

Diferenças na Performance das Previsões de Variáveis Simples e Derivadas Obtidas pelo Modelo Global do CPTEC/COLA para um Caso de Ciclogênese Ocorrida a Leste da Região Sul do Brasil

Daniel Pires Bitencourt

Prakki Satyamurty

Mário F. Leal Quadro

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Cachoeira Paulista - SP - Brasil

email: daniel@cptec.inpe.br, saty@cptec.inpe.br e mario@cptec.inpe.br

Abstract

The statistical parameters normally used for the evaluation of the NWP models are the anomaly correlation coefficient and the standard error of the predicted field relative to the analysed fields. It's attempted here to evaluate the CPTEC/COLA model using the statistics mentioned above for a case of cyclogenesis over the Atlantic Ocean east of the southern Brazil. The meteorological variables employed are the diagnostic fields vorticity advection, thermal advection, convergence of humidity and the vector Q. The performance of the model in terms of the derived fields is different from that in terms of simple model variables such as the geopotential and the wind components. Of all the important fields the convergence of humidity has the least reliability.

1 Introdução

Para que o modelo global do CPTEC/COLA apresente resultados cada vez melhores nas previsões de fenômenos meteorológicos vigentes sobre a América do Sul e em especial sobre o território brasileiro, é necessário um monitoramento diário dessas previsões a fim de avaliar o desempenho do modelo para diferentes estações do ano. Para tanto, os meteorologistas operacionais do CPTEC desenvolvem comparações subjetivas das previsões com imagens de satélite e dados observados. Além disso, diariamente são aplicados métodos estatísticos para comparações entre a análise e previsão de variáveis simples com o objetivo de identificar erros sistemáticos nas previsões. Tradicionalmente os métodos estatísticos são aplicados somente para campos de variáveis simples, isto é, altura geopotencial, temperatura virtual, ventos zonal e meridional e umidade específica. Entretanto, também é importante aplicar estes métodos estatísticos para testar o desempenho das previsões de campos derivados, tais como advecção de vorticidade relativa, advecção de temperatura virtual, convergência de fluxo de umidade e vetor Q. Esses são os diagnósticos que realmente "traduzem" para o meteorologista a estrutura física dos sistemas meteorológicos atuais. Os campos de variáveis derivadas testados nesse trabalho são: advecção de vorticidade relativa em 500 hPa, advecção térmica em 850 hPa, convergência de fluxo de umidade em 850 hPa e as componentes zonal e meridional do vetor Q em 850 hPa. Os testes de desempenho são aplicados para a previsão, com 24 a 144 horas de antecedência, de um caso de ciclogênese sobre o Oceano Atlântico que evoluiu durante os dias 26, 27 e 28 de maio de 1996.

Os campos previstos de variáveis derivadas apresentam resultados diferentes dos campos de variáveis simples. Essas diferenças são quantificadas através de cálculos do coeficiente de correlação (cor) entre as anomalias da previsão e análise do modelo global do CPTEC/COLA. Assume-se, que para a previsão ter alguma utilidade, o "cor" precisa ser igual ou maior que 0.6. Calcula-se também o erro quadrático médio (rms) das previsões. Para esse erro adota-se um valor mínimo para que a previsão seja considerada confiável. Os valores mínimos do "rms" variam de acordo com a variável e nível atmosférico.

Os campos de anomalias são obtidos através da subtração desses campos pela climatologia do dia em que foi feita a análise e para o qual a previsão é válida. A climatologia diária é obtida através de interpolação linear utilizando campos de climatologia mensal.

As previsões de variáveis simples apresentam resultados bastante diferentes dos obtidos pelas previsões de variáveis derivadas. Em geral, as previsões de variáveis derivadas tem uma performance menos satisfatória em relação as performances apresentadas pelas previsões de variáveis simples. Entre as variáveis derivadas, os piores resultados são os de convergência de fluxo de umidade, componente meridional do vetor Q e advecção de vorticidade relativa. Entre as variáveis simples, a umidade específica apresenta as previsões com menor confiabilidade, principalmente a partir de 72 horas de antecedência. Os demais campos de variáveis simples e derivadas apresentam boas previsões, de acordo com os critérios adotados.

2 Variáveis Meteorológicas e Estatísticas Utilizadas

2.1 Variáveis Simples

As variáveis simples utilizadas para o teste de desempenho do modelo global do CPTEC/COLA são altura geopotencial (ϕ), temperatura virtual (T_v), vento zonal (u) e meridional (v) e umidade específica (q).

A variação do geopotencial com respeito a pressão depende somente da temperatura (Holton 1992). Em termos de ϕ a equação hipsométrica torna-se

$$Z(p) = \frac{R}{g} \int_{p_0}^p T_v \, d \ln p$$

onde R é a constante de gás do ar seco, g ($9,80665 \text{ ms}^{-2}$) é a gravidade ao nível médio do mar, T_v é a temperatura virtual, p a pressão e p_0 é a pressão ao nível médio do mar, onde $Z = 0$.

A relação da temperatura virtual (T_v) com a temperatura absoluta (T) e umidade específica (q) é

$$T_v = T + (0,609 \times q \times T)$$

2.2 Variáveis Derivadas

As variáveis derivadas utilizadas nesse trabalho para teste de desempenho do modelo global do CPTEC/COLA são: advecção de vorticidade relativa (Adv_ζ), advecção de temperatura virtual (Adv_T), convergência de fluxo de umidade ($Convq$) e componentes zonal (Q_x) e meridional (Q_y) do vetor Q (Hoskins et al. 1978).

$$Adv_\zeta = -\vec{V} \cdot \nabla \zeta = -\left(u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y}\right),$$

sendo que a vorticidade relativa (ζ), gerada diretamente pelo modelo, é função da variação das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento nas direções "y" e "x", respectivamente,

$$Adv_T = -\vec{V} \cdot \nabla T_v = -\left(u \frac{\partial T_v}{\partial x} + v \frac{\partial T_v}{\partial y}\right),$$

$$Convq = -\nabla \cdot (\vec{V} q) = -\left(\frac{\partial (u q)}{\partial x} + \frac{\partial (v q)}{\partial y}\right),$$

$$\vec{Q} = (Q_x; Q_y) = \left(-\frac{R}{p} \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla T_v; -\frac{R}{p} \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla T_v\right), \text{ onde}$$

é a pressão e $\vec{V}_g$ é o vento geostrófico.

2.3 Estatísticas para Testes de Desempenho

O coeficiente de correlação (cor) e erro quadrático médio (rms) utilizados para teste de desempenho do modelo global do CPTEC/COLA são calculados através de um "script" do "Grid Analysis and Display System" (GRADS). As expressões discretas do "cor" e "rms" utilizados no GRADS são

$$cor = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i \cdot Y_i) \cdot P_i}{\left[\left(\sum_{i=1}^N X_i^2 \cdot P_i\right)\left(\sum_{i=1}^N Y_i^2 \cdot P_i\right)\right]^{1/2}} \quad \text{e} \quad rms = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2 \cdot P_i\right]^{1/2}$$

onde $X_i = X_i - \bar{X}$ é o desvio da anomalia da análise, $Y_i = Y_i - \bar{Y}$ é o desvio da anomalia da previsão, $N (= n \times m)$, no qual n e m são o número de pontos nas direções zonal e meridional) é o número total de pontos dos campos e P_i é o peso correspondente à área representada pelo i -ésimo ponto. Os valores médios da análise e previsão são dados por

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \text{ e}$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$$

Área total, na qual aplica-se os testes de desempenho, abrange as latitudes de 55 °S e 15 °S e as longitudes de 20 °W e 90 °W.

3 Caso Estudado

O sistema meteorológico selecionado para esse estudo foi a ocorrência de uma ciclogênese sobre o Oceano Atlântico, a leste da Região Sul do Brasil. A sequência de dias em que este sistema desenvolveu-se foi 26, 27 e 28 de maio de 1996.

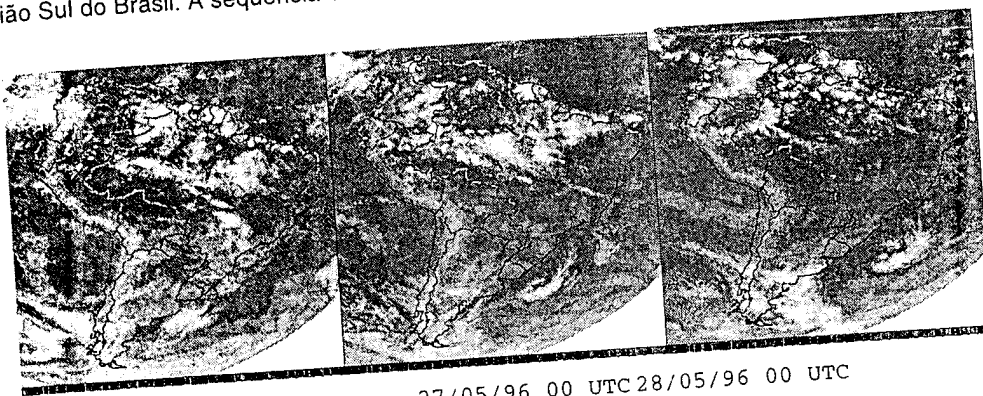


Fig 3.1 - Sequência de imagens, do satélite GOES-8, dos dias 26, 27 e 28/05/96.

4 Teste de Desempenho

Apresentam-se nas tabelas 1, 2, 3 e 4 os valores de coeficiente de correlação (cor) e erro quadrático médio (rms) para as variáveis simples e derivadas nos níveis de 850 e 500 hPa. Ressalta-se que os resultados de "cor" são obtidos a partir de cálculos usando as anomalias das previsões, com 24 a 144 horas de antecedência, e as anomalias das análises referentes aos dias 26, 27 e 28 de maio de 1996. Os valores de "rms" são o erro quadrático médio das previsões em relação a análise.

Os casos destacados em cinza nas tabelas 1 e 3 são os valores de "cor" que ficaram abaixo de 0.6. Esse valor é o mínimo esperado para validar uma previsão. Os casos destacados em cinza nas tabelas 2 e 4 são os valores de "rms" suficientemente altos para que a previsão não seja confiável.

Tab. 1 - "cor" no nível de 850 hPa

Coeficiente de Correlação									
ANL ↓	PRE ↓	u	v	T _v	Adv _r	q	Convq	Q _x	Q _y
26/05	24 h	0.834	0.337	0.942	0.921	0.825	0.550	0.846	0.735
	48 h	0.805	0.888	0.901	0.836	0.699	0.392	0.648	0.468
	72 h	0.676	0.811	0.857	0.694	0.667	0.414	0.407	0.515
	96 h	0.397	0.842	0.470	0.822	0.386	0.331	0.688	0.380
	120 h	0.437	0.839	0.527	0.813	0.389	0.327	0.652	0.501
	144 h	0.422	0.781	0.720	0.782	0.352	0.221	0.602	0.488
27/05	24 h	0.875	0.935	0.927	0.950	0.855	0.512	0.839	0.785
	48 h	0.811	0.883	0.922	0.902	0.827	0.436	0.767	0.699
	72 h	0.653	0.783	0.797	0.713	0.717	0.303	0.448	0.335
	96 h	0.704	0.844	0.923	0.869	0.723	0.375	0.661	0.558
	120 h	0.673	0.848	0.816	0.864	0.629	0.392	0.637	0.405
	144 h	0.561	0.780	0.786	0.804	0.584	0.151	0.508	0.301
28/05	24 h	0.922	0.914	0.966	0.914	0.819	0.508	0.871	0.838
	48 h	0.793	0.817	0.921	0.817	0.712	0.502	0.572	0.649
	72 h	0.709	0.747	0.840	0.716	0.635	0.372	0.631	0.579
	96 h	0.690	0.593	0.552	0.514	0.576	0.303	0.376	0.539
	120 h	0.725	0.684	0.837	0.676	0.500	0.293	0.396	0.558
	144 h	0.604	0.565	0.722	0.493	0.265	0.151	0.405	0.446

Tab. 2 - "rms" no nível de 850 hPa

Erro Quadrático Médio									
Unidades	→	ms^{-1}	ms^{-1}	$^{\circ}\text{K}$	$10^{-4}^{\circ}\text{Ks}^{-1}$	10^{-2}Kg/Kg	10^{-8}s^{-1}	$10^{-12}\text{m}^2\text{s}^{-1}\text{Kg}^{-1}$	$10^{-12}\text{m}^2\text{s}^{-1}\text{Kg}^{-1}$
ANL ↓	PRE ↓	u	v	T_v	Adv_T	q	Convq	Q_z	Q_y
	24 h	3.38	3.10	1.57	1.57	0.10	5.66	12.94	9.26
	48 h	3.65	4.08	1.86	2.09	0.14	6.58	17.92	12.23
26/05	72 h	4.21	5.08	2.39	2.73	0.13	6.53	22.76	11.16
	96 h	5.84	5.37	4.48	2.61	0.19	6.58	18.90	13.09
	120 h	5.79	5.52	4.77	2.63	0.18	6.68	20.14	11.71
	144 h	5.91	6.18	3.82	2.63	0.20	7.07	19.30	11.65
	24 h	3.22	3.23	1.80	1.29	0.10	4.91	13.04	8.32
	48 h	3.77	3.92	1.90	1.64	0.11	5.31	15.23	9.77
27/05	72 h	4.80	5.51	3.07	2.90	0.13	5.88	23.81	14.04
	96 h	4.86	4.55	1.95	1.87	0.13	5.92	17.88	12.00
	120 h	4.84	5.13	3.49	2.10	0.14	5.30	18.57	13.14
	144 h	5.48	6.10	4.04	2.50	0.14	6.04	21.26	14.29
	24 h	2.81	2.99	1.36	1.33	0.10	4.55	11.30	6.64
	48 h	4.42	4.41	2.11	1.98	0.12	4.64	20.65	10.35
28/05	72 h	4.91	5.04	2.85	2.38	0.14	5.17	18.58	10.92
	96 h	5.12	7.31	4.57	3.64	0.14	5.73	25.25	11.69
	120 h	5.43	5.62	2.84	2.53	0.16	5.87	24.72	10.96
	144 h	6.03	7.15	3.74	3.21	0.18	6.09	22.71	12.23

Tab. 3 - "cor" no nível de 500 hPa

Tab. 4 - "rms" no nível de 500 hPa

Coeficiente de Correlação						Erro Quadrático Médio					
Unidades	→	ms^{-1}	ms^{-1}	m	10^{-10}s^{-2}	Unidades	→	ms^{-1}	ms^{-1}	m	10^{-10}s^{-2}
ANL ↓	PRE ↓	u	v	ϕ	Adv_T	ANL ↓	PRE ↓	u	v	ϕ	Adv_T
	24 h	0.947	0.961	0.976	0.630		24 h	3.50	3.14	23.91	9.93
	48 h	0.880	0.909	0.940	0.428		48 h	5.05	5.06	32.57	11.87
26/06	72 h	0.824	0.894	0.929	0.204	26/06	72 h	6.03	5.58	36.58	13.27
	96 h	0.434	0.669	0.595	-0.045		96 h	10.69	10.31	100.43	17.29
	120 h	0.385	0.645	0.536	0.014		120 h	11.32	10.94	106.69	15.71
	144 h	0.494	0.654	0.723	-0.058		144 h	11.39	10.65	82.65	16.11
	24 h	0.919	0.953	0.983	0.605		24 h	3.70	3.90	24.09	10.79
	48 h	0.896	0.943	0.980	0.443		48 h	4.01	4.28	26.26	11.74
27/06	72 h	0.805	0.778	0.868	0.070	27/06	72 h	5.41	8.33	62.95	16.92
	96 h	0.808	0.876	0.961	0.363		96 h	5.33	6.28	34.08	12.78
	120 h	0.532	0.667	0.794	-0.058		120 h	8.86	11.26	84.17	16.74
	144 h	0.443	0.692	0.705	0.251		144 h	10.46	10.85	97.83	13.23
	24 h	0.951	0.964	0.991	0.473		24 h	3.19	3.33	19.60	11.04
	48 h	0.851	0.899	0.979	0.513		48 h	5.38	5.52	29.35	10.56
28/06	72 h	0.780	0.881	0.961	0.269	28/06	72 h	6.43	6.00	44.84	10.85
	96 h	0.709	0.785	0.781	0.088		96 h	7.37	8.35	87.42	15.76
	120 h	0.729	0.795	0.922	0.151		120 h	7.20	7.53	54.60	11.69
	144 h	0.656	0.660	0.843	0.097		144 h	8.58	10.29	75.63	14.90

Para os baixos níveis (850 hPa) considerou-se o "rms" alto quando atingiu valor maior ou igual a 5 ms^{-1} para as componentes zonal e meridional do vento, 4°K para a temperatura virtual, $3 \times 10^{-4}^{\circ}\text{K s}^{-1}$ para advecção de temperatura virtual, $0.14 \times 10^{-2} \text{ Kg Kg}^{-1}$ para a umidade específica, $20 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ para a componente zonal do vetor Q e $10 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ para a componente meridional do vetor Q. Os valores mínimos de "rms" estipulados para as componentes zonal e meridional do vetor Q são diferentes porque essas duas componentes apresentam desvio padrão também diferentes. Na média troposfera (500 hPa) considerou-se os valores mínimos de "rms" como 8 ms^{-1} para as componentes zonal e meridional do vento, 80 m para altura geopotencial e $10 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ para advecção de vorticidade relativa.

5 Discussões Finais

Os resultados apresentados nas tabelas 1 a 4 mostram que, na maioria das vezes, os valores de "cor" diminuem e os valores de "rms" aumentam com o prazo de previsão. Tomando o valor de "cor" ≥ 0.6 para validar a previsão, tem-se que a maioria das previsões que não poderiam ser aproveitadas, devido a baixa correlação, são as previsões de campos derivados (ver número de casos destacados em cinza nas tabelas 1 e 3. De acordo com os valores mínimos de "rms" estipulados para cada variável e nível atmosférico, o maior número de previsões com menor confiabilidade é atribuído às previsões de variáveis derivadas.

Entre os campos derivados, a Convergência de fluxo de umidade em 850 hPa, componente meridional do vetor Q em 850 hPa e a advecção de vorticidade relativa em 500 hPa apresentaram pouca confiabilidade de acordo com os critérios adotados. As previsões da componente zonal do vetor Q em 850 hPa e, principalmente, as previsões de

advecção de temperatura virtual apresentaram, em geral, bons resultados de acordo com os critérios adotados. As previsões de campos simples obtiveram bons resultados na maioria dos casos tanto na baixa como média troposfera. Em síntese, os resultados de "cor" e "rms" mostraram uma significativa diferença entre as previsões de variáveis simples e previsões de variáveis derivadas, obtidas pelo modelo global do CPTEC/COLA. Ressalta-se que estes resultados são oriundos de aplicações de métodos estatísticos em apenas um caso de ciclogênese. Lembra-se ainda que estes métodos não são os únicos existentes para teste de desempenho de modelos numéricos.

6 Referências Bibliográficas

- Holton, J. R. *An introduction to dynamic meteorology*. 3. ed. Academic Press, 1992, New York.
- Hoskins, B. J.; Draghici, I.; Davies, H. C. A new look at the β -equation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104: 31-38, 1978.