimo
Setembro	0,40	2,28	Péssimo
Outubro	0,29	2,04	Péssimo
Novembro	0,50	1,65	Sofrível
Dezembro	0,47	1,63	Mau
Anual	0,44	2,08	Mau

Tabela 3
Valores de c e REQM estimados pelas RNA's, Temperatura Mínima

Meses	Temperatura Mínima		
	c	REQM	Desempenho
Janeiro	0,44	1,77	Mau
Fevereiro	0,39	2,11	Péssimo
Março	0,40	2,02	Péssimo
Abril	0,39	2,18	Péssimo
Maio	0,38	2,28	Péssimo
Junho	0,26	2,76	Péssimo
Julho	0,25	2,80	Péssimo
Agosto	0,36	2,51	Péssimo
Setembro	0,34	2,34	Péssimo
Outubro	0,41	1,78	Mau
Novembro	0,39	1,67	Péssimo
Dezembro	0,39	1,71	Péssimo
Anual	0,38	1,93	Péssimo

Tabela 4

Valores de c e REQM estimados pelas RNA's, Temperatura Máxima

Meses	Temperatura Máxima		
	c	REQM	Desempenho
Janeiro	0,57	1,39	Sofrível
Fevereiro	0,49	1,54	Mau
Março	0,40	1,69	Péssimo
Abril	0,36	2,20	Péssimo
Mai	0,40	1,99	Péssimo
Junho	0,37	2,03	Péssimo
Julho	0,37	1,80	Péssimo
Agosto	0,36	1,88	Péssimo
Setembro	0,47	1,64	Mau
Outubro	0,43	1,90	Mau
Novembro	0,38	1,71	Péssimo
Dezembro	0,33	2,32	Péssimo
Anual	0,30	1,92	Péssimo

As RNA's desenvolvidas, em geral, não apresentaram bom desempenho, exceção feita à temperatura mínima de Janeiro e Outubro, que apresentaram índices estatísticos REQM de 1,77 e 1,78, apresentando valores de c com desempenho sofrível e mau. As temperaturas médias apresentaram quatro meses que apresentaram desempenho de mau, apenas o mês de Janeiro apresentou o desempenho de c como sofrível e REQM de 1,39 para as temperaturas máximas, conforme ilustrado na tabela 2.

Apesar das RNA's apresentarem a altitude no seu desenvolvimento, seu desempenho foi fraco principalmente devido à pequena quantidade de postos climáticos utilizados em seu treinamento, o que dificulta seu aprendizado. Também contribuíram para o fraco desempenho o fato de não terem sido testadas diferentes arquiteturas para as redes, isto é, diferentes números de camadas, algoritmos de aprendizagem, número de ciclos, etc; o que se deveu ao excessivo tempo computacional necessário para o treinamento de uma única RNA (cerca de 20 horas ininterruptas).

Trabalhos como o de (Moreira et al., 2005) e (Moreira et al., 2007), avaliaram várias arquiteturas para as RNA's, obtendo desempenhos excepcionais. Ressalta-se que o número de ciclos utilizados no treinamento das RNA's foi baixo, prejudicando sua aprendizagem, mas reduzindo a possibilidade de ocorrência de memorização. A memorização levaria as RNA's a apresentarem um bom desempenho estatístico (alto valor de c e baixo valor de REQM), pois este é calculado apenas com base na amostra (postos) disponíveis. Em contrapartida a memorização levaria a graves distorções na espacialização em temperaturas extremamente altas ou extremamente baixas.

Analisando-se os mapas de distribuição espacial feitos com a utilização das RNA's (Figuras 2, 3 e 4) verifica-se que não ocorreu memorização, pois não foram evidenciados severos desvios de temperatura estimada.

Analisando-se os mapas da distribuição térmica do Estado do Espírito Santo, verifica-se que as temperaturas médias variaram entre 15 °C e 27°C (Figura 1), com temperaturas 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 (Figura 2), verifica-se que houve grande variação entre a região litorânea (região de baixas altitudes) e a região serrana demonstrando valores entre 12°C e 21°C.

CONCLUSÃO

O estudo de métodos para estimativa das temperaturas do ar proporciona o comportamento médio dos parâmetros de estudo, em que pode ser úteis em trabalhos de zoneamento de cultivos agrícolas e florestais, visando trabalho de evapotranspiração e balanço hídrico. Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

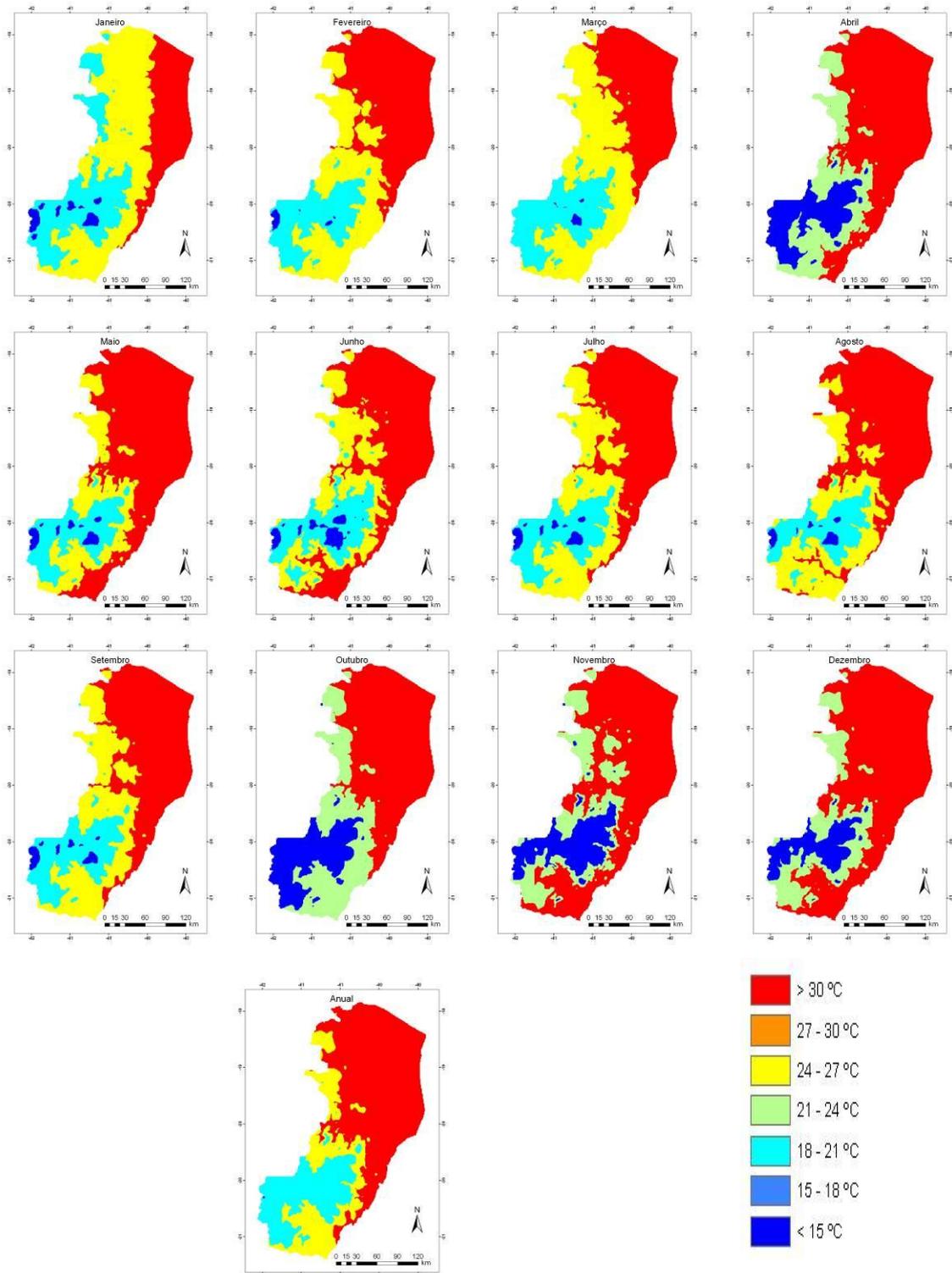


Figura 2: Espacialização das temperaturas médias do ar para o Estado do Espírito Santo, utilizando as RNA's desenvolvidas.

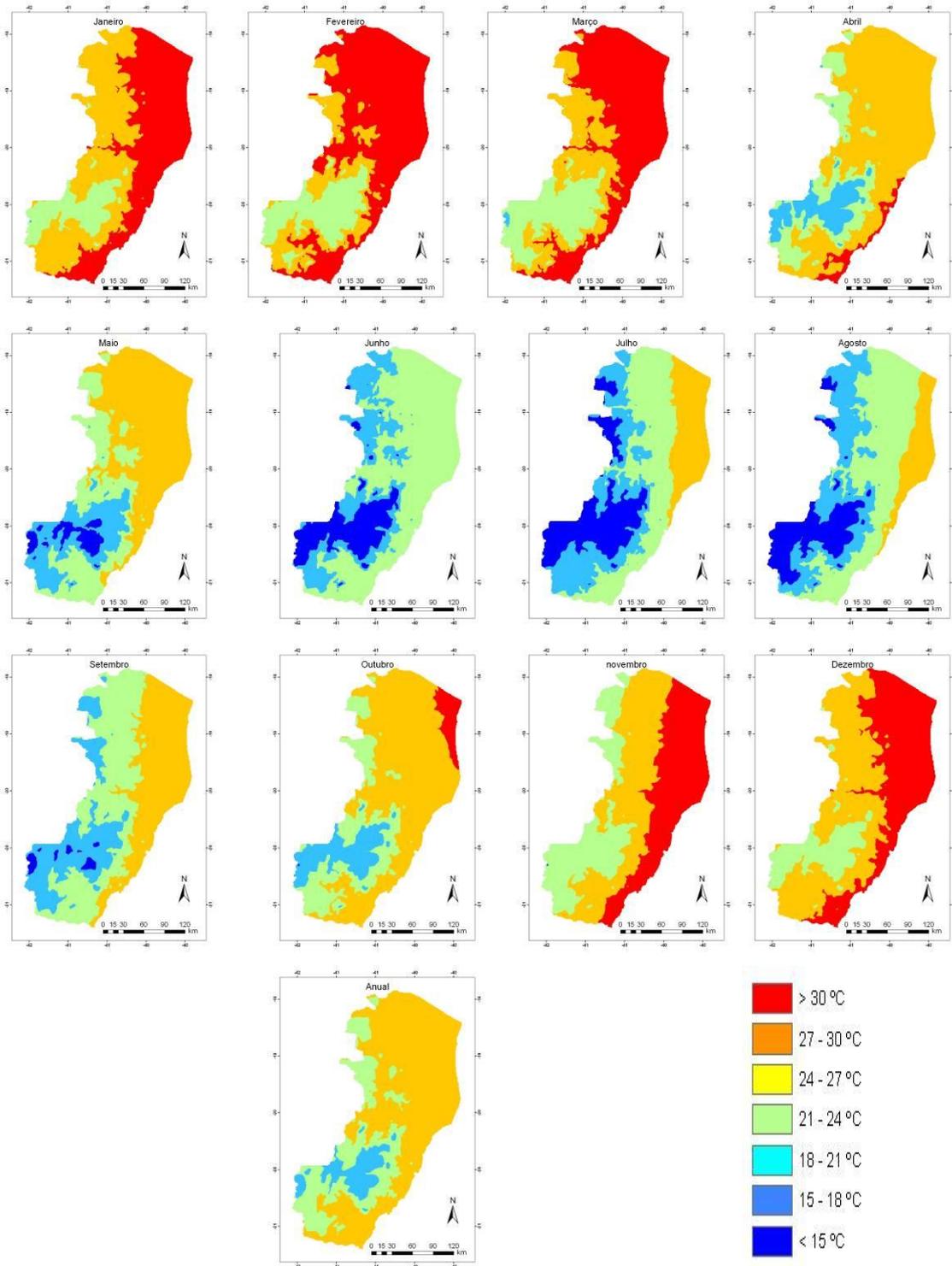


Figura 3: Espacialização das temperaturas mínimas do ar para o Estado do Espírito Santo, utilizando as RNA's desenvolvidas.

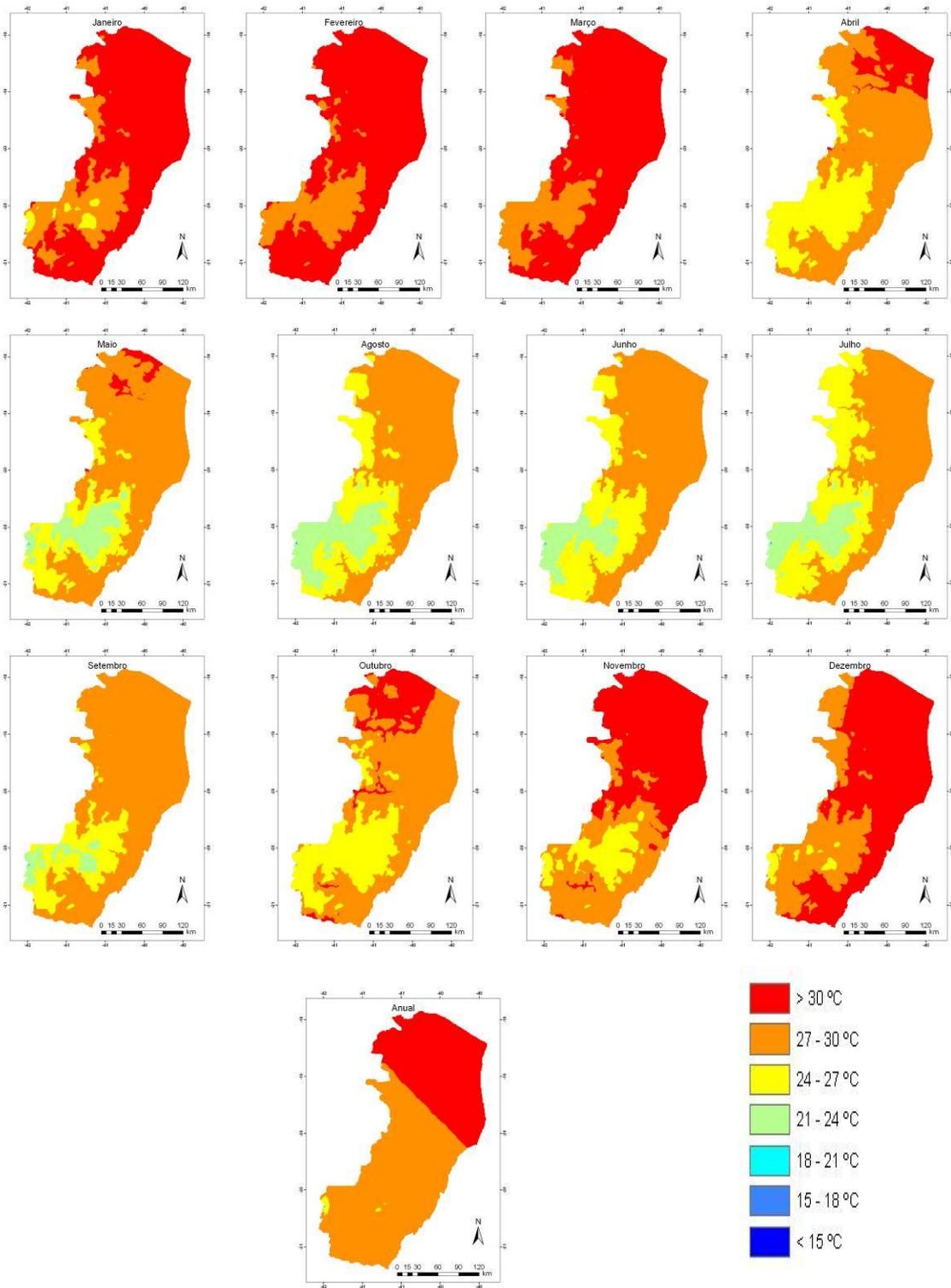


Figura 4: Espacialização das temperaturas máximas do ar, para o Estado do Espírito Santo, utilizando as RNA's desenvolvidas.

1. As RNA's desenvolvidas, apesar de considerar o relevo na estimativa, apresentaram fraco desempenho estatístico.
2. Existe necessidade de maior treinamento das RNA's e variação de sua arquitetura a fim de obterem-se melhores desempenhos estatísticos.
3. As RNA's 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).

REFERENCIAS

BOLSTAD, P.V.; SWIFT, L.; COLLINS, F.; REGNIERE, J. Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. **Agricultural & Forestry Meteorology**, v.91, p.161-176. 1998.

BRYAN, B.A.; ADAMS, J.M. Three-dimensional neuro-interpolation of annual mean precipitation and temperature surfaces for China. **Geographical Analysis**, v.34, n.2, p.94-111, 2002.

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.

LI, B. **Spatial interpolation of weather variables using artificial neural networks**. Athens – University of Georgia, 2002. 89p. (Tese de mestrado).

MEDEIROS, S.S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; SILVA JÚNIOR, J.L.C. Estimativa e espacialização das normais das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9,(2):247-255, 2005.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 9 maio 2006.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; SILVA JÚNIOR, J.L.C.; PINTO, F.A.C.; MEDEIROS, S.S. Uso de redes neurais artificiais para a estimativa das normais das temperaturas médias mensais e anuais na região Nordeste. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 16, 2005, Campinas. **Anais**. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Campinas, 2005. (CD-ROM)

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; SILVA, K.R. Comparação de métodos para a estimativa das temperaturas do ar no Nordeste brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15, 2007, Aracaju. **Anais**. Aracaju : SBAGro, 2007. (CD-ROM)

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 24º latitude sul e 48 e 60º longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.57-61, 2002.

PEZZOPANE, J.E.M.; SANTOS, E.A.; ELEUTÉRIO, M.M.; REIS, E.F.; SANTOS, A.R. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.151-158, 2004.

SEDIYAMA, G.C. ; MELO JÚNIOR, J.C.F. ; SANTOS, A.R. ; SOUZA, J.A. ; SANTANA, M.O. Modelo para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual georeferenciados para o Estado do Espírito Santo.. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002, Salvador, BA. **Anais**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. (CD-ROM)

SILVA, A. **Neural Networks application to spatial interpolation of climate variables**. Report of STSM – Short Term Scientific Mission in ZAMG - Vienna, Austria, 2003. Disponível em: <http://cost719.met.no/papers>. Acesso em: 02-04-2005

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.