

Avaliação das previsões de temperatura do modelo ETA para o Estado do Paraná

Sulimar Munira Caparoci Nogueira¹
Maurício Alves Moreira¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{suli, mauricio}@dsr.inpe.br

Abstract. Climate data from weather stations may present information failures. Furthermore, meteorological stations in Brazil are often sparsely distributed, which restricts the use of this information only to places where it is available. On the other hand, when climatic information is available through numerical weather forecast models, it is advantageous because it covers extensive surface area and can supplement a lack of observations of meteorological variables in the field. However, numerical modeling still does not faithfully represent atmospheric processes, and knowledge of errors associated with the models are important for its validation and calibration. This work aims to evaluate the errors associated with the predictions of maximum, average and minimum temperatures (°C) in the State of Parana, obtained by the Regional ETA model made available by the Center for Weather Forecast and Climatic Studies (CPTEC/INPE). To this end, the following statistical parameters were used: mean of errors (MBE), the root-mean-square error (RMSE) and mean absolute errors (MAE) for the period from May 8, 2011 to October 31, 2011. The results showed that, in comparison to the data measured at meteorological stations, the maximum temperature supplied by the ETA model is underestimated while the average and minimum temperatures are overestimated. For the period and region analyzed, it was found that of the three studied variables, the mean temperature of the air is the variable best represented by modeling.

Palavras-chave: Temperature data, numerical weather models, meteorological stations, Dados de temperatura, modelo numéricos de tempo, estações meteorológicas.

1. Introdução

Dados climáticos provenientes de estações meteorológicas podem apresentar falhas de informações, tanto associadas com ao formato dos dados, quanto à medidas não realizadas ou até mesmo dados eliminados devido ao erro de coleta (ADAMI et al., 2006). Além disso, as estações meteorológicas são esparsamente distribuídas, o que restringe seu uso apenas aos locais onde os dados estão disponíveis, pois dados meteorológicos obtidos em um local podem não ser satisfatórios para outros locais, mesmo que esse esteja situado a uma distância pequena em função da variação das condições locais (WITHERS, 1977). No Brasil essa situação é agravada de um Estado para outro, por exemplo, os estados de São Paulo e Paraná possuem um número superior de estações meteorológicas se comparado ao estado de Minas Gerais. Essa situação leva a concluir que é mais vantajoso estabelecer metodologias que utilizam dados obtidos a partir de previsões dos modelos numéricos de tempo. De acordo com Pinto et al. (2010), a modelagem numérica mostra-se uma ferramenta eficiente para gerar séries históricas e possível solução à carência de observações das variáveis meteorológicas coletadas em campo. Além disso, de acordo com os mesmos autores, possibilita sua expansão às regiões mais remotas, onde a coleta de dados climáticos é difícil de ser realizada.

Um exemplo de modelagem de tempo é o Modelo Regional ETA, desenvolvido pela Universidade de Belgrado e o Instituto Hidrometeorológico da Iugoslávia (BLACK, 1994). Operacionalizado pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), o Modelo ETA foi instalado no Brasil em 1996 no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC (CHOU, 1996). Segundo Chou et al. (2007), o modelo cobre grande parte da América do Sul e fornece dados duas vezes ao dia (00 UTC e 12 UTC) com antecedência de até 120 horas.

Em função da complexidade, a modelagem numérica ainda não representa fielmente os processos atmosféricos. Assim, dados observacionais são importantes para conhecimento de

erros associados aos modelos, validação e calibração (DERECZYNSKI et al., 2010). Neste contexto, este trabalho objetiva avaliar os erros associados aos dados de temperatura (máxima, média e mínima (°C)), para o estado do Paraná, disponibilizados por meio do modelo ETA.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende o Estado do Paraná, localizado entre as longitudes oeste 47°50'49"O e 54°41'12"O e latitudes sul 26°40'00"S e 22°30'40"S (Figura 1). Com uma área de aproximadamente 199.307,92 km² (IBGE, 2014), o Estado limita-se a oeste com Mato Grosso do Sul e Paraguai, a norte com São Paulo e ao sul com Santa Catarina e Argentina.

De acordo com a classificação climática de Koeppen, a área de estudo abrange os tipos climáticos Aw, Cfa e Cfb (ALVARES et al., 2013). O tipo predominante na área é o Cfa, caracterizado pelo verão quente, sem estação seca de inverno, em que a temperatura média do mês mais frio está entre -3°C e 18°C. O clima Cfb, é caracterizado pelo verão mais ameno, sendo o mês mais quente com temperatura média inferior a 22°C. Uma pequena porção a leste do Estado apresenta clima Aw, cuja temperatura anual média é de 24,3° e a pluviosidade anual média de 1018 mm, com período chuvoso de novembro a janeiro (CEPAGRI, 2014).

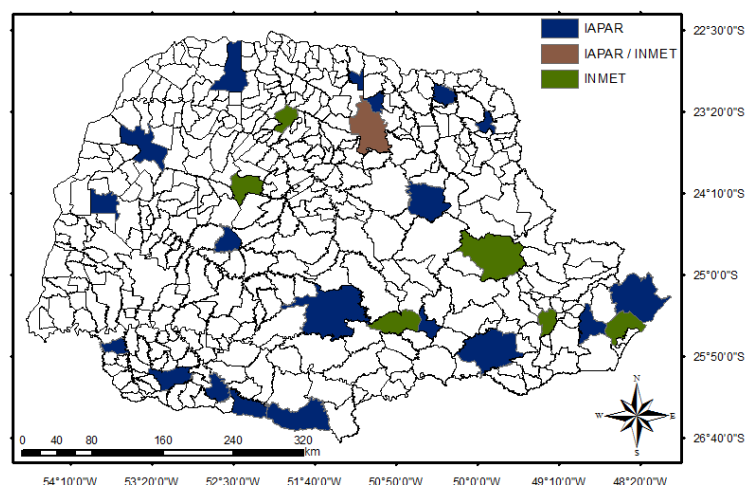


Figura 1. Área de estudo

Utilizou-se as variáveis meteorológicas fornecidas pelo CPTEC, previsão de 24 horas do modelo regional ETA, disponibilizados nos horários de 06 e 18 UTC, com condição inicial às 00 UTC e resolução espacial de 20 km. As informações utilizadas nesta pesquisa são previsões do modelo regional ETA para o período de 8 de maio de 2011 a 31 de outubro de 2011. Foram empregados os dados meteorológicos de temperaturas mínima, média e máxima (°C) do ar. Os dados do Modelo ETA foram adaptados conforme metodologia descrita por Rizzi et al. (2006) e Sugawara (2010). Na primeira fase, os dados horários (correspondentes aos horários de 06 e 18 UTC) foram transformados em formato ASCII para dados diários, com início as 0600 UTC e término no horário 0000 UTC, conforme Equação 1.

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = \frac{T_{06} + T_{18}}{2} \quad (1)$$

Posteriormente, os dados foram especializados no formato de grades regulares com resolução espacial de 20 x 20 km. Em seguida foi calculada a média de cada variável para o período de estudo.

Para avaliar o modelo ETA foram utilizados dados meteorológicos diários de temperaturas (média, máxima e mínima (°C)) obtidos a partir de 8 estações do INMET e 20 estações do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) (Tabela 1). Dados ausentes (falta de informação) foram preenchidos com a média entre as medidas do dia seguinte e do anterior da observação ausente. Para tornarem-se compatíveis com os dados ETA, os dados foram organizados em médias relativas ao período analisado.

As estações utilizadas são identificadas pelo nome da cidade, latitude, longitude e altitude na Tabela 1.

Tabela 1. Localização das Estações Meteorológicas

		Localidade	Lat (°S)	Long (°W)	Altitude (m)
INMET	1	Campo Mourão	-24,05	-52,36	616,4
	2	Castro	-24,78	-50,00	1.008,8
	3	Curitiba	-25,43	-49,26	923,5
	4	Irati	-25,46	-50,63	836,9
	5	Ivaí	-25,00	-50,86	808,0
	6	Londrina	-23,31	-51,13	566,0
	7	Maringá	-23,40	-51,91	542,0
	8	Paranaguá	-25,53	-48,51	4,5
IAPAR	9	Bandeirantes	-23,06	-50,21	440,0
	10	Bela Vista do Paraíso	-22,57	-51,12	600,0
	11	Clevelândia	-26,25	-52,21	930,0
	12	Fernandes Pinheiro	-25,27	-50,35	893,0
	13	Francisco Beltrão	-26,05	-53,04	650,0
	14	Guarapuava	-25,21	-51,30	1.058,0
	15	Guaraqueçaba	-25,16	-48,32	40,0
	16	Ibiporã	-23,16	-51,01	484,0
	17	Joaquim Távora	-23,30	-49,57	512,0
	18	Lapa	-25,47	-49,46	910,0
	19	Londrina	-23,22	-51,10	585,0
	20	Morretes	-25,30	-48,49	59,0
	21	Nova Cantú	-24,40	-52,34	540,0
	22	Palmas	-26,29	-51,59	1.100,0
	23	Palotina	-24,18	-53,55	310,0
	24	Paranavaí	-23,05	-52,26	480,0
	25	Pato branco	-26,07	-52,07	700,0
	26	Planalto	-25,42	-53,47	400,0
	27	Telêmaco Borba	-24,20	-50,37	768,0
	28	Umuarama	-23,44	-53,17	480,0

Para analisar se as diferenças entre os valores estimados pelo Modelo ETA e os valores observados nas estações meteorológicas eram significativos, estabeleceu os seguintes índices estatísticos: regressão linear, média dos erros (MBE), raiz do quadrado médio dos erros

(RMSE) e média dos erros absolutos (MAE) definidos, respectivamente, pelas equações de 2 a 4:

$$MBE = \sum_{i=1}^N \frac{(P_i - P_o)}{N} \quad (2)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{|P_i - P_o|}{N} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(P_i - P_o)^2}{N}} \quad (4)$$

O MBE indica se os dados modelados são subestimados (valor negativo) ou superestimados (valor positivo) em relação aos dados observados. O erro absoluto (MAE) é uma média dos erros absolutos, utilizado para quantificar a proximidade entre o dado estimado e o dado observado. A RMSE é a medida da magnitude média dos erros e será sempre um valor positivo. Quanto mais próximo de zero, maior a precisão da modelagem.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 1 é mostrada a relação das variáveis temperaturas máxima, média e mínima, obtidas por meio do modelo ETA e observações feitas nas estações meteorológicas.

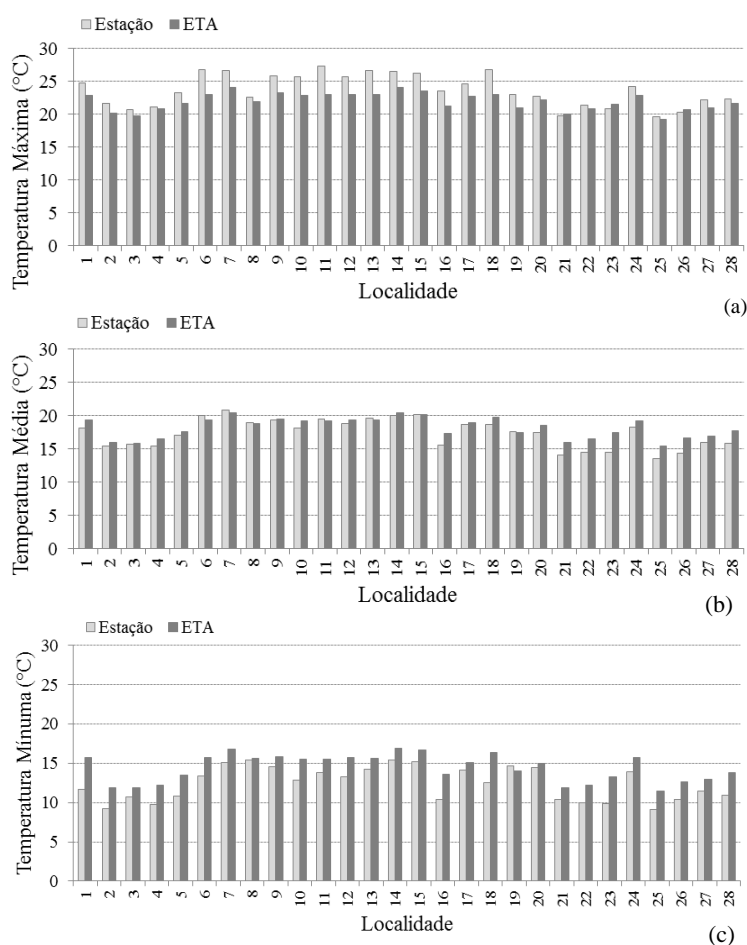


Figura 1. Média das temperaturas em 28 localidades - (a) Temperatura Máxima (°C), (b) Temperatura Média (°C) e (c) Temperatura Mínima (°C)

Ao observar os valores de temperatura máxima contidos na Figura 1, verifica-se que de maneira geral as temperaturas fornecidas pelo modelo ETA foram menores do que as medidas em estações meteorológicas. Observa-se que nas localidades 21, 23 e 26, que corresponde aos municípios de Nova Cantú, Palotina e Planalto, respectivamente, as temperaturas máximas medidas são maiores do que a fornecida pelo modelo ETA.

Ainda de acordo com a Figura 1, em relação às temperaturas médias e mínimas, de modo geral, as medidas de estações meteorológicas foram maiores do que os valores obtidos na modelagem ETA. Verifica-se que os dados das 28 estações utilizadas nesta pesquisa, somente 7 delas (Londrina (6), Maringá (7), Paranaguá (8), Clevelândia (11), Francisco Beltrão (13), Guaraqueçaba (15) e Londrina (19)) apresentaram temperaturas médias menores do que os dados fornecidos pelo modelo regional ETA. Enquanto apenas a estação de Londrina (19) apresentou temperatura mínima inferior ao valor fornecido pelo modelo ETA.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são mostradas as médias dos erros (MEB), raiz do quadrado médio dos erros (RMSE) e média dos erros absolutos (MAE) da relação entre os dados medidos em estação meteorológica e dados provenientes da modelagem ETA.

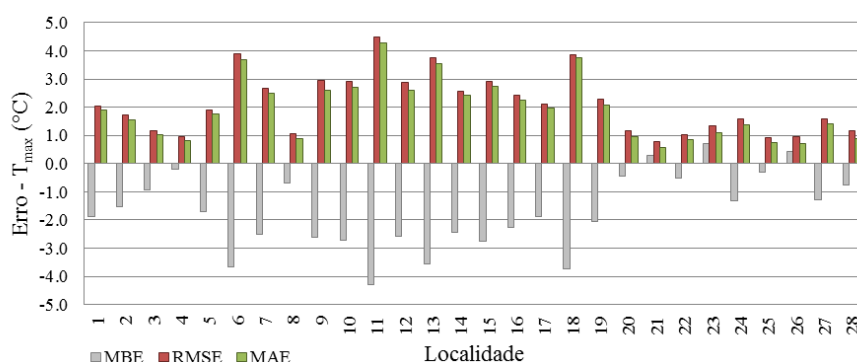


Figura 2. Erros associados as medições da temperatura máxima (T_{max}) nas 28 estações (localidades)

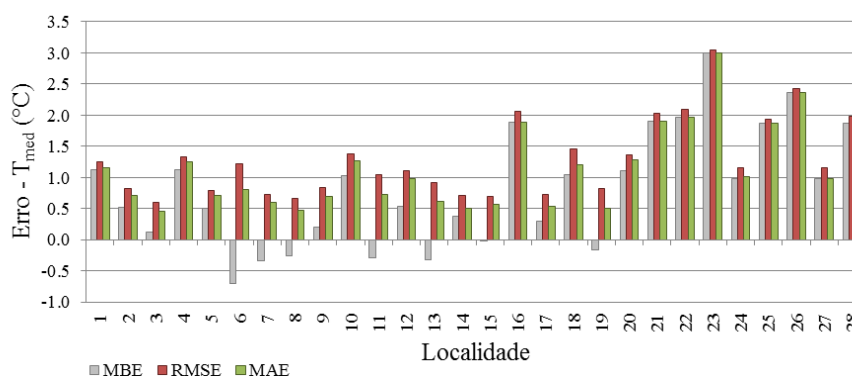


Figura 3. Erros associados as medições da temperatura média (T_{med}) nas 28 estações (localidades)

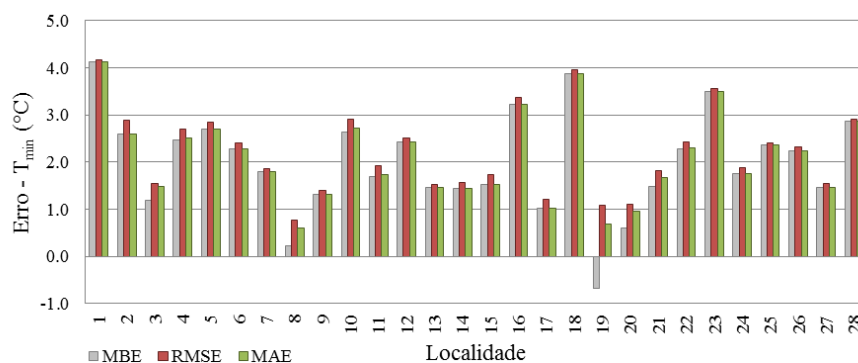


Figura 4. Erros associados as medições da temperatura mínima (T_{\min}) nas 28 estações (localidades)

Ao observar os gráficos da Figura 2 pode-se afirmar que houve subestimativa da temperatura máxima pelo modelo ETA, onde as médias dos erros absolutos (RMSE) variaram entre 4,3°C e 0,6°C. Nota-se ainda que os erros de maiores amplitudes (maiores valores de RMSE) referem-se às localidades de Londrina (6), Clevelândia (11), Francisco Beltrão (13) e Lapa (18). O erro absoluto (MAE) foi positivo em apenas três estações Nova Cantú (21), Palotina (23) e Pato Branco (25).

Por outro lado, ao observar os gráficos contidos na Figura 3 constata-se que houve subestimativa das temperaturas média, exceto nas localidades Londrina (6), Maringá (7), Paranaguá (8), Clevelândia (11), Francisco Beltrão (13), Guaraqueçaba (15) e Londrina (19). As médias dos erros (MEB) da temperatura média apresentaram-se entre +3°C e -0,7°C.

Com relação à temperatura mínima (Figura 4) observa-se que também ocorreu subestimativa, exceto na estação de Londrina. Em relação à temperatura mínima, a média dos erros (MEB) variou entre +4,12 e -0,68°C. Os erros de maiores amplitudes encontram-se nas localidades Campo Mourão (1), Iporã (16), Lapa (18) e Palotina (23).

Na Tabela 2 são mostrados de forma resumida os erros MAE, RMSE, BEM e coeficientes da regressão linear, para as variáveis temperaturas máxima, média e mínima (°C) para o Estado do Paraná.

Na Tabela 2 é mostrado o resultado da análise dos valores de temperatura média (°C), máxima (°C) e mínima (°C) obtidos pelo modelo ETA, em relação aos coletados nas estações de campo durante o período de 8 de maio de 2011 a 31 de outubro de 2011 no Estado do Paraná.

Tabela 2. Análise dos dados de temperatura média (°C), temperatura máxima (°C) e temperatura mínima (°C) obtida pelo modelo ETA durante o período de 8 de maio de 2011 a 31 de outubro de 2011 no Estado do Paraná.

Variáveis	a	b	R ²	MAE	RMSE	MBE
Temperatura Máxima (°C)	1,01	1,45	0,78	1,92	2,35	-1,68
Temperatura Média (°C)	1,05	1,68	0,87	1,14	1,43	0,81
Temperatura Mínima (°C)	1,04	2,56	0,84	2,09	2,39	1,99

Ao comparar os valores de temperaturas obtidos pelo modelo ETA com aqueles obtidos nas estações de campo, constatou-se que as previsões meteorológicas do Modelo ETA foram menores para as temperaturas máximas (MBE de -1,68 °C) e maiores para as temperaturas médias e mínimas, cujo erro MBE foi 0,81°C e 1,99°C, respectivamente. Esses resultados são corroborados por Vieira Junior et al. (2009). Segundo os autores, os erros de modelagem podem estar associados a deficiências na modelagem dos elementos da circulação da

atmosfera, dos elementos da topografia, da cobertura da superfície e das possíveis interações entre estes elementos.

A partir da Tabela 2, verificam-se os resultados obtidos para a temperatura são explicados em 78% para a temperatura máxima ($R^2 = 0,74$), 87% para a temperatura média ($R^2 = 0,87$) e 84% para a temperatura mínima ($R^2 = 0,84$).

De acordo com CHOU et al. (2007), o modelo numérico ETA gera as previsões com base em dados médios, por exemplo, altitude média e vegetação predominante na grade (nesse caso, 20 x 20 km). Assim, o modelo não se aplica diretamente a um ponto específico. Segundo os mesmos autores, para produzir previsões para um ponto específico é necessário aplicar uma correção estatística nas previsões numéricas.

4. Conclusões

De acordo com esta pesquisa chegou-se as seguintes conclusões:

- O modelo ETA subestimou a temperatura máxima, comparado aos valores observados nas estações de campo. A média dos erros da temperatura máxima para o Estado foi de $-1,68^{\circ}\text{C}$.
- Em relação aos dados de temperatura coletados nas estações no campo, o modelo ETA superestimou as temperaturas médias e mínimas. Na análise por Estado, pode-se notar que a média dos erros foi de $0,81^{\circ}\text{C}$ para a temperatura média e de $1,99^{\circ}\text{C}$ para a temperatura mínima.
- Nesta pesquisa observou-se que a temperatura média do ar foi a melhor representada pelo modelo ETA.
- Como sugestão para trabalhos futuros, faz-se necessária a análise de erros associados a um período de tempo maior, para verificar se esses erros são ou não sistemáticos. Se ficar constatado que os erros são sistemáticos aplicar a correção estatística nas previsões numéricas para minimizar o erro associado ao modelo.

Referências Bibliográficas

- Adami, M.; Giarolla, A.; Moreira, M. A.; Deppe, F. Avaliação de diferentes escalas temporais de chuva obtidos por modelos matemáticos e por sensoriamento remoto para o Paraná. In: Congresso brasileiro de meteorologia (CBMET), 14, 2006, Florianópolis, SC. On-line. **Anais...** Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-94550508ca7ed4ac7547f4660aafe1fb.pdf>. Acessado em: 04 out. 2013.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- Black, T. L., The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, v. 9, n.2, p. 265-278, 1994.
- Castro, P. R. C., Kluge, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. Sao Paulo: Nobel. 1999. 126 p.
- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). **Clima dos municípios paulistas**, 2014. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_086.html. Acessado em: 30 ago. 2014.
- Chou, S.C. Modelo Regional ETA. Boletim do Climanálise Especial - Comemoração dos 10 anos, São Paulo, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliEsp10a/27.html>. Acesso em: 20 out. 2014.
- Chou, S.C., Souza, C.R., Gomes, J.L., Evangelista, E.F.D., Osório, C., Cataldi, M. Refinamento estatístico das previsões horárias de temperatura a 2 m do modelo ETA em estações no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p. 287-296, 2007.

Dereczynski, C.P., Pristo, M.V.J., Chou, S.C., Cavalcanti, I.F.A, Rozante, J.R., Avaliação das Previsões do Modelo Eta na Região da Serra do Mar (Estado de São Paulo), Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 33, n.2, p. 36-51, 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades. 2014. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=41&search=parana>. Acessado em: 20 out. 2014

Pinto, L.I.C, Costa, M.H., Diniz, L.M.F., Sediyaama, G.C., Pruski, F.F . Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, n. 4, 2010.

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 Ambiente e Água**, v. 1, n. 2, p. 28-38, 2006.

Sugawara, L.M. **Variação interanual da produtividade agrícola da cana-de-açúcar por meio do modelo agrônômico**. 2010. 116 p. (INPE-10.08.14.39-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010.

Vieira junior, P.A.; Dourado neto, D.; Chou, S. C.; Martin, T. N. Previsões meteorológicas do Modelo Eta para subsidiar o uso de modelos de previsão agrícola no Centro-Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.39, n.2, pp. 412-420, 2009.

Withers, B.; Vipond, S. **Irrigação: projeto e prática**. Sao Paulo: Nobel, 1977. 339p.