

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MODELOS DO IPCC-AR4 NO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL QUANTO À VARIABILIDADE PLURIANUAL DA PRECIPITAÇÃO NO SÉCULO XX

Yvonne Magdalena Campos Lázaro¹; Cleiton da Silva Silveira² & Francisco de Assis de Souza Filho³

RESUMO--- Os modelos globais do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC-AR4) são avaliados para o Nordeste Setentrional do Brasil (NEB) quanto à representação da variabilidade interanual e interdecadal da precipitação para o período de 1901 a 1999. Essa avaliação é realizada utilizando-se os dados do *Climatic Research Unit* (CRU) e a reanálise *20th Century Reanalysis V2* do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). É aplicada a transformada de *wavelets* à série de dados para detectar e analisar os padrões de variabilidades existentes no século XX. Propôs-se a criação de um índice de desempenho para a avaliação e classificação dos modelos do IPCC, através de medidas de correlação entre espectros e a distância euclidiana entre a variância das bandas existentes na série. A análise espectral das rodadas dos modelos do IPCC indica grandes divergências na representação da variabilidade interanual e interdecadal no NEB. Quase a quinta parte das rodadas dos modelos do IPCC apresentaram correlações espectrais superiores a 0,69. Os resultados sugerem que os modelos CSIRO_MK3_0_RUN2, GISS_MODEL_E_R_RUN8 e UKMO_HADCM3_RUN1 reproduziram de maneira satisfatória as variabilidades interanual e interdecadal do padrão de chuvas sobre o NEB.

ABSTRACT--- The Global models of the Fourth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR4) are evaluated for the representation of the interannual and interdecadal variability of precipitation in the North East of Brazil (NEB) for the period 1901 to 1999. This evaluation is performed using data from the Climatic Research Unit (CRU) and the 20th Century Reanalysis V2 reanalysis of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). It is evaluation applied to the wavelet transform to the data set to detect and analyze the patterns of variability existing in the twentieth century. We proposed the creation of a performance index for the assessment and classification of the IPCC models, using measures of correlation between spectra and the Euclidean distance between the variance of the existing bands in the series. Spectral analysis of the rounds of the IPCC models indicates large differences in the representation of interannual and interdecadal variability in the NEB. Nearly a fifth of the rounds of the IPCC models has spectral correlations greater than 0.69. The results suggest that models CSIRO_MK3_0_RUN2, GISS_MODEL_E_R_RUN8, UKMO_HADCM3_RUN1, satisfactorily reproduced the interannual and interdecadal variability of rainfall patterns over NEB.

Palavras-chave: modelos do IPCC, mudança climática e variabilidade de precipitação.

¹ Mestrando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av. Mr Hull S/N, Campus do Pici, bloco 714 Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: yvonnecamp@gmail.com

² Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas devido à ação antropogênica tem sido alvo de discussões e pesquisas científicas em todo mundo (Duursma, 2002; Kousky 1979; Serra, 1987; Taschetto e Wainer, 2005; IPCC, 2007). Diversos autores identificaram aumento da temperatura nas últimas décadas, modificando diversas variáveis climatológicas, dentre elas a precipitação (Marengo e Valverde, 2007; Marengo e Soares, 2005). Estudos buscam avaliar os possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos (Haylock et al., 2006) destas alterações para que possam ser tomadas medidas que minimizem as consequências dessas alterações.

Na região Nordeste do Brasil (NEB), predomina um clima semi-árido com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas (Souza Filho, 2006; Marengo, 2002 e 2004; Molion, 2002), devido fundamentalmente à atuação simultânea de diversos sistemas atmosféricos de várias escalas e à dinâmica de suas interações. Estes podem variar com as características fisiográficas da região, assim como pelos padrões anômalos de grande escala de circulação atmosférica global associada ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e ao dipolo do Atlântico, o que modifica frequência, distribuição espacial e intensidade desses sistemas.

Chaves et al. (2004), considerando resultados da reanálise do “*National Centers for Environmental Prediction*” / “*National Center for Atmospheric Research*” (NCEP/NCAR) dos EUA, identificaram sobre o NEB o aumento da temperatura cerca de 0,6°C, para o período de 1976-2007 em relação a 1948-1975. Sendo que no período de 1992-2007 em relação a 1948-1975, o aumento foi de aproximadamente 1,2°C. Esse trabalho mostrou ainda fortes indícios de que a variabilidade natural do clima associada às oscilações do El Niño não é a única responsável pelo aumento de temperatura na região do NEB. Marengo (2007), baseado nas evidências observacionais e tendências observadas no Brasil para o século XX e os modelos do IPCC; apresenta cenários climáticos para o século XXI, para o NEB, a tendência dos modelos é de redução de chuvas acompanhada de um aumento de temperatura para finais do século XXI.

Andreoli et al. (2004), utilizaram a transformada de “*Wavelets*” para analisar as variações da precipitação em Fortaleza e da temperatura da superfície do mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico para o período de 1856 a 1991 e foi identificado um pico dominante de 12,7 anos na série. Confirmou-se, ainda, alta coerência entre a

variabilidade de precipitação no norte do NEB e o gradiente inter-hemisfério de TSM no Atlântico na escala interdecadal.

Estas variações, associadas às mudanças climáticas vem sendo discutidos através da publicação de relatórios por o IPCC com vistas à compreensão de sua ocorrência buscando avaliar e identificar os possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos (IPCC, 2007(b)). O ultimo relatório (IPCC-AR4, 2007) confirma a projeção da temperatura média da atmosfera global. Os diferentes modelos do IPCC-AR4 têm cenários divergentes para o campo de precipitação para a região do NEB, alguns projetando aumento de precipitação e outros, redução.

Assim, tendo como base os modelos do IPCC-AR4 e utilizando a transformada de “*Wavelets*” (Torrence e Compo, 1998), o objetivo do presente trabalho é avaliar a capacidade destes modelos em representar o padrão de chuvas no século XX, e identificar os modelos que melhor representam a variabilidade interanual e decadal do Nordeste Setentrional do Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Região de Estudo

Utilizou-se uma região de 0° a 10°S de latitude e 33°O a 44°O de longitude sobre o NEB, e uma porção do Oceano Atlântico, conforme mostra a figura 1.

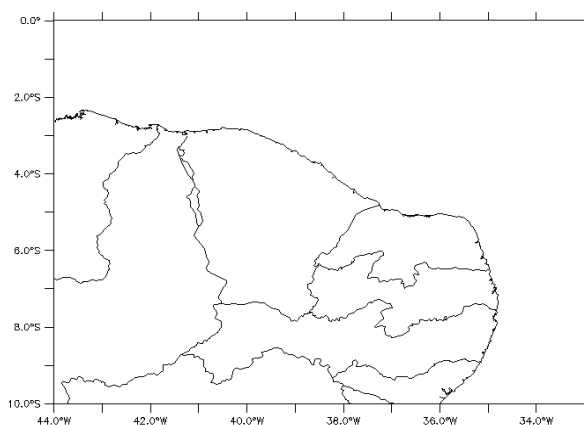


Figura 1- Região de estudo, Nordeste Setentrional brasileiro e parte do Oceano Atlântico.

2.2. Aquisição dos dados Observados

A base de dados observacionais utilizada para verificar a destreza dos modelos do IPCC sobre o continente é proveniente da “*University of East Anglia*”/“*Climate Research Unit*” (CRU) (New et. al, 1999 e New et. al, 2001) (<http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/>), enquanto sobre o oceano são usadas as reanálises “20th Century Reanalysis V2” (Compo, 2004; Whitaker, 2006), fornecidas pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a partir do site <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

O conjunto de dados utilizado corresponde à série anual média de precipitação de 1901 a 1999, com resolução de 0,5 graus para o continente (CRU TS 3.0) e 2,0 graus para o oceano (20th Century Reanalysis V2).

2.3. Modelos do IPCC

Os dados provenientes do IPCC são simulações de modelos globais de centros de meteorologia que participaram desse relatório, conforme tabela 1, a partir das próprias observações do século XX. Neste estudo, será realizada uma análise dos dados de previsão climática do 4º relatório do IPCC para o NEB no século XX; foram avaliados os 24 modelos com suas respectivas rodadas, num total de 72.

2.4. Métodos de Análise de Séries Temporais – Wavelets

O método utilizado neste estudo para caracterizar as variabilidades tanto de espaço como de tempo no padrão de precipitação, é a Transformada de *Wavelets*. Este método é recomendado para o estudo de fenômenos transientes, espacialmente heterogêneos e que atuam simultaneamente em várias escalas do escoamento (Weng e Lau, 1994; Torrence e Compo, 1998).

Tabela 1- Modelos que compõem as previsões do IPCC.

Designação do Modelo	Instituição ou Agência; País	Topo do modelo /Resolução
BCC-CM1	<i>Beijing Climate Center; China</i>	25 hPa/ T63 (1.9° x 1.9°) L16
BCCR-BCM2	<i>Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega</i>	10 hPa/ T63 (1.9° x 1.9°) L31
CCCMA-CGCM3.1-T47	<i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá</i>	1 hPa/ T47 (~2.8° x 2.8°) L31
CCCMA-CGCM3.1-T63	<i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá</i>	1 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L31
CNRM-CM3	<i>Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo France; França</i>	0.05 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L45
CONS-ECHO-G	<i>Meteorological Institute of the University of Bonn (Alemanha), Institute of KMA (Correia do Sul), and Model, and Data Group</i>	10hPa/ T30 (~3.9° x 3.9°) L19
CSIRO-MK3	<i>CSIRO; Austrália</i>	4.5 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L18
CSIRO-MK3.5	<i>CSIRO; Austrália</i>	4.5 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L18
GFDL-CM2.0	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i>	3 hPa/ 2.0° x 2.5° L24
GFDL-CM2.1	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i>	3 hPa/ 2.0° x 2.5° L24
INM-CM3.0	<i>Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia</i>	10 hPa/ 4° x 5° L21
INGV-SXG2005	<i>National Institute of Geophysics and Volcanology; Itália</i>	10hPa/ T106 (1,125° x 1,125°)
IPSL-CM4	<i>Institut Pierre Simon Laplace (IPSL); França</i>	4 hPa/ 2.5° x 3.75° L19
LASG-FGOALS-G1.0	<i>LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 9804, Beijing 100029; China</i>	2.2 hPa/ T42 (~2.8 x 2.8°) L26
MPIM-ECHAM5	<i>Max Planck Institute for Meteorology; Alemanha</i>	10 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L31
MRI-CGCM2.3.2	<i>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão</i>	0.4 hPa/ T42 (~2.8° x 2.8°) L30
NASA-GISS-AOM	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>	10hPa/ 3° x 4° L12
NASA-GISS-EH	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>	0.1 hPa/ 4° x 5° L20
NASA-GISS-ER	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>	0.1 hPa/ 4° x 5° L20
NCAR-CCSM3	<i>National Center for Atmospheric Research (NCAR); Estados Unidos</i>	2.2 hPa/ T85 (1.4° x 1.4°) L26
NCAR-PCM	<i>National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF, DOE, NASA, e NOAA; Estados Unidos</i>	2.2 hPa/ T42 (~2.8° x 2.8°) L26
NIES-MIROC3.2-HI	<i>CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão</i>	40 km T 106 (~1.1° x 1.1°) L56
NIES-MIROC3.2-MED	<i>CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão</i>	30 km T42 (~2.8° x 2.8°) L20
UKMO-HADCM3	<i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i>	5 hPa/ 2.5° x 3.75° L19
UKMO-HADGEM1	<i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i>	39.2 km/ ~1.3° x 1.9° L38

2.4.1. Transformada de Wavelets (TW)

A TW é definida em termos de uma integral de convolução entre o sinal analisado $f(t)$ e uma função wavelet conhecida, expressa pela equação 1:

$$C(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi_{a,b}(t)dt \quad (1)$$

em que os parâmetros a e b variam continuamente em R , com $a \neq 0$, e

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in R^+, b \in R \quad (2)$$

Sendo as funções $\psi_{a,b}$ chamadas *wavelets* filhas e são geradas a partir de dilatações e translações da *wavelets*-mãe $\psi(t)$. A função *wavelet* considerada para a análise foi a de *Morlet*, dada pela equação 3:

$$\psi(t) = e^{iw_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (3)$$

com $w_0=6$ e $\eta=t/s$ onde t é o tempo e s é a escala da wavelet.

O algoritmo usado foi o desenvolvido por Torrence e Compo (1998).

2.5. Critérios de Avaliação

Utilizou-se como critério de avaliação a representação da variabilidade interanual e interdecadal da precipitação do NEB, pois ela exerce profunda influencia na variabilidade climática sobre o NEB e mostra-se como um importante modulador da variabilidade de mais alta frequência (Hastenrath, 1981; Nobre & Shukla, 1996; Kayano & Andreoli, 2004).

Para avaliar os modelos do IPCC são calculados os espectros globais anuais sobre a região do NEB. Em seguida, é feita uma comparação entre os espectros dos dados observados e das rodadas dos modelos do IPCC para que possam ser definidos quais os modelos que possuem melhor desempenho para a região de estudo. As medidas estatísticas utilizadas, cujas definições estão indicadas nesta secção, são: correlação entre espectros (CORREL) (conforme equação 5) e a distância euclidiana das variâncias das bandas (DIST).

$DIST^2$ indica o valor da variabilidade das variâncias das rodadas dos modelos quanto às variâncias dos dados observados por bandas e é definida pela equação:

$$DIST^2 = \sum_{i=1}^3 (Var_{BANDAobs} - Var_{BANDAmo})^2 \quad (4)$$

onde i é o número de bandas avaliadas, $Var_{BANDAobs}$ é a variância por banda da série observada e $Var_{BANDAmo}$ é a variância da banda das rodadas dos modelos do IPCC-AR4. Valores altos de DIST indicam uma distância maior entre as variâncias dos modelos quanto à variância da série observada.

A correlação assume valores entre -1 e 1 que indicam, respectivamente, anticorrelação e perfeita correlação, havendo ainda a total ausência de correlação verificada com um resultado igual a zero, conforme equação 5. Este índice tem a capacidade de detectar correspondência de fase entre as séries, sendo, por construção, insensível a erros de viés.

$$CORREL = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A})^2}} \quad (5)$$

onde n são os anos, P é a previsão de cada ano e A é a análise considerada como observação.

Ao final do cálculo desse índice é feita uma avaliação ponderada (AVAL) para que os modelos possam ser classificados, dada por:

$$AVAL = \alpha_c \left(\frac{CORREL - CORREL_{MIN}}{CORREL_{MAX} - CORREL_{MIN}} \right) + \alpha_r \left(\frac{DIST_{MAX} - DIST}{DIST_{MAX} - DIST_{MIN}} \right) \quad (6)$$

tal que

$$\alpha_c + \alpha_r = 1 \quad (7)$$

Sendo, $CORREL_{MIN}$ a menor correlação obtida entre os modelos do IPCC e $CORREL_{MAX}$ a máxima correlação. Assim como, $DIST_{MAX}$ é a máxima distância das variabilidades por bandas das rodadas dos modelos e $DIST_{MIN}$ o mínimo.

As variáveis α_c e α_r assumem valores entre 0 e 1 (conforme equação 7). Para valores $\alpha_c > \alpha_r$, a correlação exerce maior influência na avaliação do modelo, enquanto que para $\alpha_c < \alpha_r$ a distância entre as variabilidades dos modelos possui maior peso na avaliação. Já para $\alpha_c = \alpha_r = 0,5$, as duas métricas utilizadas neste trabalho exercem o mesmo efeito sobre o valor de AVAL. A variável AVAL assume valores entre 0 e 1 que indicam, respectivamente, o pior entre os modelos avaliados e o melhor deles, segundo este critério.

3. RESULTADOS

3.1. Análises de Wavelets

A análise da série observada foi realizada visando conhecer as relações existentes entre as componentes de diferentes períodos, em função da escala temporal do sinal.

Na figura 2 o espectro global da série de dados observados de precipitação CRU/NOAA mostra picos na escala interanual (3,5 e 4,9 anos) e picos para as escalas decadal (11,7 e 23,4 anos), e mostra que ao longo do Século XX esta apresenta três

bandas características de (3-6 anos), (9-14 anos) e (19-33 anos), ou seja, ela apresenta oscilações em várias escalas de tempo.

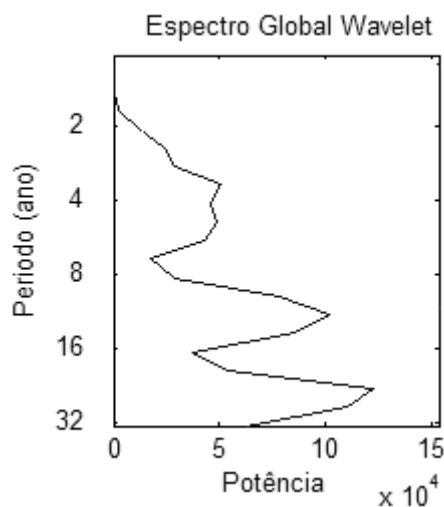


Figura 2 – Espectro global wavelet para o século XX.

3.2. Espectros Globais

Na figura 3 são mostrados os espectros globais tanto da série observada quanto pelos modelos do IPCC que apresentam maior CORREL: GISS_MODEL_E_R_RUN8, CSIRO_MK3_0_RUN2 e UKMO_HADCM3_RUN1. No caso do modelo UKMO_HADCM3_RUN1 ele tem uma maior amplitude que as observações, mesmo assim ele capta o comportamento das observações. Já na figura 4 apresenta os modelos (MPI_ECHAM5_RUN3, IAP_FGOALS_0_G_RUN2 e MIUB_ECHO_G_RUN2) que tem menor CORREL. Nota-se que tais modelos são capazes apenas de representar os padrões de variação de alta frequência do século XX, e não captam a variabilidade de baixa frequência da série de precipitação observada. O período avaliado em anos (fig. 3 – 4) equivale ao período do espectro global (fig. 2).

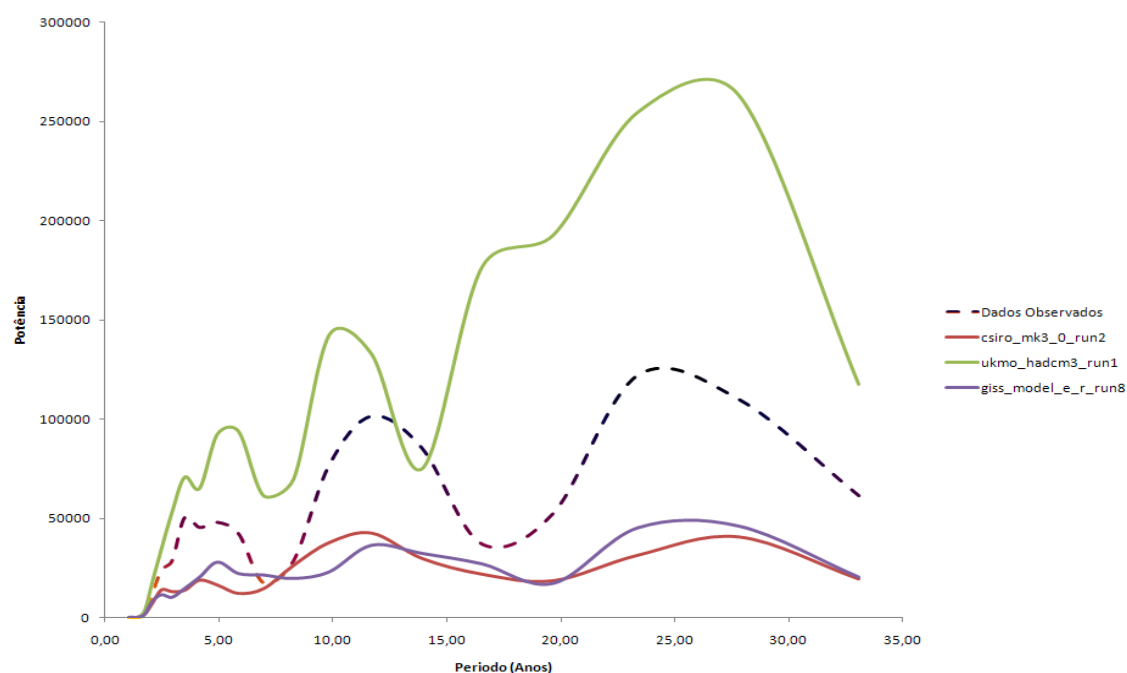


Figura 3 – Espectro da precipitação observada e dos três modelos que tem maior correlação.

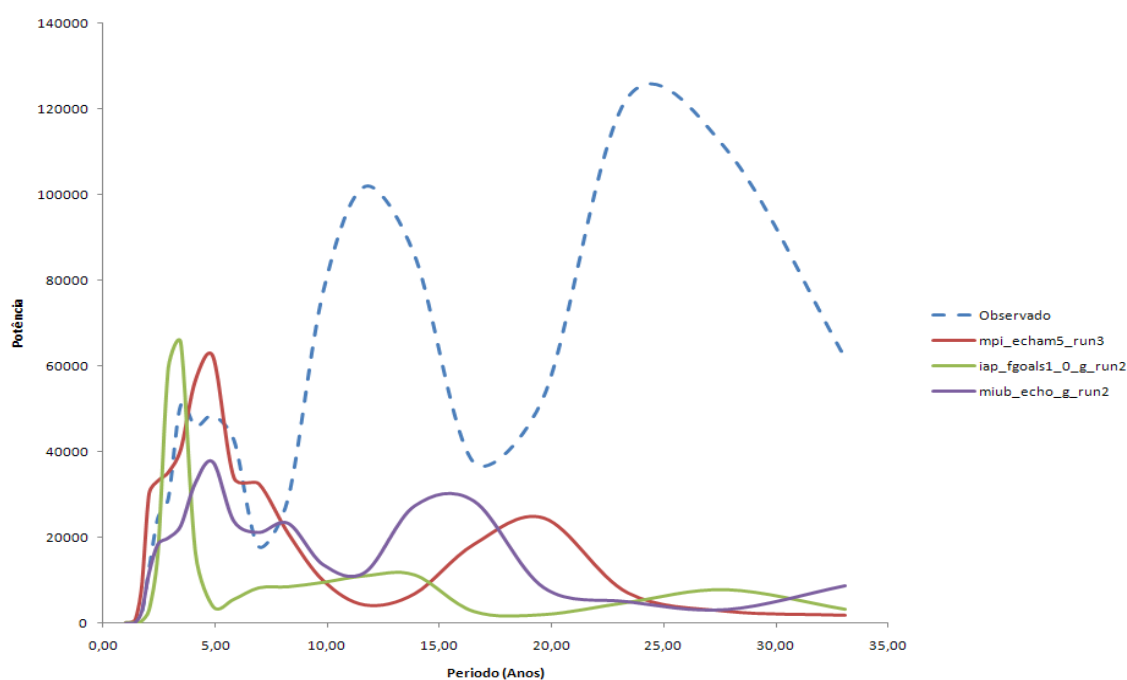


Figura 4 – Espectro da precipitação observada e dos três modelos que tem menor correlação.

3.3. Variâncias Espectrais da Série Observada e dos Modelos do IPCC

Para a análise da variância espectral das rodadas dos modelos foram avaliadas as três bandas mais representativas da série observada de precipitação no século XX. As bandas consideradas foram de (3-6 anos), (9-14 anos) e (19-33 anos).

Na figura 5 mostra as variações dos modelos com respeito às bandas consideradas neste estudo. Na banda de 3-6 anos a variância dos dados observados é

0,21, sendo que tal padrão de variação é bem representado pelos modelos CSIRO_MK3_5_RUN2, GISS_MODEL_R_RUN8 e NCAR_PCM1_RUN2 que possuem variâncias de aproximadamente 0,20. Os modelos CSIRO_MK3_5_RUN1, MPI_ECHAM5_RUN3 e CCCMA_CGCM3_1_RUN5 superestimam a variância observada, enquanto os modelos UKMO_HADCM3_RUN2, MIROC3_2_HIRES_RUN1 e IAP_FGOALS1_0_G_RUN1 subestimam.

Na banda de 9 – 14 anos a variância dos dados observados é 0,11. Os padrões de variação dos modelos CCCMA_CGCM3_1_T63_RUN1, CSIRO_MK3_5_RUN2, MRI_CGCM2_3_2A_RUN3 possuem variâncias aproximadas às observações. O padrão de variação do modelo MIROC3_2_MEDRES_RUN3 superestima a variância observada, enquanto as variâncias dos modelos MPI_ECHAM5_RUN3, GFDL_CM2_0_RUN3, GISS_MODEL_E_H_RUN1 subestimam.

Na banda de 19 – 33 anos a variância dos dados observados é 0,07. Este padrão de variação é bem representado pelos modelos CSIRO_MK3_5_RUN2, GISS_MODEL_R_RUN8, NCAR_PCM1_RUN1 que possuem variâncias aproximadas às observações. As variâncias dos modelos GISS_AOM_RUN1, GISS_MODEL_E_R_RUN2, UKMO_HADCM3_RUN1 superestimam a variância observada, enquanto as variâncias dos modelos NCAR_CCSM3_0_RUN1, IAP_FGOALS1_0_G_RUN2, MIUB_ECHO_G_2 subestimam.

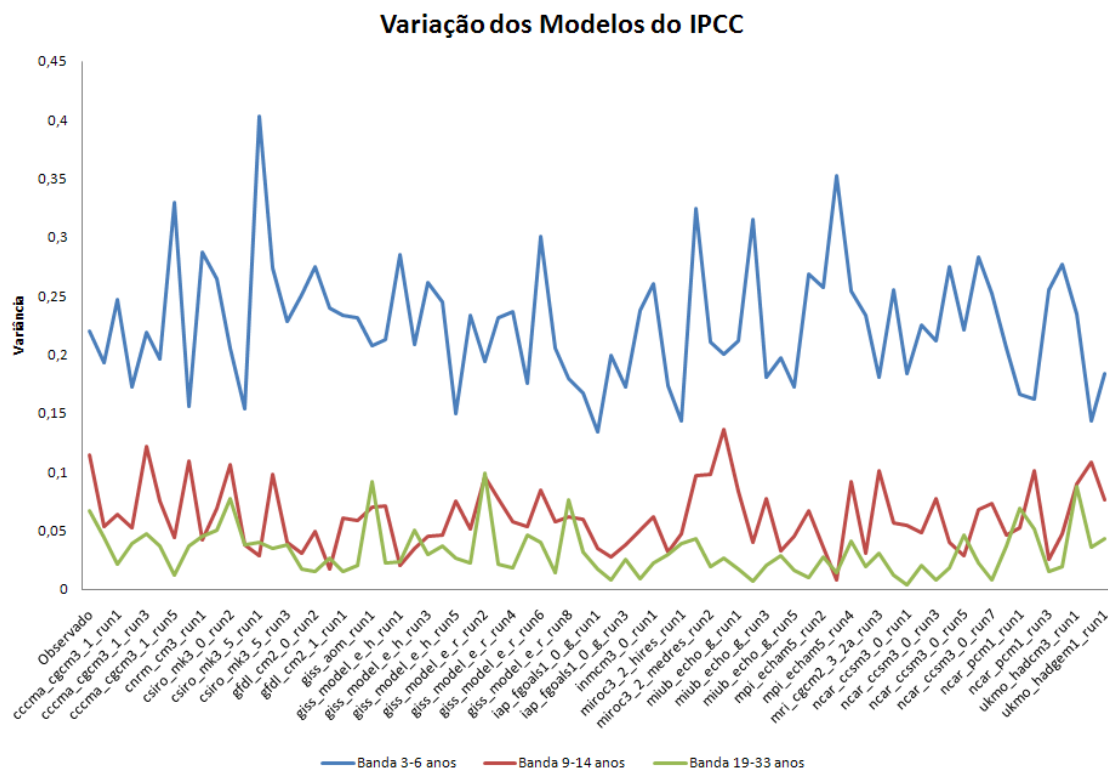


Figura 5 – Variância das rodadas dos modelos do IPCC-AR4 e da série observada por bandas.

O modelo UKMO_HADCM3_RUN1 tem uma boa representação da variabilidade interanual com 6% a mais da série observada na banda de 3 – 6 anos, na banda de 9 -14 anos ele representa 12% a menos da variabilidade nessa faixa e para a banda de 19 – 33 anos ele representa 30% a mais da variabilidade interdecadal observada.

XIX Simpósio de Brasileiro de Recursos Hídricos

3.4. Classificação dos Modelos do IPCC

A tabela 2 mostra os índices estatísticos CORREL, DIST e AVAL de todas as rodadas dos modelos do IPCC em ordem de classificação, para α_c e α_r igual a 0,5. O modelo CSIRO_MK3_0_RUN2 apresentou correlação superior a 0,89 e distancia inferior a 0,18 em relação à variação por bandas da série observada, seguido pelos modelos UKMO_HADCM3_RUN1 e GISS_MODEL_E_R_RUN8. O modelo MPI_ECHAM5_RUN3 apresentou correlação negativa e a maior distancia, o que levou esse modelo a apresentar AVAL igual a 0, indicando que o mesmo não representa adequadamente os padrões de variação de baixa frequência da série observada no século XX. Os modelos MIUB_ECHO_G_RUN2, IAP_FGOALS1_0_G_RUN2 e MPI_ECHAM5_RUN3 apresentam correlações inferiores aos demais, associados a distancias superiores a 1,17, por isso obtiveram um AVAL baixo.

Tabela 2 – Classificação dos Modelos do IPCC-AR4 para o século XX segundo o AVAL para região Nordeste do Brasil.

Modelos do IPCC	Classificação	Correl	Distância	Aval	Modelos do IPCC	Classificação	Correl	Distância	Aval
csiro_mk3_0_run2	1	0,898	0,176	0,990	giss_model_e_r_run9	38	0,345	0,749	0,488
ukmo_hadcm3_run1	2	0,843	0,381	0,878	miub_echo_g_run1	39	0,383	0,793	0,488
giss_model_e_r_run8	3	0,920	0,518	0,857	giss_model_e_r_run3	40	0,316	0,759	0,471
ncar_pcm1_run2	4	0,783	0,377	0,851	giss_model_e_r_run1	41	0,414	0,869	0,470
giss_model_e_r_run2	5	0,792	0,515	0,798	giss_model_e_r_run4	42	0,413	0,891	0,461
csiro_mk3_0_run1	6	0,781	0,518	0,791	ipsl_cm4_run1	43	0,415	0,938	0,442
giss_aom_run1	7	0,783	0,539	0,783	gfdl_cm2_1_run2	44	0,326	0,850	0,437
mpi_echam5_run4	8	0,684	0,466	0,767	giss_model_e_r_run7	45	0,391	0,931	0,434
cccma_cgcm3_1_t63_run1	9	0,743	0,532	0,767	ncar_ccsm3_0_run6	46	0,260	0,833	0,413
mri_cgcm2_3_2a_run3	10	0,757	0,581	0,753	ncar_pcm1_run4	47	0,354	0,956	0,406
miroc3_2_medres_run1	11	0,772	0,618	0,745	ncar_ccsm3_0_run2	48	0,296	0,903	0,401
giss_model_e_r_run6	12	0,741	0,612	0,733	mri_cgcm2_3_2a_run1	49	0,301	0,914	0,399
cccma_cgcm3_1_run3	13	0,415	0,297	0,711	inmcm3_0_run1	50	0,218	0,830	0,394
miroc3_2_medres_run3	14	0,673	0,637	0,690	ncar_ccsm3_0_run4	51	0,344	1,009	0,379
csiro_mk3_5_run2	15	0,568	0,558	0,674	ingv_echam4_run1	52	0,349	1,030	0,373
ncar_pcm1_run1	16	0,549	0,592	0,651	gfdl_cm2_0_run2	53	0,321	0,998	0,373
bccr_bcm2_0_run1	17	0,529	0,650	0,617	mpi_echam5_run1	54	0,289	0,970	0,369
miroc3_2_medres_run2	18	0,591	0,733	0,611	mri_cgcm2_3_2a_run2	55	0,325	1,021	0,365
cccma_cgcm3_1_run1	19	0,664	0,821	0,608	mpi_echam5_run2	56	0,232	0,922	0,363
giss_aom_run2	20	0,598	0,773	0,597	iap_fgoals1_0_g_run3	57	0,229	0,931	0,357
ukmo_hadgem1_run1	21	0,364	0,516	0,595	miub_echo_g_run5	58	0,283	1,000	0,354
cccma_cgcm3_1_run4	22	0,418	0,583	0,593	csiro_mk3_5_run1	59	0,428	1,190	0,342
ncar_ccsm3_0_run5	23	0,615	0,812	0,589	ncar_ccsm3_0_run7	60	0,213	0,961	0,337
cccma_cgcm3_1_run2	24	0,520	0,723	0,582	ncar_ccsm3_0_run3	61	0,175	0,943	0,327
giss_model_e_h_run5	25	0,537	0,767	0,572	mri_cgcm2_3_2a_run4	62	0,205	0,981	0,325
giss_model_e_h_run3	26	0,603	0,847	0,569	gfdl_cm2_0_run3	63	0,221	1,041	0,307
giss_model_e_r_run5	27	0,414	0,650	0,563	gfdl_cm2_1_run1	64	0,097	0,911	0,304
cnrm_cm3_run1	28	0,515	0,780	0,556	giss_model_e_h_run1	65	0,244	1,086	0,299
csiro_mk3_0_run3	29	0,561	0,854	0,546	cccma_cgcm3_1_run5	66	0,285	1,135	0,298
miub_echo_g_run4	30	0,535	0,922	0,505	gfdl_cm2_0_run1	67	0,210	1,059	0,295
ncar_ccsm3_0_run9	31	0,377	0,749	0,504	ncar_ccsm3_0_run1	68	0,155	1,089	0,256
ukmo_hadcm3_run2	32	0,228	0,583	0,503	iap_fgoals1_0_g_run1	69	0,064	1,089	0,213
giss_model_e_h_run2	33	0,367	0,743	0,501	ncar_pcm1_run3	70	0,054	1,104	0,202
miub_echo_g_run3	34	0,406	0,787	0,501	miub_echo_g_run2	71	0,093	1,189	0,185
csiro_mk3_5_run3	35	0,396	0,786	0,497	iap_fgoals1_0_g_run2	72	0,065	1,172	0,179
miroc3_2_hires_run1	36	0,408	0,800	0,497	mpi_echam5_run3	73	-0,141	1,366	0,000
giss_model_e_h_run4	37	0,360	0,754	0,494					

4. CONCLUSÕES

A transformada de *wavelets* mostra a existência de variações na série de precipitação observada em várias escalas de tempo, no espectro global percebem-se três bandas representativas no século XX para região Nordeste Setentrional do Brasil. Esta variabilidade restringe o uso de alguns modelos do IPCC, pois estes não são capazes de representar o comportamento da série no século XX.

Na análise espectral das rodadas dos modelos do IPCC, quanto à precipitação observada durante o século XX, apresentam grandes divergências em representar a variabilidade interanual e interdecadal de precipitação no NEB.

Aproximadamente 15 rodadas dos modelos globais do IPCC para o NEB apresentam correlações superiores a 0,69 (Tab. 2) em relação à precipitação observada durante o século XX, mostrando que estes modelos são capazes de capturar os padrões de variação interanual e em alguns casos a variação interdecadal.

A avaliação feita com os dados médios sobre a área do NEB (figura 1) apontou o modelo CSIRO_MK3_0_RUN2 como aquele com mais altos valores de AVAL, seguidos pelos modelos e UKMO_HADCM3_RUN1, GISS_MODEL_E_R_RUN8; a partir da figura 4 observa-se que estes modelos conseguem produzir as variabilidades interanual e interdecadal de precipitação durante o Século XX.

Os modelos NCAR_PCM1_RUN3, MIUB_ECHO_G_RUN2, IAP_FGOALS1_0_G_RUN2, IAP_FGOALS1_0_G_RUN1 e MPI_ECHAM5_RUN3 mostram dificuldade de representação do ciclo decadal da precipitação sobre o NEB, com correlações inferiores às demais regiões do domínio, conforme a figura 5.

Os resultados aqui apresentados sugerem que os modelos CSIRO_MK3_0_RUN2, GISS_MODEL_E_R_RUN8 e UKMO_HADCM3_RUN1, reproduziram de maneira satisfatória as variabilidades interanual e interdecadal do padrão de chuvas sobre o NEB, pode-se considerar estes modelos como uma boa opção para avançar na investigação dos efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos da região.

5. AGRADECIMENTOS

Os dois primeiros autores agradecem ao CAPES, CNPq pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. *A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza*, Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, 337-344, 2004.
- ANDREOLI, R.; KAYANO, M.; GUEDES, R.; OYAMA, M.; ALVES, M.; A *importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na Variabilidade de Precipitação do Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Meteorologia, 22 n.1. 2007.

- CHAVES, R. R.; NOBRE, P. *Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone*. Geophys. Res. Lett., v. 31, n. 3, 2004.
- DUURSMA, E. *River flow and temperature profile trends; consequences for water resources*. A. de Man, P.E. van Oeveren, S. Montjin, Heineken, N. V. Company. Amsterdam 2002.
- ALBURQUERQUE, I. F.; FERREIRA, N.; da SILVA, M.; DIAS, M. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo Oficina de Textos p. 280, 2009.
- GU, D.; PHILANDER, G. H. *Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century*. Journal of Climate, v.8, n. 4, p.864-876, 1995.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E.; DOYLE, M. E. *Climate variability in southern South America associated with El Nino and La Nina events*. Journal of Climate, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- FILHO, F. A. S.; MOURA, A. D. *Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 332p., 2006
- HASTENRATH, S.; KACZMARCZYK, E. B. *On spectra and coherence of tropical climate anomalies*, Tellus, v.33, n.5, p.453-462, 1981.
- HAYLOCK, M.; PETERSON, T.; ALVES, L.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, M.; BAEZ, J.; BARROS, V.; BERLATO, M.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V.; GRIMM, A.; KAROLY, D.; MARENGO J. A.; MARINO, M.; MONCUNILL, D.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. *Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature* Journal of Climate Volume 19, Issue 8 (April 2006) pp. 1490-1512.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press: Cambridge, 23 p, 2007b.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: The physical science basis*. Cambridge, 18 p. 2007a.
- KANE, R. P. *El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil*. Rev. Bras. Geofísica, v.10, p. 49-59, 1992.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI R. V. *Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies*. J. Geophys. Res., v. 109, n.C11011, doi: 10.1029/2004JC002429, 2004.
- KOUSKY, V. E; *Frontal influences on Northeast Brazil*. Montly Weather Review. 107, 1140-1153.1979.

- LORENTZ, E. N. Nondeterministic theories of climate change. – Quart. Res. 1975, v.6. pp. 495-506.
- MARENGO, J. A.; PAIXÃO, J. A.; BRAHMANANDA, V. *A influência das Anomalias de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de Monção da América do Sul*. Revista Brasileira de Meteorologia, 16, (2002).
- MARENGO, J. A. *Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin*. Theoretical and Applied Climatology. 78, p. 79-96, 2004.
- MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. *Impacto das mudanças climáticas no Brasil e Possíveis Cenários Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC de 2001*. CPTEC-INPE, p. 29 2005.
- MARENGO J.A.; VALVERDE, MARIA C. *Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4*. Revista Multiciência Campinas Ed. No. 8 Maio 2007.
- MARENGO J. A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO DE OLIVEIRA G.; CAMARGO H.; OYAMA, M.; ALVES, L., *The Drought of Amazonia in 2005*, *Journal of Climate*, aceito (2007).
- MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. *Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro*. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. *On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model*. J. Atmos. Sci., **38**, 2653-2675. 1981.
- NOBRE C. A. *Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança no clima*. In: Brasil, Presidência da República. Núcleo de Assuntos Estratégicos. Mudança do clima: Negociações Internacionais sobre a Mudança do Clima. Brasília. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. V. 1 parte 2, p. 147-216, 2005.
- NOBRE, P.; SHUKLA J. *Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America*. Journal of Climate, v.9 n. 19, p. 2664-2479, 1996.
- PHILANDER, S.G.: *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. 1990. Academic Press, INC. San Diego, Califórnia.
- SERRA, A. *Mudanças Climáticas*. Revista Brasileira de Meteorologia, 1987, v. 2, n. 1, p. 101-105.
- TASCHETTO, A.; WAINER I., *A Influência dos Gases Estufa no Oceano Atlântico Sul: Variabilidade Interanual*. Revista Brasileira de Metereologia v.20, n.1, 105-120, 2005.

- TORRENCE, C.; COMPO, G. P. *A practical guide to wavelet analysis*, Bull. Am. Meteor. Soc., v.79, n.1, p.61-78, 1998.
- WENG, H.; LAU, K. M.: *Wavelets, period doubling, and time- frequency localization with application to organization of convection over Tropical Western Pacific*. J. Atmos. Sci., 1994.