

ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES GERADAS POR MODELOS CLIMÁTICOS REGIONAIS

João Furtado Resende^{1*} Heinz Dieter Fill² Miriam Rita Moro Mine³

Resumo – Neste artigo apresentam-se os resultados da análise das séries de precipitação mensal em nove postos pluviométricos localizados nas bacias hidrográficas dos rios Paraná e Uruguai, geradas pelos modelos de circulação regional (RCM's), PROMES, RCA e ETA para o período de Janeiro de 1990 a Dezembro de 2005. As condições de contorno são as ERA-Interim, (Dee *et al.*, 2011). A avaliação dos modelos é feita através do cálculo da raiz do erro médio quadrático (RMSE) e da tendenciosidade (BIAS) em relação aos valores observados nos nove postos pluviométricos selecionados. A análise da normalidade das séries através de testes de Kolmogorov-Smirnov é feita para escolher o teste de correlação apropriado, sendo escolhido o coeficiente de correlação de Spearman. São ainda analisados gráficos de dispersão e regressões, também tomando como base os dados observados. Constatou-se que o modelo PROMES, com exceção da região Sul, superestima e os modelos RCA e ETA subestimam as séries de precipitação mensal. Notou-se ainda um desempenho fraco dos modelos em reproduzir as precipitações observadas, particularmente na região Sul. Diferenças nos valores mensais em muitos casos superam 75% das precipitações observadas.

Palavras-chave – precipitação mensal, séries temporais, modelos climáticos regionais.

ANALYSIS OF PRECIPITATION GENERATED BY REGIONAL CLIMATE MODELS

Abstract - This paper presents the results of monthly precipitation time series analysis at nine rain gauges, located in the basins of Parana and Uruguay rivers, generated by regional circulation models (RCM's), PROMES, RCA and ETA for the period of January 1990 to December 2005. Boundary conditions are provided by ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011). The evaluation of the models is done by calculating the root mean square errors (RMSE) and bias relative to the observed rainfall at the selected gauges. The normality analysis using the Kolmogorov-Smirnov test was done to choose the appropriate correlation test, the Spearman's correlation coefficient. Scatter plots and linear regressions were analyzed, also being based on observed data. With the results it was found that the PROMES model, with the exception of the southern stations, overestimates and RCA and ETA models underestimate the monthly precipitation series. The main conclusion is that climate models still lack a lot of ability to reproduce measured precipitation data, particularly at the southern Brazilian regions. Monthly precipitation data, in some cases, present differences greater than 75% when compared to the respective observed data.

Keywords – monthly precipitation, time series, regional climate models.

¹Estudante de Ciência da Computação da UFPR, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba. E-mail: j.furtado.r@gmail.com

²Professor Senior da UFPR, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba. E-mail: heinzfill@yahoo.com

³Professora Associada da UFPR, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba. E-mail: mrmine.dhs@ufpr.br

* Autor Correspondente

INTRODUÇÃO

Com o clima sendo o foco de inúmeras pesquisas atualmente, a necessidade de uma previsão climática de longo termo cresceu muito durante a última década.

Para poder realizar tais previsões, é necessário o uso de modelos climáticos que procuram representar, através de variáveis computáveis, a dinâmica do clima. Porém tais representações possuem algumas limitações próprias de cada modelo climático utilizado. Os modelos climáticos podem ser divididos em duas categorias: os RCM's (*Regional circulation models*) e os GCM's (*Global circulation models*). Os GCM's são modelos de grande escala, que representam a circulação atmosférica em todo o planeta, o que pode mascarar características locais que possuem relevantes impactos climáticos. Os RCM's são modelos com uma grade menor, procurando mapear mais detalhadamente características regionais. Para tanto, eles necessitam de condições de contorno, ou seja, dados de uma grade maior, que são usados pelos RCM's para caracterizar uma região menor. Devido a estes fatos, os modelos regionais e globais são utilizados em conjunto para uma mais precisa representação da realidade.

O presente artigo tem como objetivo a análise das séries de precipitação mensais geradas por três RCM's: PROMES (*PROgnostic at the MESoscale*) criado pelo grupo MOMAC da Universidade Castilla-La Mancha, o RCA (*The Rossby Centre Regional Climate Model*) criado pelo Instituto Sueco de Meteorologia e Hidrologia e o ETA criado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As precipitações geradas pelos três modelos mencionados acima foram obtidas do banco de dados do Projeto CLARIS LPB, (Mine *et al.*, 2012).

Para avaliar a capacidade de previsão dos modelos foram usadas as condições de contorno fornecidas pela re-análise ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011), criada pelo Centro Europeu de Previsões Climáticas de Alcance-Médio (ECMWF), que engloba os dados climatológicos observados desde 1989 até o presente, em uma grade que pode ser usada como entrada para os modelos regionais. As precipitações observadas foram obtidas do banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

ÁREA DE ESTUDO

Para o presente estudo foram escolhidos nove postos pluviométricos localizados no sudeste do Brasil, bacias Paraná e Uruguai mostrados na Figura 1. Oito postos estão na bacia do Paraná e um na bacia do Rio Uruguai.

MÉTODO DE ANÁLISE

O período escolhido para este trabalho foi de Janeiro de 1990 a Dezembro de 2005. Os dados de precipitação mensal (gerados pelos modelos) estão contidos em uma grade com uma resolução horizontal de 40 km e as precipitações representativas nos nove postos analisados foram extraídas do ponto mais próximo (com a menor diferença de latitude e longitude) contido na grade.

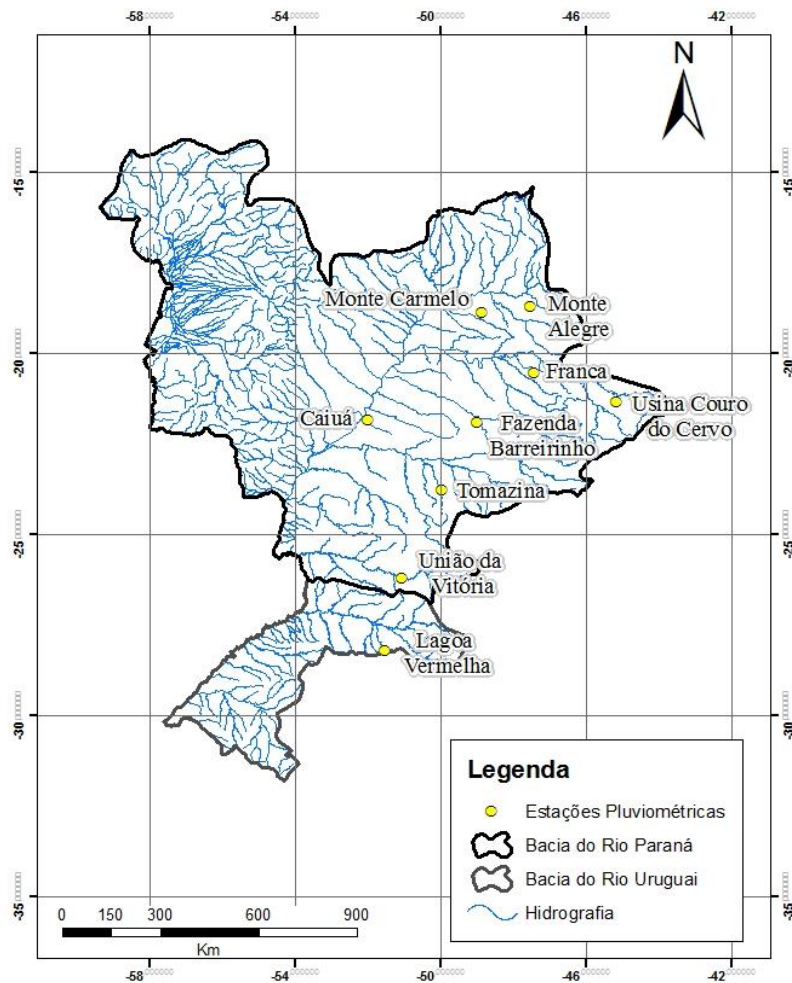


Figura 1 - Mapa das estações pluviométricas selecionadas para o presente estudo.

A qualidade do ajuste dos dados modelados em relação aos observados foi calculado por meio da raiz do erro medio quadrado (RMSE) e pela tendenciosidade (BIAS) dados pelas equações (1) e (2) respectivamente.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - X_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - O_i)}{n} \quad (2)$$

onde O_i são as chuvas observadas e X_i as chuvas geradas pelos RCM's e o n é o número de meses.

Muitas técnicas estatísticas de análise de dados são paramétricas, ou seja, dependem da escolha de uma distribuição de probabilidades previamente definida. O teste Kolmogorov-Smirnov, cuja estatística de teste é dada pela equação (3), foi escolhido para avaliar a normalidade das distribuições de precipitações mensais das nove estações escolhidas.

O teste de Kolmogorov-Smirnov computa a maior diferença modular entre a função cumulativa empírica dos dados ($F(x)$) e a distribuição acumulativa que se deseja comparar (no caso a distribuição normal) e compara esta estatística com valores críticos fornecidos pelo software Matlab (MATHWORKS, 2013).

$$D^* = \max (|F(x) - G(x)|) \quad (3)$$

Para analisar a correlação entre os dados de precipitação mensal gerados pelos modelos e os observados nos postos pluviométricos foi usado o coeficiente de correlação de Spearman amostral conforme equação (4), que constitui outra avaliação de ajuste.

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}} \quad (4)$$

Onde x_i e o_i são os *ranks* (o *rank* 1 é atribuído ao menor dado e n ao maior, no caso de empate a média é usada) dos dados gerados e observados respectivamente e n é o tamanho da amostra.

Com base no coeficiente de correlação amostral foi testada a hipótese nula de $\rho = 0$ sendo ρ coeficiente de correlação de Spearman populacional.

Para a análise visual da qualidade dos dados gerados foram traçados gráficos de dispersão com os dados observados e os gerados

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aspectos Gerais

Ao analisar as precipitações médias mensais e os RMSE e BIAS calculados pela equação (1) e (2), mostrados na Tabela 1, fica evidente a dificuldade dos modelos regionais em representar as dinâmicas de médio-longo termo do clima. Verifica-se que o RMSE em todos os casos se apresenta superior aos valores de médias de longo termo (MLT) observados.

Tabela 1 - MLT, BIAS e RMSE (mm) calculados por posto por modelo

Estações	Observed	PROMES		ETA		RCA	
	MLT	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
Monte Carmelo	119,4	30,4	559,7	-16,6	491,6	-25,3	432,3
Mt. Alegre de Minas	122,3	62,6	662,8	-19,9	458,1	-18,6	437,2
Us. Couro do Cervo	128,2	36,8	920,0	-5,3	851,8	-60,0	901,1
Franca	139,4	2,7	488,9	-36,8	433,5	-24,0	440,5
Fazenda Barreirinho	113,5	57,0	570,0	-13,6	428,1	-25,0	381,9
Tomazina	106,5	36,4	471,1	5,4	401,8	-18,7	338,2
União da Vitoria	153,4	-20,8	548,7	-10,3	542,9	-2,6	561,4
Lagoa Vermelha	159,2	-30,9	528,8	-21,3	484,8	-55,5	540,8
Caiuá	124,2	30,5	516,0	-47,5	442,4	-49,1	461,2
Média	129,6	22,7	585,1	-18,4	503,9	-31,0	499,4

A Tabela 1 mostra que o modelo PROMES, com exceção da região Sul, tende a superestimar, enquanto os modelos RCA e ETA a subestimar, sistemicamente, os valores de precipitação mensal.

Os valores dos RMSE's na Tabela 1 evidenciam o fato de que, apesar de, para alguns postos, houver grande diferença entre os modelos, a média dos RMSE's dos três modelos usados neste artigo, embora elevada, é relativamente similar.

Os resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov são apresentados na Tabela 2, onde p representa a probabilidade de rejeitar erroneamente a hipótese nula da distribuição ser normal.

Nota-se, ao analisar a Tabela 2, que para a maioria das estações a distribuição das precipitações mensais não é normal. O teste paramétrico de correlação linear não deve ser aplicado, pois, este necessita que a distribuição analisada seja normal, (Walpole e Myers, 1989). A partir da impossibilidade de aplicar o teste usual de correlação foi escolhido um teste não-paramétrico: o teste do coeficiente de correlação de Spearman.

Tabela 2 - Valores-p e classificações calculadas com o teste de Kolmogorov-Smirnov (equação 2)

Estações	Observed		PROMES		ETA		RCA	
	P	Distribuição	P	Distribuição	P	Distribuição	P	Distribuição
Monte Carmelo	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal
Mt. Alegre de Minas	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal
Us. Couro do Cervo	0,00	Não Normal	0,02	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal
Franca	0,00	Não Normal	0,04	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal
Fazenda Barreirinho	0,00	Não Normal	0,04	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal
Tomazina	0,02	Não Normal	0,02	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal
União da Vitoria	0,20	Normal	0,26	Normal	0,01	Não Normal	0,07	Normal
Lagoa Vermelha	0,09	Normal	0,08	Normal	0,45	Normal	0,01	Não Normal
Caiuá	0,03	Não Normal	0,03	Não Normal	0,00	Não Normal	0,00	Não Normal

A Tabela 3 apresenta os coeficientes r_s de correlação de Spearman amostrais calculados para cada modelo e cada posto. Os valores p mostrados indicam a probabilidade de se rejeitar erroneamente a hipótese nula ($r_s=0$).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Spearman e suas respectivas significâncias

Estações	PROMES		ETA		RCA	
	r_s	Valores-P*	r_s	Valores-P*	r_s	Valores-P*
Monte Carmelo	0,745	0,000	0,783	0,000	0,800	0,000
Mt. Alegre de Minas	0,778	0,000	0,818	0,000	0,832	0,000
Us. Couro do Cervo	0,667	0,000	0,789	0,000	0,766	0,000
Franca	0,681	0,000	0,809	0,000	0,819	0,000
Fazenda Barreirinho	0,641	0,000	0,716	0,000	0,774	0,000
Tomazina	0,523	0,000	0,633	0,000	0,688	0,000
União da Vitoria	0,032	0,657	0,255	0,000	0,366	0,000
Lagoa Vermelha	0,149	0,039	0,223	0,002	0,303	0,000
Caiuá	0,454	0,000	0,501	0,000	0,517	0,000

*Valores-p abaixo de 0,05 indicam correlações significativas.

Observa-se que apenas os dados gerados para o posto de União da Vitória pelo modelo PROMES apresentam uma correlação com os dados observados não sinigificativa.

Outra informação relevante fornecida pela Tabela 3 é a baixa correlação nas estações de União da Vitória e Lagoa Vermelha, situadas na região Sul indicando imprecisões dos modelos na geração de séries de precipitações para regiões subtropicais.

Resultados Específicos

Por se situar aproximadamente no centro dos nove postos pluviométricos, a estação de Fazenda Barreirinha foi selecionada para ser representada nos três gráficos de dispersão (um para cada modelo).

O gráfico de dispersão, além dos pontos representantes dos dados, mostra uma linha representando a regressão linear dos dados gerados para os dados observados. Para fornecer uma medida de dispersão, foram traçadas mais três retas nos gráficos, representando 25%, 100% e 175% de y em função de x .

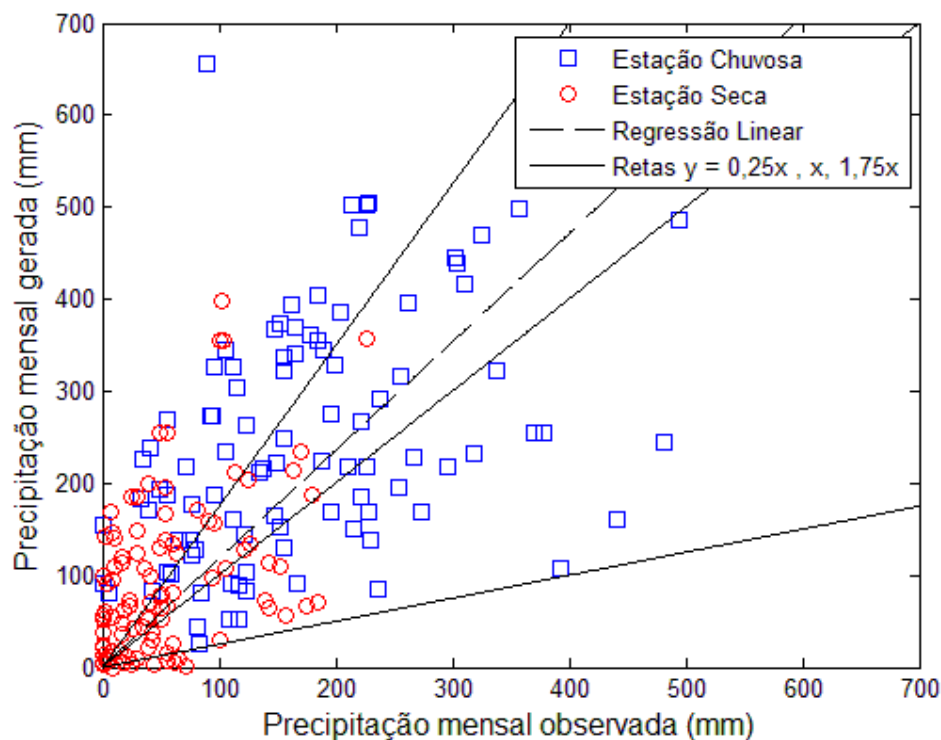


Figura 2 - Gráfico de dispersão dos dados gerados pelo modelo PROMES para a estação de Fazenda Barreirinha

Em todos os gráficos nota-se uma grande dispersão entre dados gerados e observados mensais, o que indica que os modelos ainda apresentam problemas para reproduzir corretamente as precipitações mensais em um dado local.

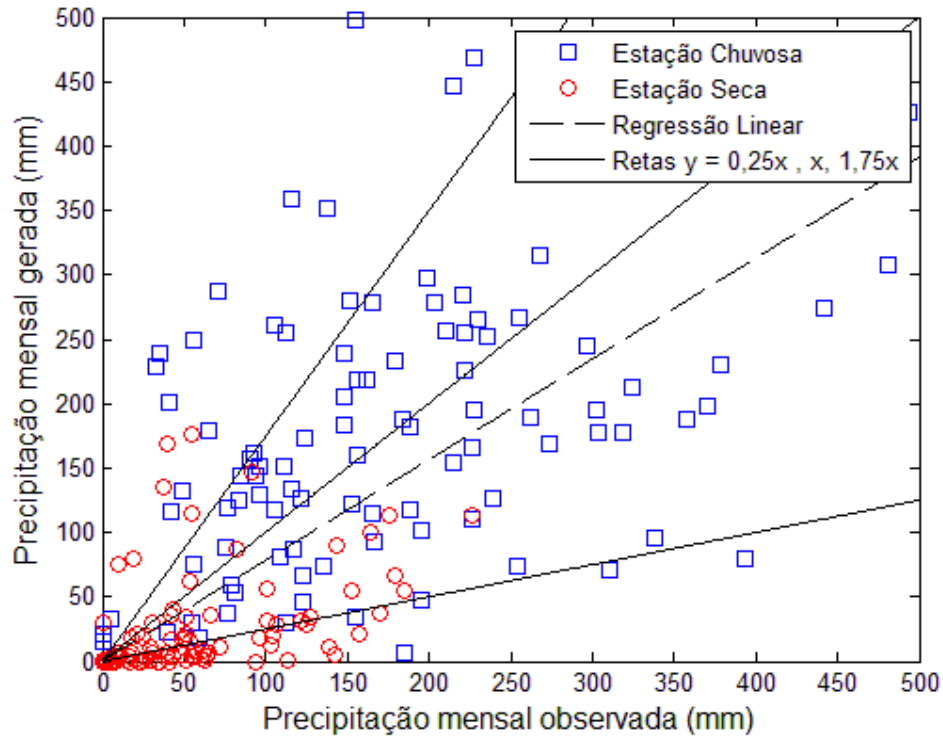


Figura 3 - Gráfico de dispersão dos dados gerados pelo modelo ETA para a estação de Fazenda Barreirinha

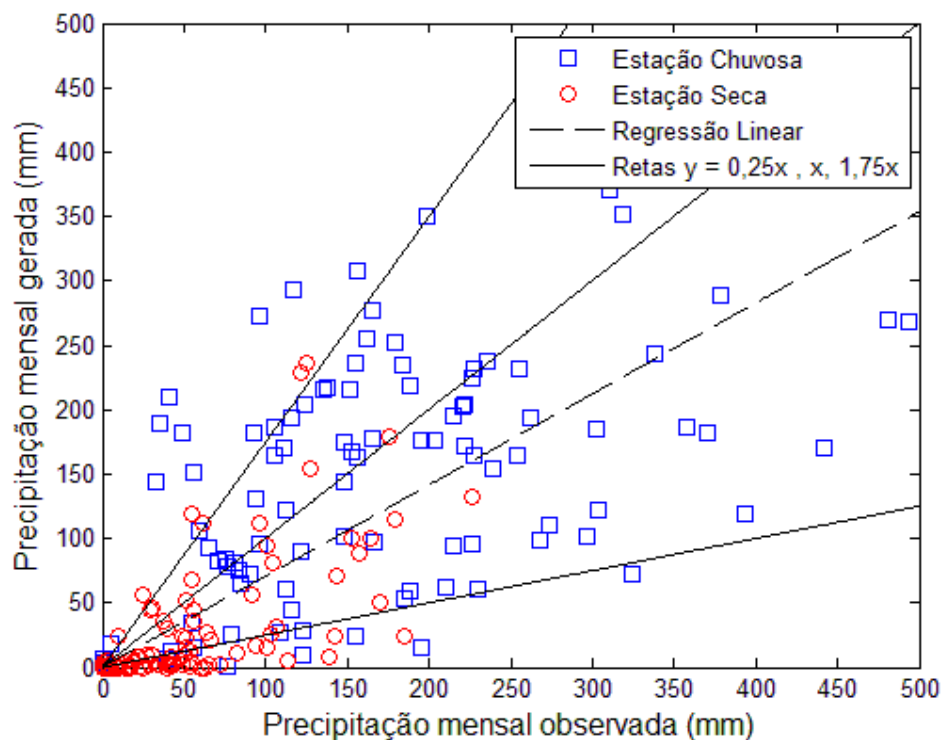


Figura 4 - Gráfico de dispersão dos dados gerados pelo modelo RCA para a estação de Fazenda Barreirinha

Entretanto a linha de 45 graus se afasta da reta de regressão em menos de 20% (40% para o modelo RCA), o que é um indício de que na média de longo prazo, os erros envolvidos não são muito grandes. Porém para os valores mensais, em muitos casos os dados gerados excedem por mais de 75% a precipitação observada.

Nota-se também, ao comparar os gráficos, que os modelos RCA e ETA produzem precipitações mensais mais próximas das observadas nas estações secas. O modelo PROMES, por outro lado, se comporta melhor nas estações chuvosas.

CONCLUSÕES

O modelo PROMES, ao ser comparado com os modelos RCA e o ETA, teve um desempenho inferior nos testes realizados, pois apresentou RMSE's maiores e correlações menores, chegando a gerar séries de precipitações não correlatas com as observadas.

De um modo geral, o modelo PROMES, exceto para a região Sul, apresenta BIAS positivo (Tabela 1), enquanto os modelos RCA e ETA subestimam os valores de precipitação mensal, ou seja, apresentam BIAS negativo.

Observa-se ainda que todos os modelos climáticos analisados, no atual estágio de desenvolvimento, apresentam baixa habilidade de reproduzir precipitações observadas com diferenças que em muitos casos superam em mais de 75% os valores observados.

Nota-se também as baixas correlações nas estações localizadas no sul brasileiro, revelando a dificuldade dos RCM's em simular climas subtropicais instáveis.

É evidente a dificuldade existente dos modelos em simular o clima do passado (1990-2005). Logo, para que as previsões de longo alcance baseadas em modelos climáticos possam ser aplicadas no planejamento futuro de recursos hídricos, melhorias nos modelos climáticos são necessárias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) sob Grant Agreement N° 212492 (CLARIS LPB. A Europe-South America Network for Climate Change Assessment and Impact Studies in La Plata Basin), pelos recursos recebidos durante a execução do Projeto (2008 – 2012).

REFERÊNCIAS

- DEE, P.D. *et al* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, pp. 553-597, 2011.
- MINE, M. R. M., FILL, H. D.; BESSA, M. R.; FERNANDES, C. V. S. Impact of Climate Changes on hydroelectric generation. *Relatório de pesquisa*. 2012
- WALPOLE, R.E., MYERS, R.H. Probability and Statistics for Engineer and Scientist, 765 p. 1989.
- MATHWORKS. Statistics Toolbox: User's Guide (r2013a), 4439p. 2013.