

ISSN 0104-1347

Estimativa e espacialização da umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe¹

Estimate and interpolation of the relative humidity for the states of Alagoas, Bahia and Sergipe, Brazil

Thieres George Freire da Silva², Sérgio Zolnier³, Magna Soelma Beserra de Moura⁴ e Gilberto C. Sedyama⁵

Resumo: Poucas estações meteorológicas apresentam séries históricas de umidade relativa nos estados de Alagoas, Bahia e Sergipe. Em razão disso, valores normais mensais de diversas variáveis meteorológicas foram avaliados estatisticamente por meio de um modelo multiplicativo com o objetivo de obter uma equação genérica para estimar esses dados. O modelo multiplicativo, que melhor se ajustou aos valores observados compreendeu a função de Gompertz, tendo como variável independente o índice efetivo de umidade, e uma função linear que apresentou como variável independente o produto entre a longitude local e temperatura média do ar. O modelo multiplicativo proposto nesse trabalho explicou 81% da variabilidade da umidade relativa do ar e, posteriormente, foi validado para outras localidades, apresentando índices aceitáveis de desempenho estatístico. A partir do modelo multiplicativo, foi possível elaborar, com maior confiabilidade, mapas mensais normais da umidade relativa do ar para a área de estudo, com vistas à implementação de zoneamentos agroclimáticos e bioclimáticos.

Palavras-chave: climatologia, zoneamento agroclimático, SIG.

Abstract : Few weather stations present complete historical series of relative humidity in the states of Alagoas, Bahia and Sergipe, Brazil. For this reason, monthly normal values of several environmental variables were statistically evaluated by a multiplicative model to obtain a generic equation to estimate air relative humidity data. The multiplicative model that provided the best fit to observed data was Gompertz function, having as independent variable the effective moisture index, and a linear function based on the product of longitude and average air temperature. The proposed multiplicative model explained 81% of the air relative humidity variability and it was further validated for other locations, giving acceptable statistical performance. Based on the multiplicative model, it was possible to elaborate maps of average air relative humidity for the studied region in order to implement bioclimatic and agroclimatic zoning projects.

Key words: climatology, agroclimatic zoning, GIS.

¹ Parte da tese do primeiro autor.

² Doutorando, bolsista do CNPq; Eng^o Agrônomo, Mestre em Meteorologia Agrícola; DEA, UFV, Av. P.H. Holfs, s/n, Viçosa - MG, e-mail: thieresfreire@vicosa.ufv.br

³ Professor do DEA da UFV; P.h.D; DEA, UFV, Av. P.H. Holfs, s/n, Viçosa - MG, e-mail: zolnier@ufv.br

⁴ Pesquisadora; Doutora; EMBRAPA/Semi-Árido, Petrolina - PE, e-mail: magna@cpatsa.embrapa.br

⁵ Professor; Pos-Doctor; DEA, UFV, Av. P.H. Holfs, s/n, Viçosa - MG,; e-mail: g.sedyama@ufv.br

Introdução

A umidade relativa do ar é um elemento meteorológico que apresenta grande importância em diversos processos físicos e biológicos, sendo uma variável imprescindível em modelos que estimam os componentes do balanço hídrico, a incidência e proliferação de doenças fúngicas e o estresse térmico em instalações agrícolas. Sua medição ou estimativa é necessária em várias áreas do conhecimento, especialmente em estudos direcionados à bioclimatologia e agrometeorologia (AMORIM NETO et al. 2001; BELTRÃO et al., 2003; TURCO et al., 2006).

No Brasil, poucas estações meteorológicas apresentam séries históricas de elementos meteorológicos como, velocidade e direção do vento, saldo de radiação e, principalmente, umidade relativa do ar. Nesse contexto, enquadram-se vários estados da região Nordeste, especialmente Alagoas, Bahia e Sergipe, que juntos possuem uma área de 614,4 km² e apenas 36 estações meteorológicas, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

De acordo com SEDIYAMA et al. (1998), a escassez de dados meteorológicos em grande parte do território nacional é um dos fatores que mais limitam a realização de estudos suficientemente detalhados sobre os tipos climáticos de diversas regiões, principalmente quando as mesmas apresentam uma ampla extensão territorial. Com o objetivo de superar insuficiência de dados de temperatura em várias regiões, CAVALCANTI & SILVA (1994), MEDEIROS et al. (2005), SEDIYAMA et al. (1998) e SEI (1998) propuseram equações de regressão múltipla que permitem estimar essa variável e a sua posterior aplicabilidade em estudos direcionados aos zoneamentos bio e agroclimáticos (SEDIYAMA et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2002; TURCO et al., 2006).

Vários estudos foram realizados com o objetivo de modelar e analisar a variabilidade da umidade relativa do ar e suas influências em escala microclimática (CASTELLVÍ et al., 1996; LAURENCE et al., 2002). No entanto, poucos são aqueles que se dedicaram a estudá-la em uma escala macroclimática, destacando-se TEIXEIRA et al. (1999), que estimaram a umidade relativa do ar para o estado de Pernambuco. Esses autores propuseram

a existência de uma correlação quadrática entre a umidade relativa do ar e o índice de umidade (I_m), resultante do balanço hídrico climatológico proposto por THORNTHWAITE & MATHER (1955). A partir da relação entre essas duas variáveis, obtiveram uma equação de regressão para estimativa dos valores normais de umidade relativa do ar com coeficiente de determinação (R^2) de 0,70 para o Estado de Pernambuco.

Utilizando esse mesmo método, TEIXEIRA et al. (2001), TEIXEIRA et al. (2002) e SILVA et al. (2004) obtiveram equações de regressão para estimativa da umidade relativa do ar para os estados da Bahia, Ceará e Piauí com boa confiabilidade. Embora os trabalhos citados tenham demonstrado equações de regressão com valores de R^2 elevados, em nenhum desses estudos foram utilizados índices de desempenho estatístico para a validação dessas equações com dados independentes dos utilizados para a determinação dos parâmetros do modelo de regressão.

Em vez de utilizar diretamente análises de regressão simples ou múltipla, um outro método adotado para correlacionar as variáveis ambientais em estudos agroclimáticos é o multiplicativo (JARVIS, 1976), o qual avalia o efeito isolado das variáveis, combinando-as posteriormente por meio do produto entre elas. A principal vantagem desse método é identificar os efeitos isolados de cada variável independente, a partir de funções adimensionais, que posteriormente são combinadas para gerar o modelo multiplicativo. Esse método tem sido utilizado por diversos autores em estudos sobre evapotranspiração em ambientes protegidos, incluindo ZOLNIER et al. (2001) e HAMER (1997).

Diante dos fatos expostos, os principais objetivos desse trabalho foram:

a) selecionar variáveis independentes com melhor desempenho estatístico e obter os parâmetros de um modelo multiplicativo para estimativa dos valores normais mensais da umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, a partir da análise de regressão de dados provenientes de localidades que possuem estações climatológicas;

b) validar o desempenho estatístico do modelo multiplicativo proposto, por meio da utilização de

dados de localidades disponíveis nos três estados citados que não foram utilizados para determinação dos parâmetros do modelo;

c) elaborar mapas da umidade relativa do ar normal mensal a partir de estimativas efetuadas com o modelo multiplicativo.

Materiais e Métodos

Dados geográficos e climáticos

A área de estudo compreendeu os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, que estão localizados entre os paralelos de 8° 32'S e 18° 21'S e os meridianos de 35° 10'W e 46° 37'W.

Nesse estudo, foram utilizados valores normais mensais da umidade relativa do ar, da precipitação, das temperaturas mínima, média e máxima, assim como as coordenadas geográficas de 36 estações meteorológicas, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia –

INMET e obtidos na publicação “Normais climatológicas (1961 – 1990)” (INMET, 1992). Os dados disponíveis foram divididos em dois grupos, apresentando cada um deles 18 estações (Figura 1).

O primeiro grupo de dados foi utilizado para selecionar as variáveis mais apropriadas para explicar a variabilidade da umidade relativa do ar ao longo do ano e entre localidades, bem como para determinar os parâmetros de um modelo multiplicativo. O segundo conjunto de dados foi utilizado para validar, de forma independente, o desempenho do modelo em localidades distintas ao longo do ano. O critério usado para dividir as estações meteorológicas em dois grupos foi estabelecido com base no método dos “quartis”. Das 36 estações meteorológicas disponíveis, 28 estão situadas na Bahia e 5 em áreas limítrofes ao Estado, nos municípios de Posse (GO), Taguatinga (TO), Petrolina (PE), Espinosa (MG) e Pedra Azul (MG); 2 no estado de Alagoas; e 1 no estado de Sergipe.

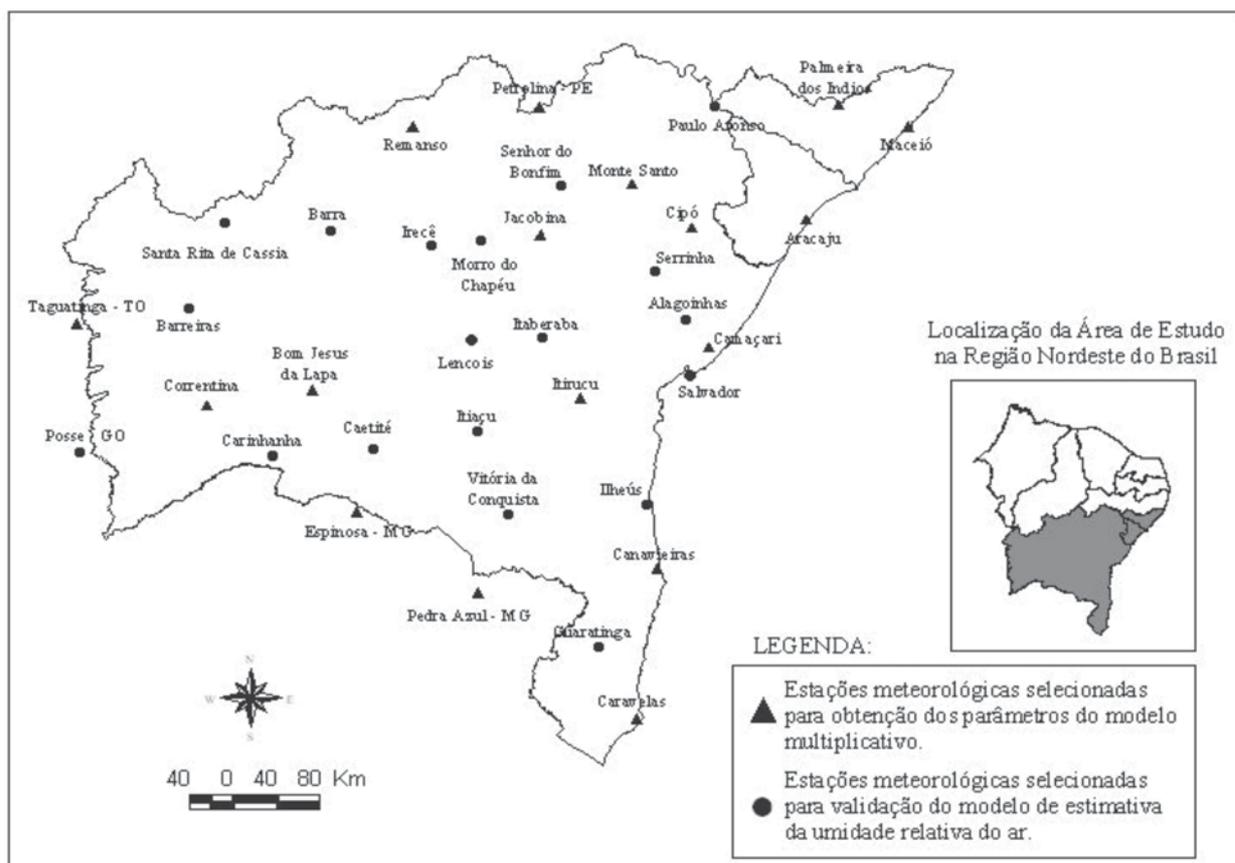


Figura 1. Distribuição das estações meteorológicas nos Estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, sendo 18 para obtenção dos parâmetros do modelo multiplicativo e 18 para sua validação.

Modelo estatístico multiplicativo

O método adotado no presente trabalho para estimativa dos valores normais mensais de umidade relativa do ar foi elaborado com base no modelo multiplicativo proposto por JARVIS (1976). O modelo simplificado para duas funções e escrito para estimativa da umidade relativa do ar (UR) é dado pela seguinte equação:

$$UR = f(x) f(y) \quad (1)$$

sendo que as funções $f(x)$ e $f(y)$ podem ter comportamentos lineares ou curvilíneos.

No presente trabalho, as variáveis independentes avaliadas para o ajuste do modelo multiplicativo aos valores mensais normais de umidade relativa do ar foram o índice efetivo de umidade (I_m , adimensional), a precipitação pluvial (P , mm), as temperaturas do ar mínima (t_n , °C), média (t_m , °C) e máxima (t_x , °C), as pressões de saturação de vapor d'água do ar mínima (e_{sn} , hPa) e máxima (e_{sx} , hPa), o déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (Δe , hPa), a amplitude térmica (Δt , °C) e as coordenadas geográficas longitude (λ , graus negativos), latitude (θ , graus negativos) e altitude (z , metros).

Após a seleção de variáveis independentes para aplicação no modelo multiplicativo, por meio do software SigmaPlot, versão 7.0 para Windows, foram realizadas análises de regressão com base nos testes "t" de Student e F para avaliar as significâncias dos parâmetros e do modelo, respectivamente.

Determinação das Variáveis Independentes

Dentre as diversas variáveis independentes avaliadas nesse estudo, algumas foram obtidas por meio de equações propostas na literatura. O índice efetivo de umidade mensal (I_m) foi obtido a partir da seguinte relação:

$$I_{m_i} = \left(\frac{P_i}{ETP_i} - 1 \right) 100 \quad (2)$$

em que, P (mm/mês) e ETP (mm/mês) são os valores totais médios mensais da precipitação e da evapotranspiração potencial, obtida a partir da

equação proposta por THORNTHWAITTE (1948), ambos referentes ao mês i ($i = 1, 2, \dots, 12$).

Para o cálculo da pressão de saturação de vapor d'água do ar (e_s , hPa) foram utilizados os valores mensais de temperatura do ar na fórmula proposta por Tetens, como citada por BERRY et al. (1945):

$$e_s = 6,1078 \cdot 10^{\left(\frac{7,5t}{237,3+t} \right)} \quad (3)$$

em que t pode corresponder tanto a temperatura mínima (t_n) quanto à temperatura máxima mensal (t_x). A partir dos valores de e_{sn} e e_{sx} foi determinado o déficit de pressão de saturação de vapor d'água do ar (Δe) por meio da seguinte equação:

$$(4)$$

Para o cálculo da amplitude térmica (Δt) foi utilizada a seguinte equação:

$$\Delta t = t_x - t_n \quad (5)$$

$\Delta e = e_{sx} - e_{sn}$ e validação e avaliação do modelo estatístico multiplicativo.

Após a seleção das variáveis mais apropriadas para aplicação no modelo multiplicativo, assim como obtenção dos parâmetros desse modelo, dados necessários das variáveis ambientais e de localização geográfica foram utilizados para estimativa dos valores normais mensais da umidade relativa do ar para as demais localidades dos estados de Alagoas, Bahia e Sergipe que também possuíam estações climatológicas. Em seguida, os valores estimados foram comparados com um conjunto de dados independentes separado para validação do modelo multiplicativo. O segundo grupo de dados compreendeu 216 conjuntos de valores mensais normais de umidade relativa do ar e das demais variáveis independentes, os quais foram observados nas 18 estações meteorológicas dos estados em análise, ao longo do ano.

Para teste de desempenho do modelo multiplicativo, foram determinados os índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação, r) e o de exatidão (índice de concordância, d)

(WILLMOTT et al., 1985). Adicionalmente, foram estimados os seguintes erros estatísticos: erro médio de estimativa (MBE) e a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE). As expressões utilizadas para estimativa de cada um dos índices e erros foram:

$$r = \frac{\left[\sum UR_{i_est} (UR_{i_obs} - \overline{UR_{i_obs}}) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (UR_{i_obs} - \overline{UR_{i_obs}})^2 \sum_{i=1}^n (UR_{i_est} - \overline{UR_{i_est}})^2 \right]^{1/2}} \quad (6)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (UR_{i_est} - UR_{i_obs})^2}{\sum_{i=1}^n (|UR_{i_est} - \overline{UR_{i_obs}}| + |UR_{i_obs} - \overline{UR_{i_obs}}|)^2} \right] \quad (7)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (UR_{i_est} - UR_{i_obs}) \quad (8)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (UR_{i_est} - UR_{i_obs})^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

em que, “n” é o número de observações, UR_{i_obs} e UR_{i_est} são respectivamente os valores mensais observados e estimados e a barra sobre estes símbolos refere-se ao valor médio dos dados considerados.

Banco de dados e espacialização dos valores normais da umidade relativa do ar.

Foi elaborado um banco de dados contendo os valores normais mensais de 549 postos de observação (36 estações meteorológicas e 513 postos pluviométricos). Nos postos pluviométricos, pertencentes ao banco de dados de chuva da SUDENE, os valores de temperatura do ar (mínima, média e máxima) foram obtidos segundo as equações de regressão elaboradas por CAVALCANTI & SILVA (1994). Os valores das demais variáveis foram obtidos a partir das equações 2, 3, 4 e 5.

A partir dos valores de umidade relativa do ar dos 549 postos de observação, foi utilizado o software ArcGIS para a análise de dependência espacial por meio do ajuste do semivariograma e, posteriormente, geração dos mapas mensais das normais de umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, utilizando o método de interpolação denominado “krigagem ordinária”. Com base nos semivariogramas, foram escolhidos os modelos que apresentaram os menores erros e os melhores ajustes e resultados de validação obtida por meio da técnica de “Jack Knifing”. A partir do ajuste dos modelos, foram estimados os parâmetros C_0 (efeito pepita), C (patamar parcial), $C_0 + C$ (Patamar) e alcance (a). Com os parâmetros C_0 e $C_0 + C$ são calculados os valores do índice de dependência espacial (IDE), o qual permite analisar e caracterizar o grau de dependência espacial dos valores de umidade relativa do ar, mediante a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994). Adicionalmente, foram estimados os valores do coeficiente de determinação (R^2), da raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e do desvio padrão dos resultados obtidos pelos modelos ajustados.

Resultados e Discussão

As variáveis ambientais e geográficas independentes mais importantes foram selecionadas a partir de análises de regressão. Foi verificado que o índice efetivo de umidade (I_m) teve destaque entre as demais variáveis independentes consideradas no presente estudo e, portanto, foi a que teve a maior relação de proporção com a umidade relativa do ar entre localidades e para uma mesma localidade ao longo do ano. Esse resultado está de acordo com o relatado por TEIXEIRA et al. (1999), TEIXEIRA et al. (2001) e SILVA et al. (2004), que também verificaram que o I_m foi a variável que apresentou a maior correlação com a umidade relativa do ar.

A relação entre o I_m e a umidade relativa do ar pode ser descrita pelo modelo de Gompertz com três parâmetros, como apresentado na Figura 2.

A função de Gompertz, tendo como variável independente o índice efetivo de umidade, pode ser escrita da seguinte forma:

$$f(I_m) = a \exp\left\{-\exp\left[-\frac{I_m - b}{c}\right]\right\} \quad (10)$$

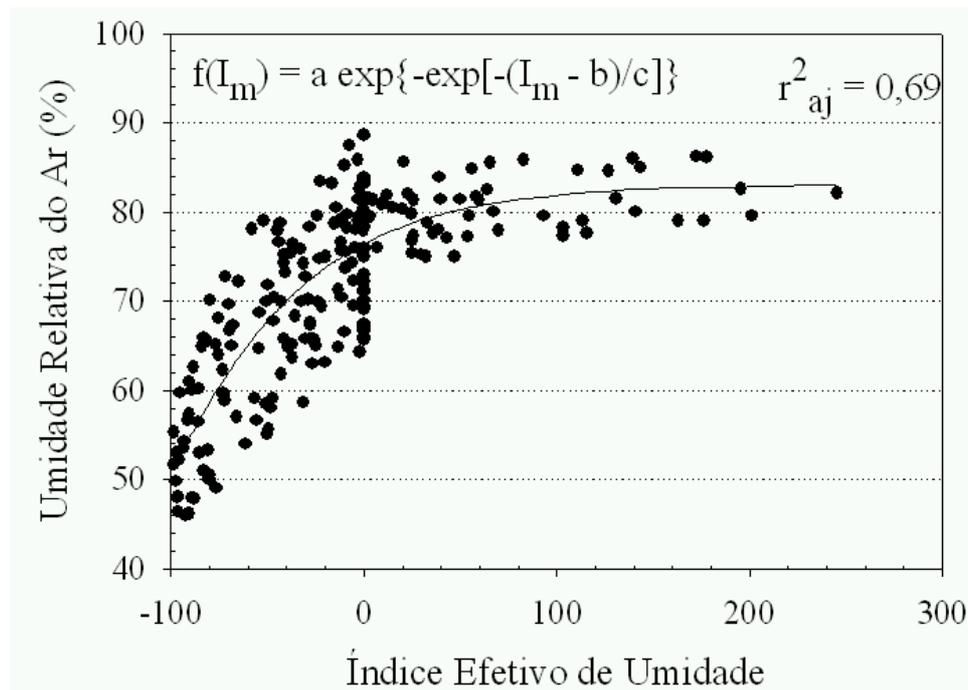


Figura 2. Correlação entre os valores mensais normais da umidade relativa do ar e os valores do índice efetivo de umidade (I_m) para estações meteorológicas situadas nos estados de Alagoas, Bahia e Sergipe.

Os parâmetros obtidos a partir de análise de regressão são apresentados na Tabela 1. Conforme pode ser observado na Figura 2, é importante destacar que o valor mínimo do índice efetivo de umidade é -100 , de acordo com a Equação 2.

A segunda variável com maior relação de proporção com a UR ao longo do ano e entre estações meteorológicas foi o produto da temperatura média do ar pela longitude ($t_m \lambda$). Para se isolar a variabilidade não explicada pelo índice efetivo de umidade, os valores de UR foram divididos pela função de Gompertz determinada previamente. A relação entre o produto " $t_m \lambda$ " e o componente $UR/f(I_m)$ pode ser visualizada na Figura 3.

A função $f(y)$ que melhor se ajustou aos valores residuais adimensionais $UR/f(I_m)$ foi uma equação linear, a qual pode ser escrita da seguinte forma:

$$f(t_m \lambda) = d + e (t_m \lambda) \quad (11)$$

Os valores encontrados para os parâmetros "d" e "e" são mostrados também na Tabela 1.

A Figura 4 mostra o resultado obtido na estimativa dos valores normais mensais de umidade

relativa do ar quando as funções de Gompertz e linear múltipla foram combinadas para gerar o modelo multiplicativo. Basicamente, esse modelo necessita de dados de dois elementos climáticos, a temperatura do ar e a precipitação, e apenas uma variável geográfica, a longitude. Os valores de temperatura e precipitação são usados para determinação do índice efetivo de umidade que é a variável independente da função de Gompertz.

Quando as funções de Gompertz e a linear múltipla são combinadas de acordo com a equação $UR = f(I_m) f(t_m \lambda)$, o coeficiente de determinação (R^2) aumentou de 0,69 para 0,81, mostrando que grande parte da variabilidade da umidade relativa ao longo do ano e entre estações meteorológicas é melhor representada pelo modelo multiplicativo.

Validação do modelo multiplicativo

Para avaliar o desempenho do modelo multiplicativo na estimativa dos valores normais mensais da umidade relativa do ar em localidades distintas das utilizadas para obtenção dos parâmetros desse modelo, foram utilizados dados independentes do segundo conjunto de estações meteorológicas, conforme descrito anteriormente.

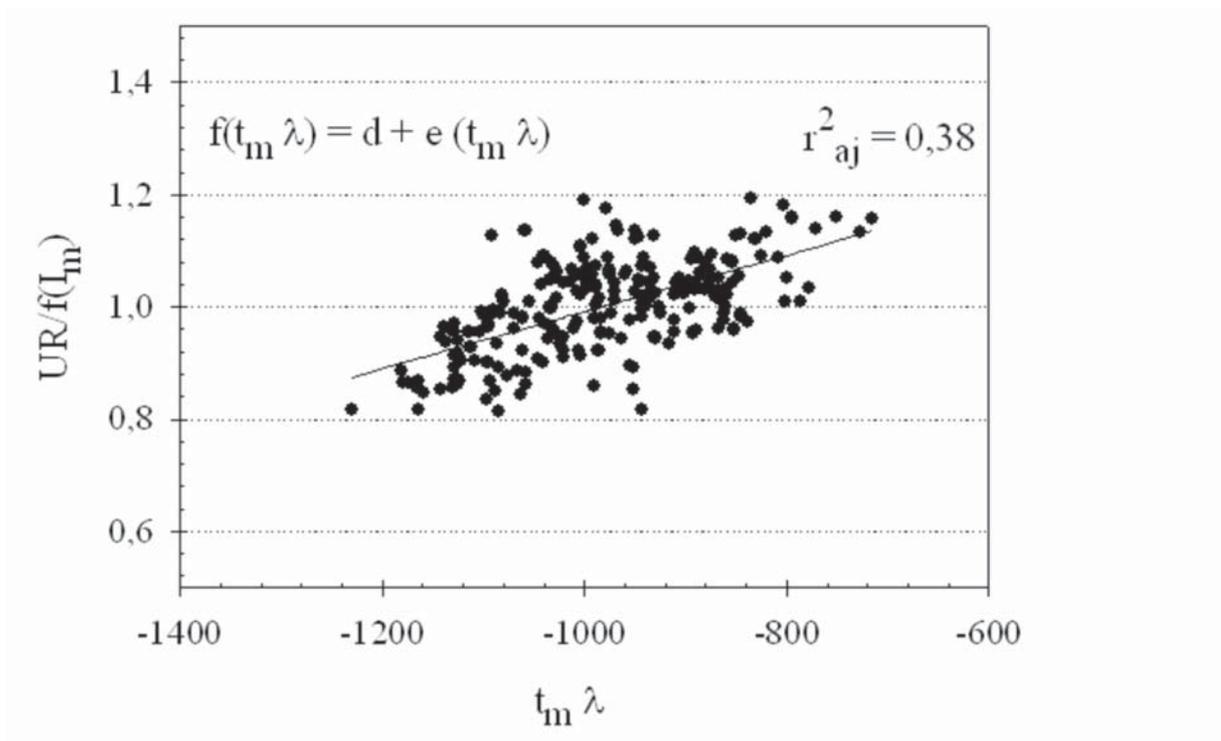


Figura 3. Correlação entre os valores normais mensais da razão $UR/f(I_m)$ e a interação entre a temperatura média (t_m) e a longitude (λ) para estações meteorológicas situadas nos estados de Alagoas, Bahia e Sergipe.

Tabela 1. Parâmetros e coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) das funções componentes do modelo multiplicativo.

Funções	Parâmetros	Valor (\pm Erro Padrão)	R^2_{aj}
Gompertz	a	83,04 (\pm 1,34)	0,69
	b	- 139,20 (\pm 5,49)	
	c	56,01 (\pm 6,29)	
Linear múltipla	d	1,496 (\pm 0,043)	0,38
	e	$5,040 \cdot 10^{-4}$ (\pm $0,439 \cdot 10^{-4}$)	

Na Figura 5 é apresentada a relação entre os valores de UR observados e estimados, assim como os índices estatísticos de desempenho do modelo multiplicativo. A avaliação quantitativa dos desvios dos valores normais mensais da umidade relativa do ar estimada pelo modelo multiplicativo em relação aos valores observados foi realizada por meio de índices estatísticos de desempenho, conforme descrito por JACOVIDES e KONTOYIANNIS (1995).

O modelo multiplicativo foi avaliado pelo coeficiente de correlação (r) e pela concordância expressa pelo índice “d” de WILLMOTT et al.

(1985), de acordo com as equações 6 e 7, respectivamente. O índice “d” indica o grau de exatidão entre os valores estimados e observados, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é a exatidão do modelo de predição da variável analisada. Por outro lado, o coeficiente “r” indica a precisão do modelo, mostrando a adequação das variáveis independentes selecionadas em explicar a variabilidade da umidade relativa do ar ao longo do ano e entre estações meteorológicas. Em razão dos índices estatísticos “r” e “d” não quantificarem os erros de exatidão e precisão, também foram determinados os indicadores MBE e RMSE (equações 8 e 9).

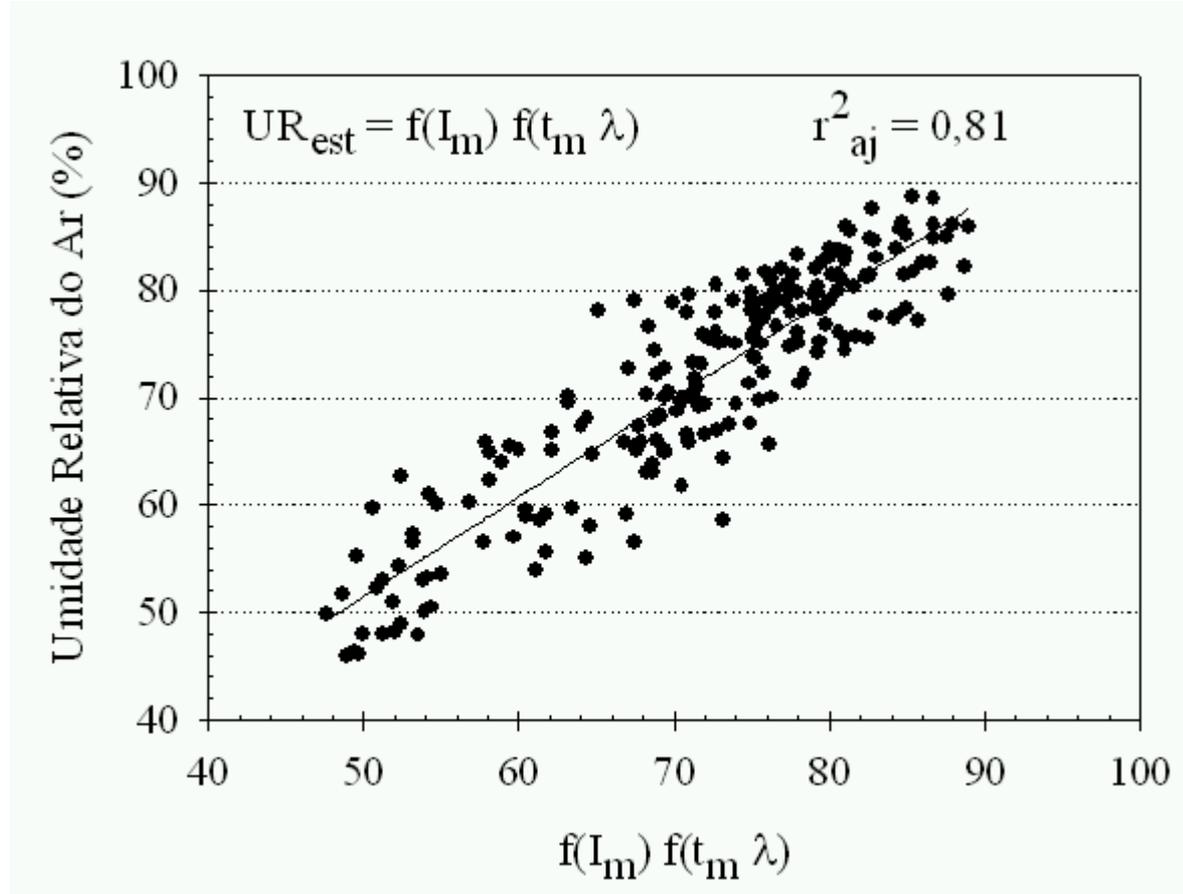


Figura 4. Combinação das funções de Gompertz $f(I_m)$ e linear múltipla $f(t_m \lambda)$ para obtenção do modelo multiplicativo que permite a estimativa dos valores normais mensais de umidade relativa do ar (UR_{est}) para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe.

Os índices “r” e “d” encontrados neste trabalho foram respectivamente 0,8581 e 0,9214, mostrando uma precisão aceitável nas estimativas dos valores normais mensais de umidade relativa do ar para uma localidade específica e um bom desempenho quando o interesse do usuário está na estimativa de valores médios a partir da utilização de várias localidades, como, por exemplo, no caso da elaboração de mapas de zoneamentos climáticos.

De acordo com JACOVIDES e KONTOYIANNIS (1995), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE), que foi igual a 2,03% para o modelo multiplicativo obtido para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, fornece subsídios sobre o desempenho do modelo a curto prazo. Portanto, esse parâmetro estatístico mostra o erro médio de estimativa da umidade relativa do ar para um mês específico em um determinado ano. Por outro lado, o parâmetro estatístico MBE é utilizado para quantificar a sub ou superestimativa do modelo a longo prazo, ou seja, para a

determinação do erro de estimativa da umidade relativa normal. O MBE encontrado no presente trabalho foi de 0,63%, indicando que, em média, o modelo superestimou ligeiramente a umidade relativa do ar observada.

Nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, a umidade relativa do ar média diária é calculada a partir das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, obtidas por meio de leituras efetuadas em psicrômetros nos horários das 12:00, 18:00 e 00:00 h, correspondentes ao Tempo Universal (UTC - INMET, 1992). Posteriormente, os valores médios diários são utilizados para o cálculo da umidade relativa média mensal. Dependendo da temperatura do ar, erros de 0,1 °C na leitura da temperatura em termômetros de mercúrio em vidro podem resultar em erros de determinação da umidade relativa do ar de até 1% (DeFELICE, 1998). Portanto, em razão da sensibilidade da equação de TETENS a erros de leitura das temperaturas de bulbo seco e úmido, os

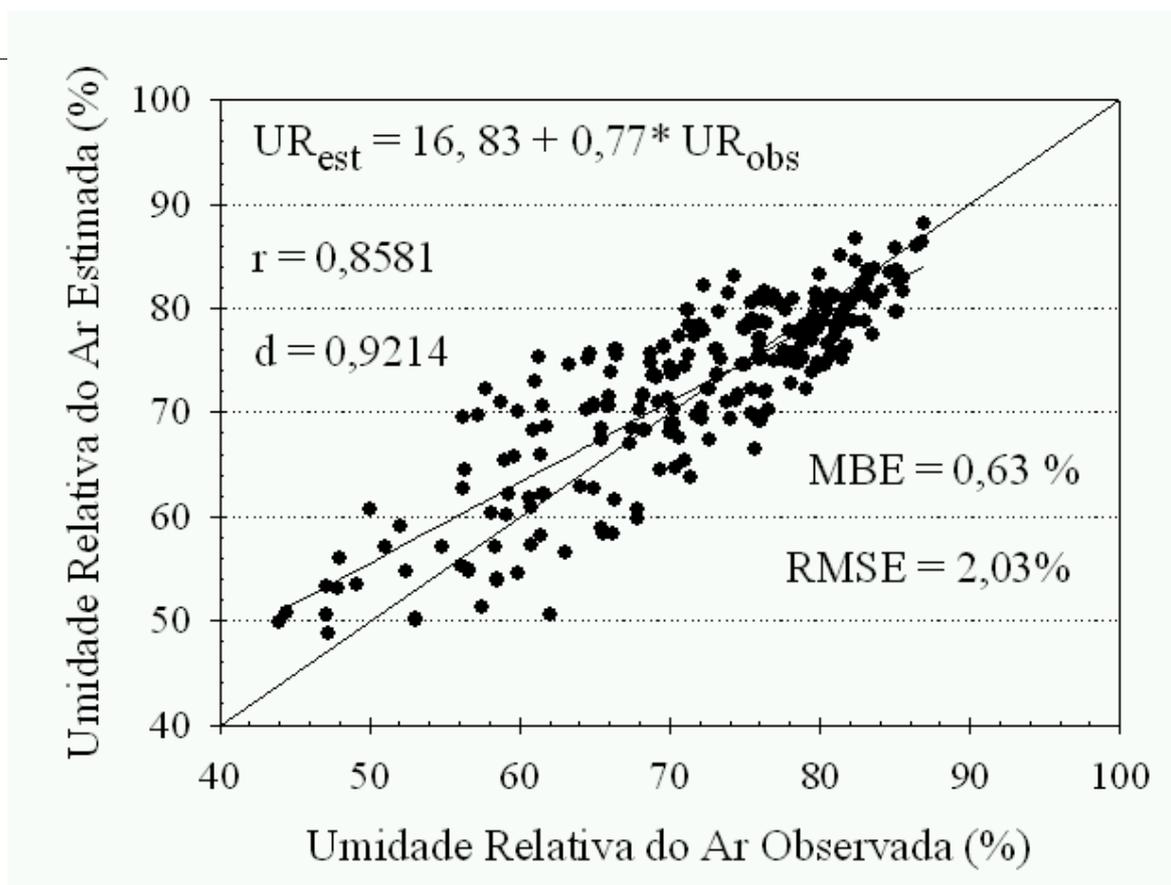


Figura 5. Relação entre os valores normais mensais observados e estimados da umidade relativa do ar, utilizando um conjunto de dados independente do utilizado para obtenção dos parâmetros do modelo multiplicativo. Os valores exibidos referem-se às diversas localidades situadas nos estados de Alagoas, Bahia e Sergipe.

valores de MBE e RSME encontrados durante a validação do modelo multiplicativo são plenamente aceitáveis.

Espacialização dos valores normais da umidade relativa do ar.

Uma vez avaliado o desempenho estatístico do modelo multiplicativo, foi realizada a espacialização dos valores normais mensais da umidade relativa do ar, utilizando-se os dados disponíveis das estações meteorológicas do INMET, assim como valores estimados pelo modelo multiplicativo para 549 postos de observação, distribuídos por todo o território dos Estados. Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os resultados da análise de semivariograma e os mapas mensais normais da umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, respectivamente. Os resultados da análise de semivariograma (Figuras 6, 7 e 8) mostraram que os valores médios da umidade relativa do ar mensal apresentaram dependência espacial e que os modelos permitiram, com boa

precisão, estimar os valores dessa variável para os locais que não possuíam dados, obtendo valores de R^2 acima de 0,7413 e de RMSE abaixo de 1,6270. Constatou-se que os mapas não apresentam grandes discontinuidades espaciais. Resultados semelhantes foram obtidos por MEDEIROS et al. (2005), os quais utilizaram uma equação para estimativa da temperatura média anual para a região Nordeste. Descontinuidades espaciais abruptas foram observadas por esses autores, quando elaboraram o mapa temático dos valores de temperatura média para o Nordeste brasileiro, obtidos a partir de três equações propostas por CAVALCANTI & SILVA (1994).

Para a região em estudo, os valores mensais da normal da umidade relativa do ar variaram, aproximadamente, entre 44 e 90%, com pequenas áreas apresentando valores acima dessa faixa. Nos estados de Alagoas e Sergipe (Figura 6 e 8), observa-se que os maiores valores de umidade relativa do ar estão situados entre os meses de abril a setembro (período que compreende a estação chuvosa). Nos

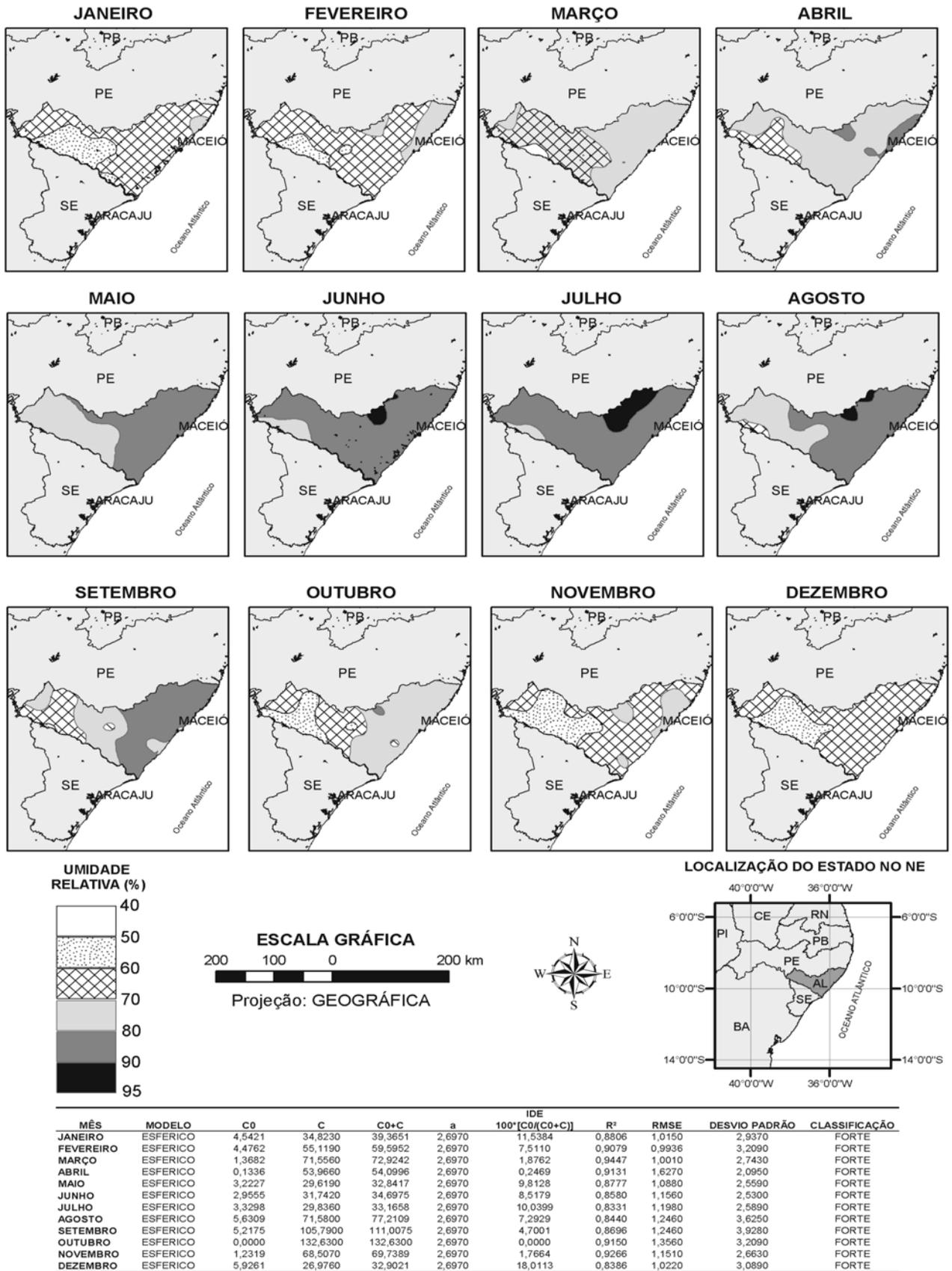


Figura 6. Espacialização e resultados da análise de semivariograma dos valores normais mensais da umidade relativa do ar para o Estado de Alagoas.

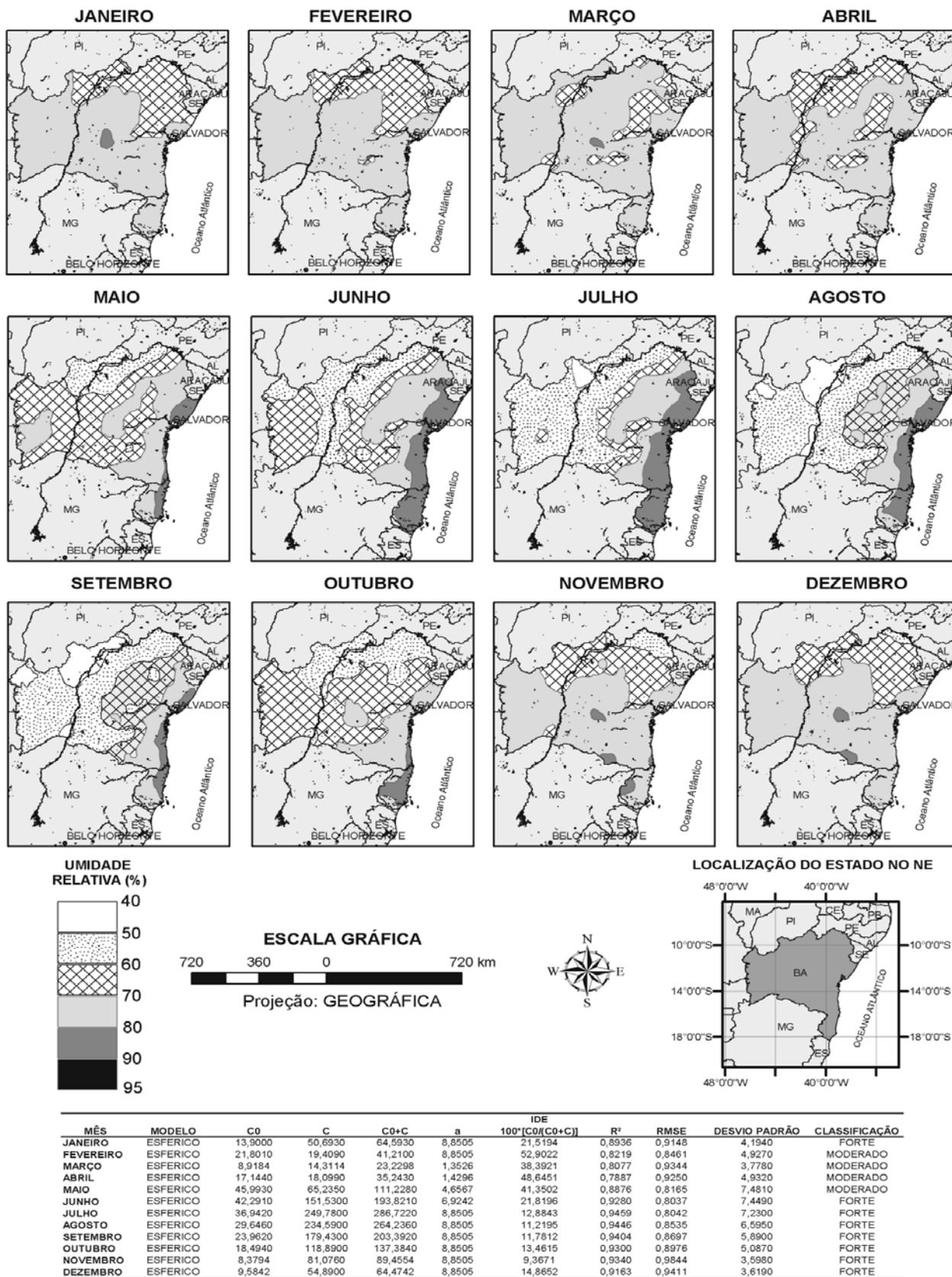


Figura 7. Espacialização e resultados da análise de semivariograma dos valores normais mensais da umidade relativa do ar para o Estado da Bahia.

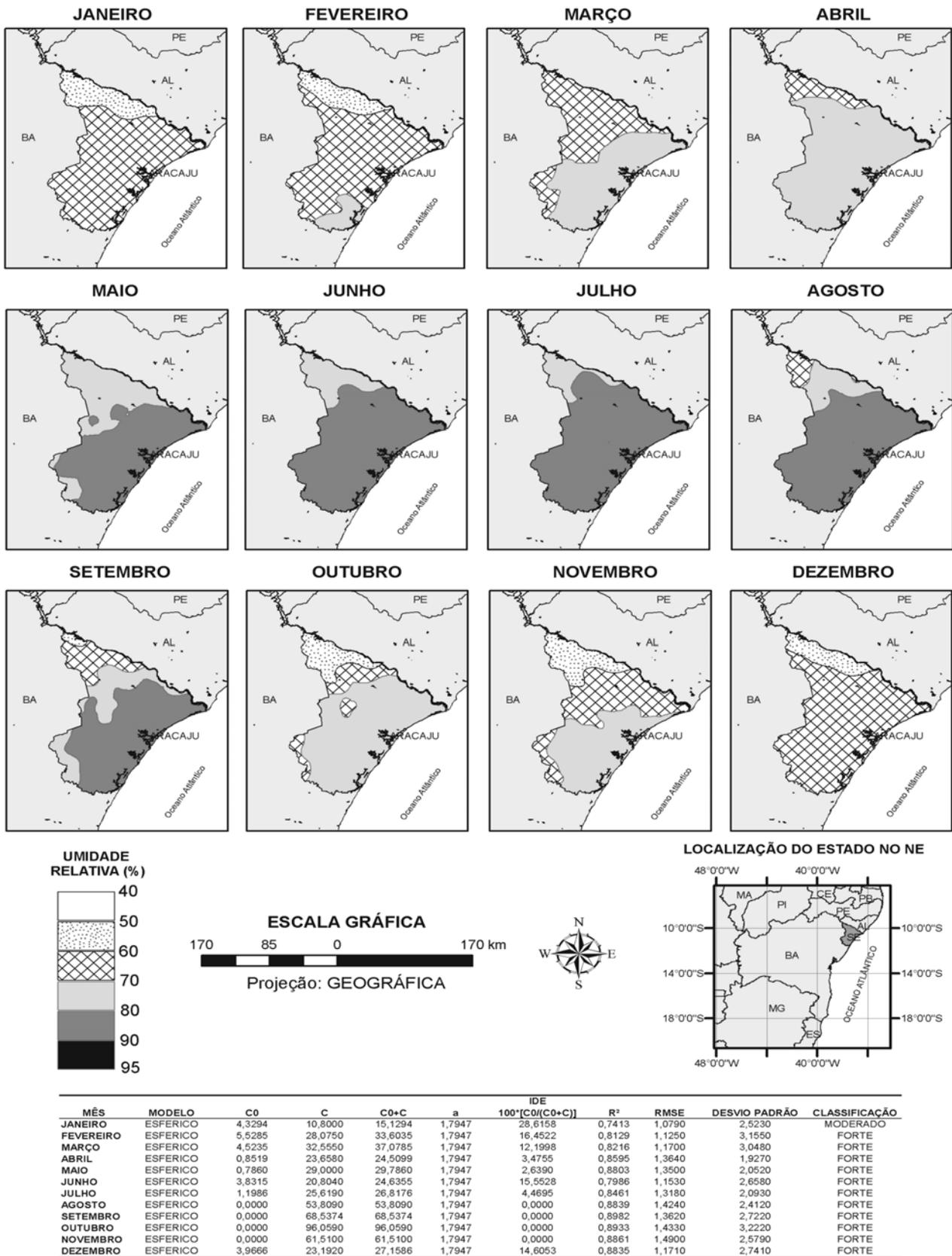


Figura 8. Espacialização e resultados da análise de semivariograma dos valores normais mensais da umidade relativa do ar para o Estado de Sergipe.

demais meses, no entanto, os valores de umidade relativa do ar atingem, na maior parte dos Estados, valores na faixa de 60 a 70%.

Valores mais críticos (50 a 60%) são observados na área mais continental dos estados de Alagoas e Sergipe, onde as chuvas são reduzidas durante os meses de outubro a março e onde está compreendida parte da região semi-árida do Nordeste Brasileiro. Na Bahia, em contraste, os meses mais chuvosos e quentes do ano estão concentrados de novembro a abril. Na região mais continental desse Estado, compreendendo também áreas situadas na região semi-árida, a umidade relativa do ar está entre 70 e 80% no período úmido. Por outro lado, é possível observar que, durante os meses mais secos (maio a outubro), a umidade relativa do ar atinge valores abaixo de 60% em áreas que se estendem desde a região semi-árida até o oeste do Estado.

AMORIM NETO et al. (2001) citam que, para a exploração comercial do algodoeiro perene os valores de umidade relativa do ar variando entre 55 e 75% são os mais recomendados para o período de semeadura da cultura (novembro e dezembro), enquanto que para o algodão anual recomenda-se o plantio em regiões em que os valores dessa variável sejam da ordem de 60%. Como é possível observar nos mapas da Figura 7, com exceção do sul da região litorânea do estado da Bahia e algumas pequenas áreas situadas nas regiões central e centro sul do Estado, que apresentam umidade relativa acima de 80% por vários meses do ano, as demais regiões possuem as melhores condições, para a exploração comercial dessas espécies. Em contraste, nos estados de Alagoas e Sergipe, valores de umidade relativa superiores a 80% são observados de maio a setembro em grande parte destes estados, o que restringe o cultivo do algodoeiro em razão da incidência e proliferação de doenças fúngicas. Similarmente, em regiões onde os valores de umidade relativa são iguais ou superiores a 70%, o cultivo de espécies como o dendezeiro e a mamoneira (AMORIM NETO et al., 2001; BASTOS et al., 2001), bem como o cultivo do cajueiro, que necessita de valores de umidade do ar situados na faixa de 65 a 85%, podem favorecer um bom desenvolvimento dessas espécies (AGUIAR et al, 2001).

Conclusões

O modelo multiplicativo proposto mostrou-se adequado para estimativa dos valores normais mensais de umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe. Dentre inúmeras variáveis avaliadas nesse estudo, constatou-se que os valores normais mensais do índice efetivo de umidade e da interação entre a longitude e a temperatura média do ar foram os que mostraram a maior relação de dependência com a umidade relativa do ar, tanto entre localidades como ao longo do ano para uma mesma localidade. Com o modelo multiplicativo proposto, foi possível elaborar os mapas mensais normais da umidade relativa do ar com maior exatidão, o que auxiliará na elaboração de zoneamentos agroclimáticos e bioclimáticos.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, J.M.J.N; NETO, N.C.S.; BRAGA, C.C. Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) na região Nordeste do Brasil e no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.557-563, 2001. (Nº. Especial: Zoneamento Agrícola).
- AMORIM NETO, M. da S. et al. Zoneamento agroecológico e definição de época de semeadura do algodoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.422-428, 2001. (Nº. Especial: Zoneamento Agrícola).
- AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. DE; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e Solo. In: Azevedo, D. M. P. de & Lima, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 63-76, 2001.
- BASTOS, T.X. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.564-570, 2001. (Nº. Especial: Zoneamento Agrícola).
- BELTRÃO, N.E. de M. et al. Zoneamento e época de plantio para o algodoeiro no norte do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p. 99-105, 2003.

- BERRY, F.A.; BOLLAY, E.; BEERS, N.R. **Handbook of meteorology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1945. 1068p.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Medison, v.58, p.1240-1248, 1994.
- CASTELLVÍ, F. et al. Analysis of methods for estimating vapor pressure deficits and relative humidity. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.82, p. 29-45. 1996.
- CAVALCANTI, E.P.; SILVA, E.D.V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 1994, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994, p.154-157.
- DeFELICE, T.P. **An introduction to meteorological instrumentation and measurement**. New Jersey: Prentice Hall, 1998, 229 p.
- HAMER, P.J.C. Simulating the irrigation requirements of a greenhouse crop. **Acta Horticulturae**, Tel Aviv, v. 443, p.147-154, 1997.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.
- JACOVIDES, C.P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, v. 27, p. 365-371, 1995.
- JARVIS, P.G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B**, v. 273, p. 593-610, 1976.
- LAURENCE, H. et al. Estimation of the spatial pattern of surface relative humidity using ground based radar measurements and its application to disease risk assessment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.111, p. 223-231, 2002.
- MEIDEIROS, S.S. et al. 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, v.9, n.2, p. 247-255, 2005.
- SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.1, p. 57-61, 1998.
- SILVA, T.G.F. da et al. Estimativa e espacialização da umidade relativa para o estado do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004. [CD-ROM].
- SEDIYAMA, G.C.; et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, RS, v.9, n.3, p.501-509, 2001. (Nº. Especial: Zoneamento Agrícola).
- SEI- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Análise dos atributos climáticos do Estado da Bahia**. Salvador, 1998. 85p. (Série Estudos e Pesquisa, 38).
- TEIXEIRA, A.H.de C. Estimativa da umidade relativa do ar no estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEROLOGIA, 2, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. [CD-ROM].
- TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Espacialização da umidade relativa do ar no estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEROLOGIA, 12, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p.73 - 74.
- TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Mapeamento da umidade relativa no estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de

Meteorologia, 2002. [CD-ROM].

TEIXEIRA, A.H.T.; AZEVEDO, P.V. Zoneamento agroclimático para a videira européia no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.6, n.1, p.107-111, 2002.

THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographycal Review**, London, v.38, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W; MATHER, R.J. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, v.8, 1955; 104p. (Publication in

Climatology).

TURCO, S.H.N. et al. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado da Bahia. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 20-27, 2006.

ZOLNIER, S., et al. Surface diffusive resistances of rooted poinsettia cuttings under controlled-environment conditions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.44, n.6, p.1779-1787, 2001.

WILLMOTT, C.J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.