

Comparação entre dados de temperatura média de estações meteorológicas com dados do modelo ECMWF entre 2000 e 2009 no Estado do Paraná.

Jerry Adriani Johann^{1,2}
Jansle Vieira Rocha²
Glaucio de Souza Rolim³
Rubens Augusto Camargo Lamparelli^{2,4}
Daniel Garbellini Duft²

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Caixa Postal 0701 - 85819-110 – Cascavel - PR, Brasil
jerry.johann@hotmail.com

²Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 6011 - 13081-970 – Campinas - SP, Brasil
{jansle.rocha@feagri.unicamp.br; danielduft@gmail.com}

³Instituto Agrônômico de Campinas - IAC
Caixa Postal 28 - 13012-970 – Campinas - SP, Brasil
rolim@iac.sp.gov.br

⁴Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI
Caixa Postal 6011, 13081-970 – Campinas, SP, Campinas - SP, Brasil
rubens@cpa.unicamp.br

Abstract. The main goal of this study was to generate Simple Linear Regression (SLR) models between the mean air temperature data (°C) weather stations (SIMEPAR + INMET) and the ECMWF model. We used 360 dekadal data time series from 10 years (2000-2009) on the State of Parana (Brazil). We generated 303 SLR models (one for each 0.25° latitude and longitude) which were evaluated with statistics: r, R², d, c, ME, MAPE and RMSE. Then the results were spatially for analysis by spatial variability. The SLR models had on average R²=0.790 (p<0.05) and a average concordance coefficient d=0.931 showing that models in the State are near the 1:1 line, which is desirable in situations where compare same phenomenon data. The mean error [ME] ranged from -1.81°C (minimum) to 2.33°C (maximum) with a mean of -0.02°C. The average MAPE obtained for the State was 5.84% and the average RMSE was only 1.70, showing a good similarity between collected data from two sources. Thus, we concluded that in most of the State of Parana the ECMWF model informs quite accurately the mean air temperature. Wherefore, the usual difficulties of obtaining these data is finish, because we can use ECMWF data, which has free web distribution, aiding the work of predicting productivity in crop forecasting systems for the State of Parana.

Palavras-chave: remote sensing, modeling, spatial variability; sensoriamento remoto, modelagem, variabilidade espacial.

1. Introdução

Uma das engrenagens motrizes da economia brasileira é a produção agrícola. Assim, a disponibilidade de informações precisas, eficientes e fornecidas em tempo apropriado sobre as safras é altamente relevante para o seu planejamento estratégico.

Diversos trabalhos mostram que as condições meteorológicas ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento das culturas são as principais responsáveis pela definição da produtividade final (Medeiros et al., 1991; Berlato et al., 1992; Fontana et al., 2001; Dourado Neto et al., 2004; Coral et al., 2005; Faria et al., 2005; Rizzi et al., 2006; Krüger et al., 2007). As variáveis agrometeorológicas críticas associadas com a produção agrícola são a radiação solar, a temperatura do ar e a precipitação. A radiação solar é a fonte de energia para o processo de fotossíntese e afeta a distribuição de carboidratos das diferentes partes da planta.

A temperatura regula as taxas de crescimento e desenvolvimento da planta. A precipitação não controla diretamente nenhum processo nas plantas, mas, atua como modulador, afetando assim, o desenvolvimento da planta (Serio et al., 2006).

Para realização de monitoramento de culturas e estimativa de produtividade é necessário que se tenham informações do seu local de plantio e estado vegetativo. Porém, torna-se imprescindível o conhecimento de variáveis agrometeorológicas confiáveis e que os modelos de estimação estejam bem calibrados (Long et al., 2006). Os dados agrometeorológicos obtidos através de observações ou estimados por modelos climáticos, tem sido cada vez mais utilizados como dados de entrada em modelos de previsão de produtividade. Dados de temperatura, precipitação, evapotranspiração e radiação, com diferentes escalas e resoluções, são necessários, por exemplo, em modelos de monitoramento de desenvolvimento de plantas, modelos de crescimento, de penalização de produtividade e modelos de produtividade (Deppe et al., 2006).

Assim, estas variáveis agrometeorológicas, bem como suas estimativas, são cada vez mais importantes para serem utilizados como entrada em modelos regionais e globais e, devem, dentro do possível, estar disponíveis praticamente em tempo real. Entretanto, restrições como logística, custos, área de cobertura, calibração de equipamentos, armazenamento e consistências dos dados são fatores que dificultam a obtenção destes dados numa densidade desejável de estações meteorológicas (Deppe et al., 2006).

No Brasil, a baixa densidade de estações meteorológicas associada ainda à dificuldade de obtenção destas informações por parte dos usuários, faz com que o a utilização de modelos atmosféricos regionais e globais seja cada vez mais utilizados. As estimativas dos dados agrometeorológicos são derivadas, em geral, de sistemas complexos e sofisticados, que integram dados de satélites (imageadores e não imageadores), dados de radar, modelos matemáticos, que são calibrados com dados observados em estações meteorológicas. O dados agrometeorológicos obtidos do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*) são um exemplo de dados espacializados deste gênero. Além de permitirem a obtenção de dados em nível regional e global, apresentam a grande vantagem de serem de distribuição gratuita na *web*, eliminando-se assim, problemas comumente encontrados com obtenção de dados agrometeorológicos de estações meteorológicas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi comparar os dados de Temperatura Média (°C) obtidos de estações meteorológicas (SIMEPAR e INMET) com os do modelo ECMWF, sobre o Estado do Paraná, a fim de verificar o grau de concordância entre as fontes de dados.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado no Estado do Paraná onde se encontram localizadas 38 estações meteorológicas automáticas do SIMEPAR, 08 estações meteorológicas convencionais do INMET e 303 pixels do ECMWF, como mostra a Figura 1.

Os dados globais de temperatura média (°C) do ECMWF foram obtidos gratuitamente no *website* do JRC (JRC, 2009) com uma resolução espacial de 0,25 graus ($\pm 25 \times 25$ km), como ilustra a Figura 1. Os dados são disponibilizados na escala decendial e para este estudo, foram utilizados dados de 360 decêndios (10 anos) entre 2000011 (1º decêndio de janeiro de 2000) e 2009123 (3º decêndio de dezembro de 2009).

Os dados diários de temperatura média de superfície foram obtidos junto às 46 estações meteorológicas do SIMEPAR e do INMET. A partir destes dados diários, procedeu-se a média decendial para estarem na mesma escala dos dados do ECMWF. Para as situações em que houve dados diários faltantes (DDF) dentro do decêndio, procedeu-se da seguinte forma: para $DDF \leq 4$ dias, utilizou-se a média de temperatura dos demais dias no decêndio para representá-lo; caso contrário ($DDF \geq 5$), todo o decêndio foi desconsiderado, ou seja, estes

decêndios foram tratados como decêndios faltantes na análise. Foi utilizado o mesmo período de dados (10 anos) do ECMWF.

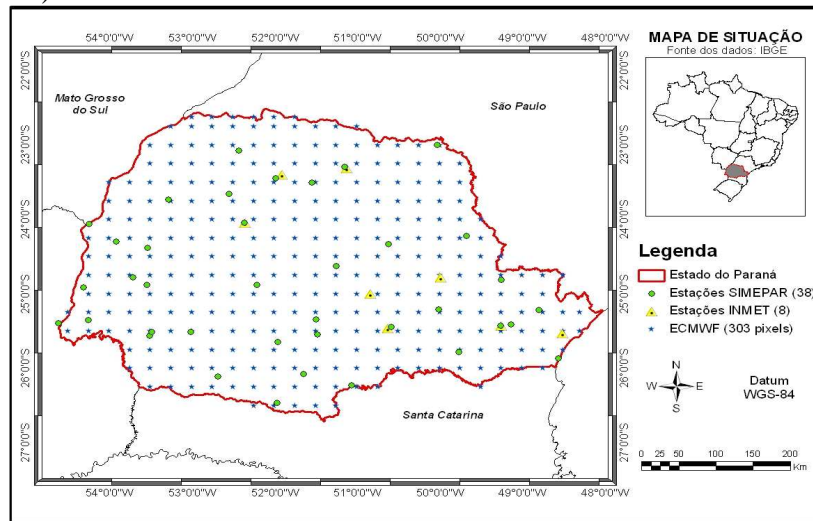


Figura 1. Mapa de localização das 46 estações meteorológicas (SIMEPAR e INMET) e dos 303 pixels do ECMWF no Estado do Paraná.

O procedimento de comparação consistiu em gerar modelos de regressão linear simples entre as duas fontes de dados, considerando os dados das estações meteorológicas do SIMEPAR+INMET (X_{si}) e do ECMWF (Y_{ec}). Entretanto, como as coordenadas geográficas dos 303 pixels do ECMWF não eram coincidentes com as posições geográficas das estações meteorológicas, como ilustra a Figura 1, procedeu-se a interpolação dos dados decenciais de temperatura média das 46 estações meteorológicas, pelo método interpolação do Inverso Quadrado da Distância (IQD), com resolução espacial de 5x5km. Em seguida, os dados de temperatura média decencial foram extraídos dos mapas interpolados (para as mesmas coordenadas geográficas dos 303 pixels do ECMWF) através de um sistema de extração de dados de imagens desenvolvido por Esquerdo (2007) em linguagem IDL. De posse destas informações procedeu-se a geração dos modelos de regressão linear simples (RLS $\rightarrow Y_{ec} = a + bX_{si}$) entre as fontes de dados, para cada um dos pixels do ECMWF (303).

Os modelos de RLS foram avaliados a 5% de significância ($\alpha=5\%$), inicialmente pela análise de variância (ANOVA) para verificação do modelo gerado e, posteriormente, os coeficientes do modelo de RLS [a e b] foram submetidos aos testes de hipóteses para averiguar as hipóteses abaixo.

$$H_0: a = 0 \quad \text{vs} \quad H_1: a \neq 0 \qquad H_0: b = 1 \quad \text{vs} \quad H_1: b \neq 1$$

A avaliação dos resultados dos modelos deu-se através do Coeficiente de Correlação [r], Coeficiente de Determinação [R^2], Erro Médio (*Mean error*) [ME] (Eq.1), Raiz do Erro Médio Quadrático (*Root mean square error*) [RMSE] (Eq.2), Coeficiente de Confiança de Camargo e Sentelhas (1997) [c] (Eq.3), Erro Percentual Médio Absoluto (*Mean absolute percentage error*) [MAPE] (Eq.4), Coeficiente de Concordância de Willmott et al. (1985) [d] (Eq.5).

$$ME = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (X_{si} - Y_{ec}) \quad (1) \qquad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (X_{si} - Y_{ec})^2} \quad (2) \qquad c = r * d \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left[\left| \frac{X_{si} - Y_{ec}}{X_{si}} \right| * 100 \right] \quad (4) \qquad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ec} - X_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_{ec} - \bar{X}_{si}| + |X_{si} - \bar{X}_{si}|)^2} \quad (5)$$

em que: n = número de decêndios; X_{si} = dado da temperatura média das estações do SIMEPAR+INMET; Y_{ec} = dado da temperatura média observado do ECMWF; \bar{X}_{si} = valor médio da temperatura média das estações do SIMEPAR+INMET.

3. Resultados e Discussões

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas descritivas dos 303 modelos de regressão linear simples (RLS) para o Estado do Paraná. Observa-se que para os 303 pixels distribuídos pelo Estado, houve correlação [r] entre as duas fontes de dados variando entre 0,840 e 0,921 com média de 0,889 e coeficiente de variação (CV) de 1,92%, ou seja, uma baixa variabilidade espacial.

Os modelos de Regressão Linear Simples (RLS) ajustados para os 360 decêndios (10 anos) foram todos significativos a 5% (ANOVA) e tiveram em média um $R^2=0,790$ e um coeficiente de concordância de Willmott [d] médio de 0,931 mostrando que o modelo RLS entre os dados do ECMWF e do SIMEPAR+INMET encontra-se próximo da linha 1:1, o que é desejável em situações onde comparam-se dados do mesmo fenômeno, obtidos por formas diferentes. A Figura 2 mostra o comportamento destas medidas estatísticas [r, R^2 , d] para os 303 pixels em que houve ajuste de modelos de RLS.

O coeficiente de confiança [c] variou entre 0,708 (mínimo) e 0,880 (máximo) com média de 0,828 para os 303 modelos. Segundo a classificação proposta por Camargo e Sentelhas (1997), 25% destes modelos foram classificados como de “ótimo” desempenho ($c > 0,85$), outros 70% foram categorizados como de “muito bom” desempenho ($0,76 < c < 0,85$) e os demais modelos de RLS (5%) como de “bom” desempenho ($0,66 < c < 0,75$).

Tabela 1. Estatística descritiva dos modelos de RLS de temperatura média (°C) entre as estações meteorológicas (SIMEPAR+INMET) e o modelo ECMWF.

<i>Estatísticas</i>	<i>RLS (a)</i>	<i>RLS (b)</i>	<i>r</i>	<i>R²</i>	<i>ME</i>	<i>MAPE</i>	<i>RMSE</i>	<i>d</i>	<i>c</i>
n	303	303	303	303	303	303	303	303	303
Mínimo	-1,104	0,652	0,840	0,705	-1,81	4,04	1,29	0,829	0,708
1º Quartil	0,807	0,882	0,879	0,772	-0,38	4,84	1,52	0,926	0,814
Média	1,864	0,909	0,889	0,790	-0,02	5,84	1,70	0,931	0,828
Mediana	1,739	0,909	0,890	0,792	0,05	5,49	1,67	0,938	0,833
3º Quartil	2,813	0,948	0,901	0,812	0,37	6,24	1,82	0,945	0,850
Máximo	5,145	1,007	0,921	0,848	2,33	14,53	2,87	0,957	0,880
DP	1,311	0,054	0,017	0,030	0,66	1,42	0,24	0,022	0,033
CV(%)	70,32	5,98	1,92	3,82	4034,67	24,32	13,89	2,37	3,98

Nota: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; r = coeficiente de correlação; R^2 = coeficiente de determinação; d = coeficiente de concordância; ME= erro médio; MAPE = erro percentual médio absoluto; RMSE = raiz do erro médio quadrático; c = coeficiente de confiança.

A Figura 3 ilustra apenas como exemplo, a série histórica de dados (360 decêndios entre 2000 e 2009) de temperatura média (pixel 290 → que se encontra na latitude de -24°30'S e longitude de 52°00'W) obtida pelas estações meteorológicas [X_{si}] e pelo modelo ECMWF [Y_{ec}]. Pela curva da Diferença ($X_{si} - Y_{ec}$) de temperatura entre as duas fontes, fica evidente que os dados dos anos 2000 e 2001 foram os que mais diferiram entre si. Entretanto, na maior parte da série, a temperatura média das estações meteorológicas foi ligeiramente maior que a obtida pelo ECMWF.

Pela Tabela 1, vê-se que o coeficiente angular [b] teve média de $b=0,909$ com pequena variação ($CV=5,95\%$), o que não ocorreu com o coeficiente linear (média=1,864) com $CV=70,32\%$ para os 303 modelos ajustados. Já em relação à análise da diferença de temperatura média entre as duas fontes de dados, pela Tabela 1 observou-se para o 303 modelos foram encontrados Erros Médios [ME] que variaram entre -1,81°C (mínimo) até 2,33°C (máximo) com média de -0,02°C. Pela Figura 5g é possível verificar que em 60% do Estado houve $-0,51^\circ\text{C} < ME < 0,45^\circ\text{C}$, ou seja, erros médios relativamente baixos entre as duas fontes de dados. Em outra análise, detectou-se que em 47% do PR o ECMWF superestimou (da metade do Estado para o Norte) e no restante (53%) ele subestimou a temperatura média em relação aos dados das estações meteorológicas.

Já o Erro Percentual Médio Absoluto [MAPE] mostrou que os dados do ECMWF em relação aos das estações meteorológicas do SIMEPAR+INMET, tiveram variação de

temperatura média entre 4,04 e 14,53%, com média de 5,84%. Entretanto, pela Figura 5h vemos que espacialmente 80% do Estado tiveram $4,04\% < MAPE < 6,59\%$, evidenciando a boa similaridade existente entre os dados obtidos pelas duas fontes. Além disto, os maiores valores de MAPE encontram-se justamente naquelas regiões onde foram encontrados os piores ajustes para os modelos de RLS, expressos pelas estatísticas r , R^2 , d e c (Figuras 5a, 5d, 5e, 5f). O RMSE também pode ser entendido como sendo o Erro Aleatório [Ea] dos modelos, ou seja, é resultado da falta de precisão de uma medida. No caso, o RMSE médio encontrado para os 303 modelos foi de apenas 1,70 e quanto menor é esta medida, melhor é a habilidade do modelo em fazer previsões. Pela Figura 5i vemos que os maiores RMSE encontram-se a norte do PR, o que é explicado pelos mesmos motivos apresentados para a estatística MAPE.

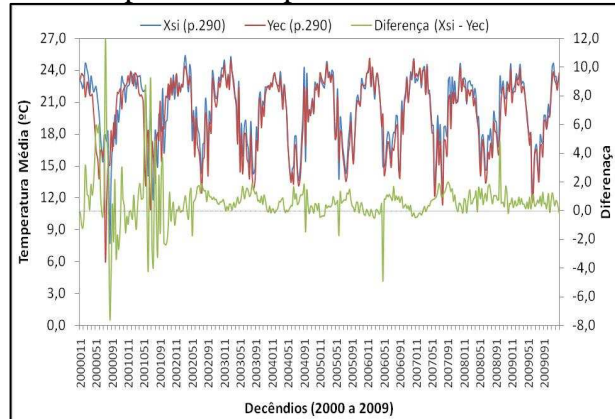
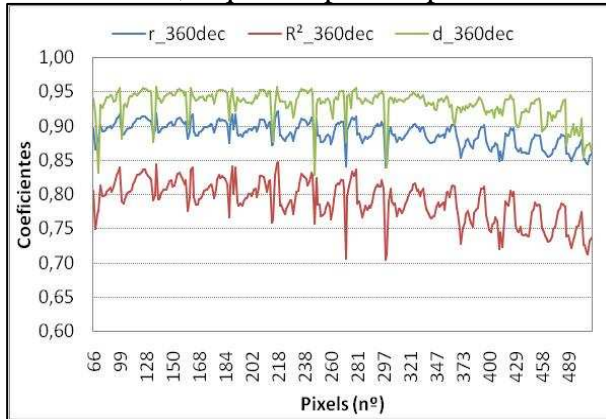


Figura 2. Gráfico dos coeficientes de correlação (r), de determinação (R^2) e de concordância de Willmott (d) entre os 360 decêndios de Temperatura Média ($^{\circ}\text{C}$) do SIMEPAR+ INMET e do ECMWF.

Figura 3. Gráfico dos 360 decêndios de Temperatura Média ($^{\circ}\text{C}$) do pixel 290 do SIMEPAR+ INMET (X_{si}) e do ECMWF (Y_{ec}).

A Figura 4 mostra como exemplo, os modelos ajustados de RLS para os pixels (298; 290; 218), ou seja, os modelos de RLS que tiveram o pior (Figura 4a), médio (Figura 4b) e melhor (Figura 4c) valores de coeficientes de correlação [r], de determinação [R^2] e de concordância de Willmott [d] para os 360 decêndios de temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) do SIMEPAR+ INMET e do ECMWF no Paraná. Fica evidente o bom ajuste dos dados entre as fontes, mostrando que eles, embora levantados por diferentes procedimentos, descrevem o fenômeno de forma muito similar, o que permite conseqüentemente inferir que os dados de temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) obtidos pelo modelo ECMWF são boas estimativas deste fenômeno.

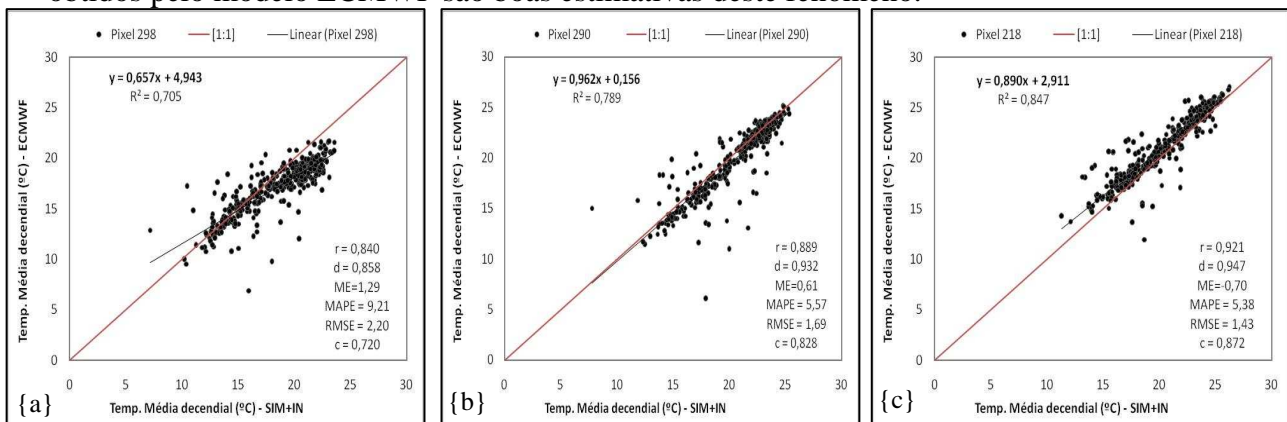


Figura 4. Gráficos exemplificando os modelos de RLS que tiveram o pior {a}, médio {b} e melhor {c} valores de coeficientes de correlação (r), de determinação (R^2) e de concordância de Willmott (d) para os 360 decêndios de Temperatura Média ($^{\circ}\text{C}$) do SIMEPAR+ INMET e do ECMWF no Paraná.

Para facilitar a visualização do comportamento espacial por todo Estado, confeccionaram-se os mapas da distribuição espacial, com a legenda subdividida em percentis (20%) [P:20%],

dos coeficientes de correlação [r], RLS-linear [a], RLS-angular [b], determinação [R²], concordância [d], confiança [c], e dos erros médio [ME], erro percentual médio absoluto [MAPE], raiz do erro médio quadrático [RMSE], como vê-se na Figura 5.

Pelas Figuras 5a, 5d, 5e, 5f observa-se que os melhores ajustes alcançados (maiores valores de r, R², d e c) entre as duas fontes de dados (SIMEPAR+INMET vs ECMWF) ocorreram na região sudeste e os piores na região Norte do PR. Blain et al., (2006) estudando dados de temperatura média do ar, compararam dados de 12 estações meteorológicas do Estado de SP com os dados obtidos do modelo ECMWF nos meses de outubro e novembro de 2005 e janeiro e março de 2006. Constataram que a temperatura média medida pelo ECMWF foi superestimada em relação aos dados das estações, obtendo um R²=0,75 com os dados originais, e após a retirada dos erros sistemáticos, um R²=0,83. Já Melo e Fontana (2006) estudando dados decendiais de temperatura média do modelo ECMWF e 17 estações meteorológicas no Estado do RS, entre início de 2003 e fim de 2005, constataram que os dados do ECMWF subestimaram em 1,1°C com R² = 0,745, concluindo que a temperatura média do ECMWF pode ser utilizada com segurança para estimativa deste fenômeno.

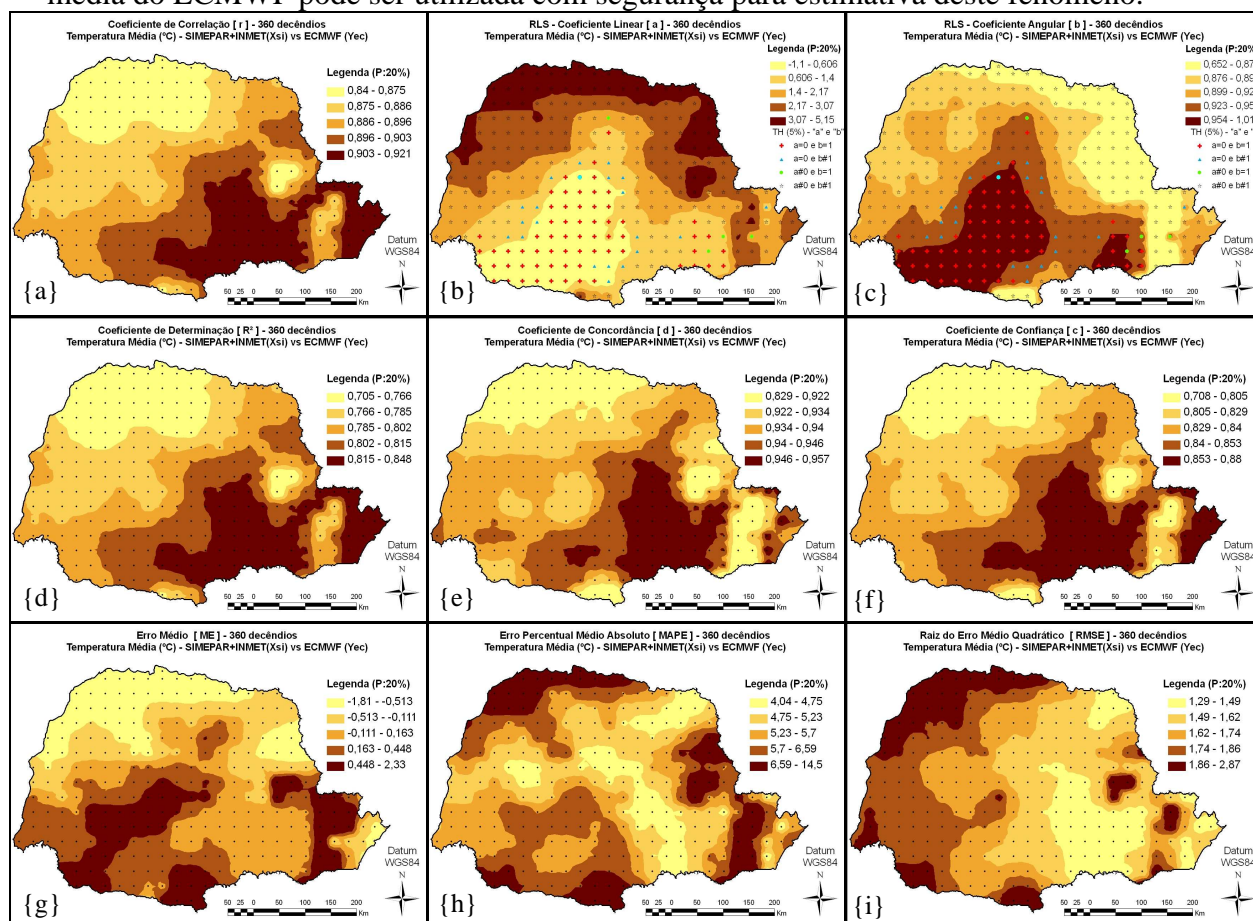


Figura 5. Mapas da distribuição espacial dos modelos de RLS dos 360 decênios de Temperatura Média (°C) do SIMEPAR+ INMET e do ECMWF no Paraná: {a}coeficiente de correlação [r]; {b}coeficiente linear [a]; {c}coeficiente angular [b]; {d}coeficiente de determinação [R²]; {e}coeficiente de concordância de Willmott [d]; {f}coeficiente de confiança [c];{g}erro médio [ME]; {h}erro percentual médio absoluto [MAPE]; {i}raiz do erro médio quadrático [RMSE].

Os menores valores do coeficiente linear [a] encontram-se a Sudoeste (Figura 5b), ao contrário do que ocorreu com o coeficiente angular [b] (Figura 5c) nos modelos de RLS. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da aplicação do testes de hipóteses ($\alpha=5\%$) para os coeficientes “a” e “b” do modelo de RLS. Nas Figuras 5b e 5c são evidenciados (com símbolos e cores em cada pixel) cada uma das combinações dos testes de hipóteses (TH) apresentadas na Tabela 2. Vê-se que os resultados não estão aleatoriamente distribuídos pelo

Estado, mas sim, existem regiões específicas e de transição entre os diferentes resultados observados na Tabela 2. A única exceção ocorreu para os 4 (1,3%) modelos de RLS sob a condição de $a \neq 0$ e $b = 1$, ou seja, situação em que estatisticamente a RLS não passa pela origem (0,0), mas o coeficiente angular estatisticamente é igual a 1. Neste caso, deve-se proceder a calibração dos modelos para serem utilizados. Verificou-se que 66 (21,8%) modelos tiveram como resultados $a=0$ e $b=1$, indicando que para estes casos os modelos gerados passam pela origem (0,0) e tem estatisticamente como coeficiente linear $b = 1$, ou seja, para esta região (Figuras 5b e 5c) a temperatura média obtida pelas estações meteorológicas são estatisticamente semelhantes às obtidas pelo ECMWF. Para as diferentes combinações, os 233 (76,9%) modelos de RLS precisam ser calibrados para serem utilizados como representativos para o Estado.

Tabela 2. Teste de hipóteses (TH) aplicados aos coeficientes linear [a] e angular [b] gerados nos modelos de RLS.

TH ($\alpha=5\%$) Coeficiente Linear (a)	TH ($\alpha=5\%$) - Coeficiente Angular (b)		Total geral
	$H_0: (b = 1)$	$H_1: (b \neq 1)$	
$H_0: (a = 0)$	66 (21,8%)	21 (6,9%)	87
$H_1: (a \neq 0)$	4 (1,3%)	212 (70,0%)	216
Total geral	70	233	303

Nota: valores entre parênteses representam a proporção em relação ao total de modelos (303)

4. Conclusões

Em função dos bons resultados alcançados no procedimento de modelagem entre os dados de temperatura média de superfície (SIMEPAR+INMET) e o modelo atmosférico ECMWF, conclui-se que em parte do Estado do Paraná o modelo ECMWF informa corretamente o fenômeno. Ademais, observou-se que 21,8% dos modelos de RLS (situações em que foram significativas $a=0$ e $b=1$) poderiam já ser utilizados para prever a temperatura média de superfície com base nos dados do ECMWF. Nos demais casos, será necessário a geração de modelos de calibração, atividade que será desenvolvida na seqüência do trabalho, a fim de que novos dados do ECMWF possam ser utilizados em todo Estado com uso destes modelos de calibração. Com a conclusão deste procedimento, as habituais dificuldades de obtenção destes dados de superfície deixam de existir, já que poderemos utilizar os dados do ECMWF, que tem distribuição gratuita na *web*, facilitando assim, trabalhos de predição de produtividade em sistemas de previsão de safras para o Estado do Paraná.

Agradecimentos

Ao SIMEPAR e ao INMET pela disponibilização dos dados das estações meteorológicas do Estado do Paraná.

Referências Bibliográficas

- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C.; GONÇALVES, H.M. Relação entre rendimento de grãos de soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.27, n.5, p.695-702, maio, 1992.
- BLAIN, G.C.; ROLIM, G.de S.; CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O. Relação entre os dados meteorológicos ECMWF preparados pelo JRC-MARS-FOOD e dados de superfície para estimativa de produtividade de soja no Estado de São Paulo, Brasil. p.61-68. In: 2° INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.
- CAMARGO, A. P. DE; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CORAL, A.; ASSAD, E.; PINTO, H.S.; IAFFE, A. Utilização de um modelo agrometeorológico na estimativa de produtividade da cultura da soja no Estado do Paraná. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2005, Campinas/SP, **Anais...** Campinas, 2005.

DEPPE, F.; MARTINI, L.; LONHMANN, M.; ADAMI, M. Validation studies of ECMWF precipitation data with observed SIMEPAR ground data (meteorological stations). p.83-92. In: 2° INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.

DOURADO NETO, D.; SPAROVEK, G.; FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. de; FANCELLI A.L.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.2, p-359-367, 2004.

ESQUERDO, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. 186p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2007.

FARIA, R.T. de; CARAMORI, P.H; ADAMI, M.; DEPPE, F. Uso de geoprocessamento para simular e avaliar a produtividade regional de soja no Paraná. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 2005. Goiânia/GO. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.103-109, 2005.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H.; MELLO, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.399-403, março, 2001.

JRC - JOINT RESEARCH CENTRE. **Dados meteorológicos simulados pelo modelo do ECMWF**. 2009. Disponível em: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/About-us/FOODSEC/Data-Distribution>. Consultado em 16 de dezembro de 2009.

KRÜGER, C.A.M.B.; FONTANA, D.C.; MELO, R.W. Estimativa do rendimento de grãos da soja no Rio Grande do Sul usando um modelo agrometeorológico-espectral regionalizado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba/SP, v.15, n.3, p.210-219, 2007.

LONG, M.E.F.; HURTADO, R.H.; MURPHY, G.M. Validación de las temperaturas máximas y mínimas diarias de la región pampeana estimadas por el modelo atmosférico del ECMWF. p.37-44. In: 2° INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.

MEDEIROS, S.L.P.; WESTPHALEN, S.L.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.26, n.1, p.1-10, janeiro, 1991.

MELO, R.W.de; FONTANA, D.C. Avaliação de dados meteorológicos disponíveis no *website* do *Joint Research Centre*. p.105-112. In: 2° INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; FREITAS, R.M.; FONTANA, D.C. Monitoramento e estimativa da produtividade de soja auxiliados pelo modelo regional de previsão de tempo ETA. **Revista Ambi-Água**, Taubaté/SP, v.1, n.2, p.28-38, 2006.

SERIO, L.; SPESCHA, L.; MURPHY, G.M. Validación de las precipitaciones decádicas de la región pampeana na estimadas por el modelo atmosférico del ECMWF. p.45-52. In: 2° INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.

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