

## Análise das Projeções de Precipitação do IPCC-AR4 para os Cenários A1B, A2 e B1 para o Século XXI para Nordeste Setentrional do Brasil

Cleiton da Silva Silveira\*, Francisco de Assis de Souza Filho\*, Samuellson Lopes Cabral\*  
cleitonsilveira16@yahoo.com.br

Recebido: 30/09/11 - revisado: 26/01/12 - aceito: 21/01/13

---

---

### RESUMO

As projeções de precipitação dos modelos globais do quarto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR4) são analisadas para o Nordeste Setentrional do Brasil para o período de 2010 a 2099 dos cenários A1B, A2 e B1. Para análise sazonal considerou-se a anomalia de precipitação média anual e a anomalia na climatologia média dos cenários do século XXI em relação ao século XX. Para análise das variações interanuais utilizou-se uma avaliação de tendências usando métodos clássicos (média móvel de 10 anos, regressão linear e Mann-Kendall-Sen) e a análise de ondeletas (wavelets). Os modelos mostram maiores impactos na pré-estação, porém divergem quanto ao sinal da anomalia, indicando uma possível antecipação ou adiamento da influência da ZCIT na região. A maioria dos modelos não indica tendência significativa para as variações interanuais. O modelo UKMO\_HADCM3\_run1 possui as projeções mais pessimista para o século XXI para os três cenários. O modelo CNRM\_CM3\_run1 indica uma das maiores tendências de aumento de precipitações anuais para os três cenários. A tendência mostrada por esses modelos é explicada em parte pela variação natural de baixíssima frequência da série, mas principalmente, por uma evidente mudança no regime de precipitação da série.

**Palavras-Chave:** Precipitação, IPCC-AR4, análise sazonal.

---

---

### INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta clima semiárido com grande variabilidade temporal e espacial de chuvas (MOLION & BERNARDO, 2002). Pequenas flutuações, associadas às condições climáticas, provocam significativos impactos sociais e econômicos sobre a região, conforme descritos por Souza Filho & Moura (2006). Desta forma, identificar padrões de variação ou/e sinais de mudanças climáticas é de relevante importância, já que impacta os recursos hídricos, agricultura e outras áreas relevantes.

A demanda por energia tem crescido muito nos últimos anos (HINRICHS e KLEINBACH, 2003), derivada principalmente a partir de combustíveis fósseis. Essa utilização intensa dos materiais energéticos fósseis aliados à agricultura extensiva, dentre outros fatores, têm resultado num acréscimo mensurável da concentração de gases estufas na atmosfera (IPCC, 2007(a)).

A mudança na concentração dos gases estufas nas últimas décadas tem causado um evidente aumento gradual da temperatura global (HINRICHS & KLEINBACH, 2003) e pode alterar outros campos meteorológicos, como a precipitação. Esse aumento de temperatura é mostrado para o Brasil para o século XX em, por exemplo, Victoria et al. (1998), Duursma (2002) e Marengo & Camargo (2007).

Diversos autores avaliaram a tendência na precipitação total no NEB para séries observadas durante o século XX. Por exemplo, Haylock et. al (2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul, e observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. O estudo realizado por Santos & Britto (2007), utilizando índices de extremos climáticos e correlacionando-os com as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) também mostraram tendência de aumento da precipitação total anual nos estados da Paraíba e Rio Grande de Norte. Costa dos Santos et al. (2009) mostraram tendências de aumento de precipitação para o estado do Ceará.

Entretanto tais tendências podem estar associadas além de mudanças climáticas e/ou altera-

---

\*Universidade Federal do Ceará (UFC)

ções no uso do solo a flutuações naturais desta grandeza que tem ocorrido naturalmente durante milhões de anos ou, por vezes, mais bruscamente, em décadas ou anos. Essas flutuações podem estar associadas, por exemplo, aos padrões de variação nos Oceanos Pacífico e Atlântico (GRIMM et al., 2000, KANE, 1992, NOBRE e SHUKLA, 1996), como a variabilidade interanual associada ao El Niño Oscilação Sul (ENSO), ou à variabilidade decadal do Pacífico. Porém, é provável que a alteração da temperatura planetária das últimas décadas provocada pelas alterações na composição química da atmosfera, devido basicamente a emissão de gases estufas da atividade humana (IPCC, 2007(a)) provoque mudanças no regime de chuvas no NEB.

As técnicas estatísticas mais utilizadas para a análise de tendência de séries hidrológicas são o teste de Mann-Kendall com o método de Sem (PRESS et al., 1989) e o de Regressão Linear, como afirmam Alexandre et al. (2010). O teste de Mann Kendall tem sido usado amplamente em estudos de tendências hidrológicas (DIAS DE PAIVA e CLARKE, 1995; CHIEW et al., 1993; LETTENMAIER et al., 1994, MARENGO et al., 1998).

Estudos sobre variabilidade e mudanças no clima para o NEB com os modelos do IPCC-AR4 observaram que as variações do regime de chuvas apresentam maiores sinais de ciclos interdecadais do que tendências de aumento ou redução de precipitações (MARENGO & VALVERDE, 2007). Quanto os estudos de verificação de tendência para vazões no Brasil verificaram que as simulações realizadas na escala das bacias hidrográficas (NÓBREGA et al., 2011; TOMASELLA et al., 2009; CAMPOS e NÉRIS, 2009; MEDEIROS, 2003) concordam com os estudos realizados em nível global (MILLY et al., 2005; UK MET OFFICE, 2005) e nacional (SALATI et al., 2008) no que diz respeito ao sinal da mudança. As principais mudanças são redução do escoamento no leste da Amazônia e Nordeste (inclusive São Francisco) e elevação nas bacias dos rios Paraná-Prata e Paraguai.

Alves et. al (2011) sugere o uso da transformada de *wavelets* para identificar os padrões de variação das precipitações e vazões observadas para os principais reservatórios que compõem o setor elétrico brasileiro e identificar as possíveis tendências para o século XXI.

O objetivo deste trabalho é analisar as projeções das precipitações dos modelos globais IPCC-AR4 para o cenário A1B, A2 e B1 para o século XXI buscando identificar tendências nas variações interanuais e mudanças na sazonalidade.

## METODOLOGIA

### Região de Estudo

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

Essa região possui um ciclo anual bem definido, onde predominam duas estações distintas: o período chuvoso e o período seco (ALBUQUERQUE et al., 2009). A estação chuvosa distribui-se entre dezembro e julho e subdivide-se em: a) pré-estação chuvosa (dezembro e janeiro), durante a qual os principais sistemas causadores de chuva são a proximidade das frentes frias e os vórtices ciclônicos de ar superior; b) “quadra chuvosa” ou estação chuvosa propriamente dita (de fevereiro a maio), que tem a zona de convergência intertropical-ZCIT como principal sistema causador de chuva, impactando o setor norte do NEB, seguido de sistemas secundários tais como linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala e efeitos de brisa e c) pós-estação chuvosa (junho e julho), em que os sistemas causadores de chuva mais importantes são as ondas de leste, que atuam principalmente sobre o leste do NEB, e os complexos convectivos de mesoescala. No segundo semestre, há um predomínio de altas pressões atmosféricas e uma quase total ausência de fenômenos atmosféricos causadores de chuva, caracterizando a estação seca. O NEB apresenta grande variabilidade de chuvas com regiões com precipitação de 500 mm/ano e outras com mais de 1400 mm/ano (SOUZA FILHO, 2006).

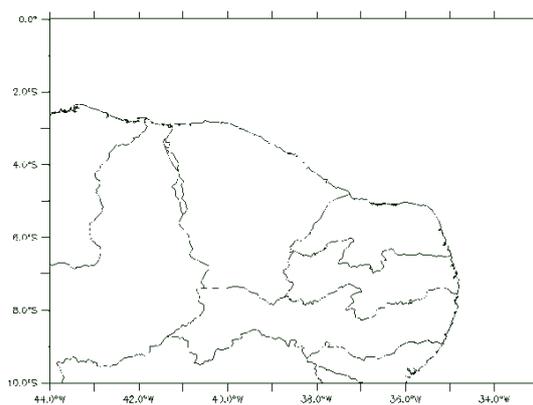


Figura 1- Região de estudo, Nordeste Setentrional brasileiro e parte do Oceano Atlântico

Tabela 1 - Modelos de circulação geral do IPCC

Designação do Modelo	Instituição ou Agência; País
BCC-CM1	Beijing Climate Center; China
BCCR-BCM2	Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega
CCCMA-CGCM3 1-T47	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá
CCCMA-CGCM3 1-T63	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá
CNRM-CM3	Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo France; França
CONS-ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn (Alemanha), Institute of KMA (Correia do Sul), and Model, and Data Group
CSIRO-MK3	CSIRO; Austrália
CSIRO-MK3.5	CSIRO; Austrália
GFDL-CM2.0	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos
GFDL-CM2.1	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos
INM-CM3.0	Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia
INGV-SXG2005	National Institute of Geophysics and Volcanology; Itália
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL); França
LASG-FGOALS-G1.0	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 9804, Beijing 100029; China
MPIM-ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology; Alemanha
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão
NASA-GISS-AOM	Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos
NASA-GISS-EH	Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos
NASA-GISS-ER	Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos
NCAR-CCSM3	National Center for Atmospheric Research (NCAR); Estados Unidos
NCAR-PCM	National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF, DOE, NASA, e NOAA; Estados Unidos
NIES-MIROC3.2-HI	CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão
NIES-MIROC3.2-MED	CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão
UKMO-HADCM3	Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido
UKMO-HADGEM1	Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido

### Dados observacionais

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 climatologia de precipitação de 1901 a 1999, com resolução de 0,5 grau para o continente (CRU TS 3.0) e 2,0 graus para o oceano (20th Century Reanalysis V2).

### Modelos do IPCC

Os dados provenientes do IPCC são resultados de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa que contribuíram para esse artigo (conforme Tabela 1), forçadas pelas concentrações observadas de gases de efeito estufa durante o século XX (simulações 20C3M).

### Cenários do século XXI

Para avaliação das projeções para o século XXI para o Nordeste Setentrional do Brasil serão considerados os cenários A1B, A2 e B1.

O cenário A1 destaca um rápido crescimento econômico na primeira metade do século XXI associado com um declínio na segunda metade e a

inserção de novas tecnologias (IPCC, 2007(a)). A família A1 se divide em três grupos:

- A1F: aprimoramento da tecnologia com ênfase nos combustíveis fósseis;
- A1T: evolução da tecnologia a base de combustíveis não fósseis;
- A1B: sugere um equilíbrio entre as diversas fontes de energia.

O cenário A1B sugere um pico das emissões de gases estufa na metade do século XXI, seguido por uma tendência de redução na segunda metade do século XXI.

O cenário A2 projeta um crescimento contínuo da população associado um lento desenvolvimento tecnológico, isto implica em emissões acentuadas de dióxido de carbono. Este cenário é considerado o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de gases estufas.

O cenário B1 projeta um mundo com população global crescente a taxas inferiores ao A2 e soluções locais para sustentabilidade econômica, social e ambiental. O crescimento econômico é intermediário, considera um progresso tecnológico menos acelerado e diversificado. Esse cenário é considerado o mais otimista dos três avaliados, propõe um nível de emissões de gases estufas bem inferior aos cenários A1B e A2 no final século XXI.

### Análise das Projeções sazonais

A sazonalidade da precipitação é de grande relevância para a avaliação dos impactos do clima em recursos hídricos e agricultura na região. O início do plantio das culturas e o regime fluvial são condicionados pela distribuição temporal das chuvas. Uma sensível mudança nos padrões da sazonalidade impacta diretamente estas duas importantes áreas. Adicionalmente pode-se avaliar que os totais de precipitação mensais e sua sazonalidade podem ser considerados como indicativos de mudanças ou não nos padrões dos sistemas geradores de chuvas e sua ocorrência.

Para o cálculo das anomalias sazonais são consideradas as projeções fornecidas pelos modelos globais do IPCC-AR4 para os cenários A1B, A2 e B1 no período de 2010 a 2099. Em seguida é feita uma comparação relativa à representação dos modelos para a simulação do cenário 20C3M (este cenário indica como os modelos do IPCC representam os padrões de variação do século XX) no período de 1901 a 1999.

As medidas estatísticas utilizadas, cujas definições estão indicadas a seguir, são: anomalia na média anual de precipitação e anomalia sazonal da precipitação.

Para o cálculo da anomalia na média anual considerou-se a equação 1:

$$A_{\text{anual}} = \frac{P_{\text{XXI}}^a - P_{20\text{C}3\text{M}}^a}{P_{20\text{C}3\text{M}}^a} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $P_{\text{XXI}}^a$  é média da precipitação anual para o cenário do século XXI e  $P_{20\text{C}3\text{M}}^a$  é a média da precipitação anual para o cenário 20C3M.

A segunda métrica visa avaliar como essa anomalia na média anual de precipitação está distribuída ao longo dos meses do ano. Para o cálculo da anomalia é identificada a climatologia dos cenários do século XXI e século XX dos modelos globais do IPCC-AR4. Em seguida é calculada a diferença entre as mesmas e divide-se pela média de precipitações anuais do cenário 20C3M, conforme equação 2:

$$A^i\% = \frac{P_{\text{XXI}}^i - P_{20\text{C}3\text{M}}^i}{P_{20\text{C}3\text{M}}^i} \times 100 \quad (2)$$

Onde  $i$  são os meses do ano,  $P_{\text{XXI}}^i$  a precipitação do cenário do século XXI para o mês  $i$ ,  $P_{20\text{C}3\text{M}}^i$  a precipitação do cenário 20C3M para o mês  $i$  e  $A^i\%$  a anomalia percentual da precipitação sazonalmente.

### Análise de tendência das precipitações anuais

Para analisar a tendência do século XXI as séries de precipitações anuais dos cenários do século XXI foram normalizadas com base nas características da série do cenário 20C3M de 1901 a 1999. Essa normalização segue a equação 3:

$$Z = \frac{X_{\text{XXI}}^j - \bar{X}_{20\text{C}3\text{M}}^i}{\sigma_{20\text{C}3\text{M}}} \quad (3)$$

Onde  $Z$  é a precipitação do cenário do século XXI normalizada,  $X_{\text{XXI}}^j$  a precipitação anual do cenário A1B para um ano  $j$ ,  $\bar{X}_{20\text{C}3\text{M}}^i$  a precipitação anual média do cenário 20C3M na série de 1901 a 1999

e  $\sigma_{20C3M}$  o desvio padrão da série de precipitações anuais do cenário 20C3M.

As metodologias de avaliação de tendência/variabilidade podem ser divididas em dois tipos quanto à sua abordagem: Métodos Clássicos e Métodos Modernos.

Neste trabalho foram utilizados os métodos clássicos de Mann-Kendall-Sen, Média Móvel de 10 anos e Regressão Linear, e dentre os métodos modernos, utilizou-se a análise de ondeletas (*wavelet*).

### Métodos Clássicos

Nos testes de tendência, segundo Xu et al. (2003), a hipótese nula  $H_0$  ocorre na ausência de tendência na série histórica. Já a hipótese não nula ( $H_1$ ) ocorre quando existe uma tendência na série.

Os testes estatísticos podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos (NAGHETTINI & PINTO, 2007). Os testes paramétricos se baseiam na hipótese de que os dados amostrais foram obtidos a partir de uma população cuja distribuição seja conhecida ou previamente especificada. Já os testes não-paramétricos não necessitam da especificação do modelo distributivo da população, sendo formulados com base nas características da amostra. Segundo Xu et al. (2003), os testes não-paramétricos são mais robustos.

Ainda segundo Xu et al (2003), a utilização de testes paramétricos e não-paramétricos dependem das características dos dados em que se está trabalhando.

O modelo de regressão linear é dado pela equação 4 (HELSEL & HIRSCH, 2002):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

Onde:  $y_i$  é a  $i$ -ésima observação da variável dependente;

$x_i$  é a  $i$ -ésima observação da variável independente;

$\beta_0$  é o interceptador;

$\beta_1$  é a inclinação;

$\varepsilon_i$  é o erro aleatório ou residual para a  $i$ -ésima observação;

$n$  é o tamanho da amostra.

O erro  $\varepsilon_i$  depende da variabilidade natural do sistema, possui média igual a zero e variância ( $\sigma^2$ ) constante, portanto,  $\varepsilon_i$  é independente de  $x_i$ .

A regressão linear é obtida estimando-se os valores de  $\beta_0$  e  $\beta_1$  através de alguma técnica de

ajustamento. Segundo Naghettini & Pinto (2007), o método dos mínimos quadrados é um dos procedimentos mais adequados para este ajuste.

Se uma tendência linear está presente em uma série, a declividade (mudança por unidade de tempo) pode ser estimada usando o método não-paramétrico desenvolvido por Sen (1968) (KAHYA & KALAYCI, 2004).

No método de Sen são computadas as declividades de  $N$  pares de dados através da equação 5:

$$Q_i = \frac{(X_j - X_k)}{(j - k)} \quad (5)$$

Para  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Onde  $x_j$  e  $x_k$  são os valores de  $x$  nos períodos  $j$  e  $k$  respectivamente, com  $j > k$ . A mediana dos  $N$  valores de  $Q_i$  será a declividade de Sen. Se houver apenas uma referência em cada período de tempo, então:

$$N = \frac{n(n-1)}{(2)} \quad (6)$$

Onde  $n$  é o tamanho da série. Se  $N$  for ímpar, a declividade de Sen será:

$$Q_{mediana} = Q_{(N+1)/2} \quad (7)$$

Se  $N$  for par, a declividade de Sen será:

$$Q_{mediana} = \frac{Q_{(N)/2} + Q_{(N+2)/2}}{2} \quad (8)$$

O valor de  $Q_{mediana}$  é então testado através do teste bicaudal e a declividade estimada é obtida através de um teste não paramétrico (KAHYA & KALAYCI, 2004).

O teste de tendência de Man-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975; KENDALL & GIBBONS, 1990) é um dos mais utilizados na avaliação de tendências de séries históricas naturais que se distanciam da distribuição normal, como a de qualidade da água, vazões, temperatura e precipitação (HAMED, 2009).

No teste de Mann-Kendall, também conhecido por Kendall's tau (KAHYA & KALAYCI, 2004), assume-se que os dados estão aleatoriamente distribuídos, caso das séries históricas naturais.

O teste estatístico de Mann-Kendall é dado pela equação 9:

$$S = \sum_{i=j}^{n-1} \sum_{j=i-1}^n Sgn(X_j - X_i) \quad (9)$$

Onde  $X_i$  e  $X_j$  são valores seqüenciais,  $n$  é o tamanho da série e

$$\begin{aligned} +1 \text{ se } \theta > 0 \\ Sgn(\theta) = 0 \text{ se } \theta = 0 \\ 1 \text{ se } \theta < 0 \end{aligned} \quad (10)$$

O teste de Mann-Kendall possui dois parâmetros importantes para a análise de tendência: o nível de significância  $\alpha$  e a declividade  $\beta$ .

A declividade  $\beta$  é determinada por (HIRSCH et al, 1982):

$$\beta = Mediana[(X_j - X_i)/(j - i)] \quad (11)$$

para todo  $i < j$ .

#### Análise da Transformada em Ondeletas

A análise da transformada em ondeletas (*wavelets*) vem se tornando uma ferramenta bastante utilizada para a análise de variações locais de séries temporais, uma vez que os sistemas físicos apresentam características não-estacionárias de várias frequências (BOLZAN, 2004). A decomposição destas séries em espaços de tempo-frequência permite a determinação dos modos dominantes de variabilidade, bem como a variação destes modos no tempo (TORRENSE & COMPO, 1998).

A análise em ondeletas consiste em decompor um sinal a diferentes níveis de resolução, processo conhecido como multiresolução (BOLZAN, 2004).

Ainda segundo Bolzan (2004) a expansão em série de ondeletas e a transformada são dadas por:

$$(f, \psi_{a,b}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(t - b/a) dt \quad (12)$$

Onde:  $\Psi(t)$  é a função base geradora simples;  
 $a$  é a variável de dilatação;  
 $b$  é a variável de translação;  
 $t$  é o tempo.

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas gerada por dilatações e translações, de uma função base geradora (BOLZAN, 2004).

Existem dois tipos básicos de funções ondeletas: ondeletas contínuas e discretas. Dentre as contínuas, a mais comum e a utilizada neste estudo foi a ondeleta de Morlet, dada por (MOURA et al, 2010):

$$\Psi_0(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (13)$$

Onde:  $i$  é o parâmetro de compressão e dilatação da onda;

$\omega_0$  é o parâmetro de frequência;

A função ondeleta de Morlet possui o parâmetro de frequência igual a 6 (MOURA et al, 2010).

Neste estudo foi utilizada uma banda de alta frequência de 1 a 33 anos e uma de baixa frequência (ruído ou resíduo).

$$R_{(i)} = P(i) - P_1(i) \quad (14)$$

Onde:

$P(i)$  é a série de precipitação média anual dos modelos do IPCC-AR4;

$P_1(i)$  é o valor da banda de alta frequência no ano  $i$ ;

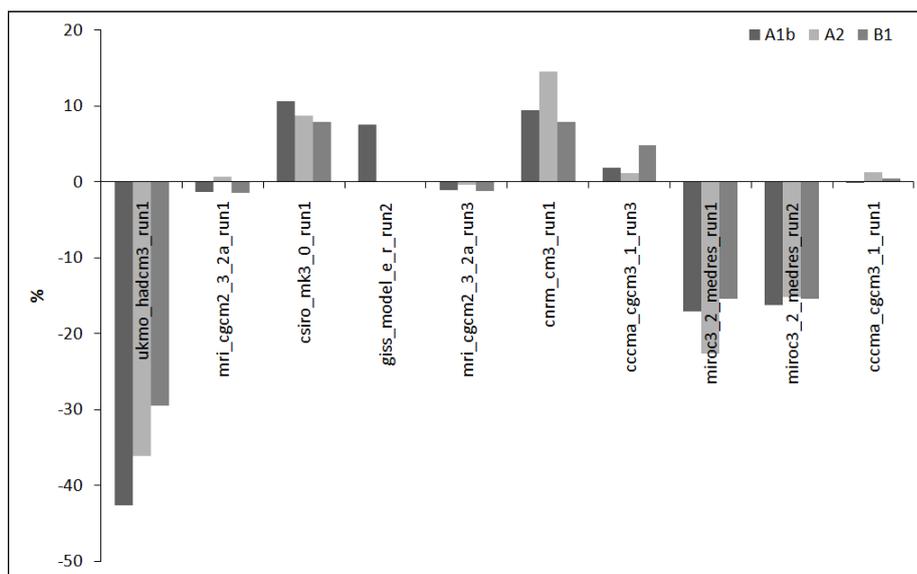
$R(i)$  é o valor da banda de baixa frequência no ano  $i$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Projeções sazonais

Na figura 2 é mostrada a anomalia percentual da precipitação anual média sobre o Nordeste Setentrional do Brasil para os dez primeiros modelos do IPCC-AR4 segundo a avaliação proposta por Silveira et.al (2011) (conforme mostrada na tabela 3) para os cenários A1B, A2 e B1.

Os modelos UKMO\_HADCM3\_run1, MIROC3\_2\_MEDRES\_run1 e MIROC3\_2\_MEDRES\_run2 apresentam projeções que indicam que a média das precipitações no século XXI sofreriam decréscimos superiores a 12% para os três cenários avaliados. Enquanto os modelos CSIRO\_MK3\_0\_run1 e CNRM\_CM3\_run1 indicam acréscimos de aproximadamente 10% para os três cenários, anomalia essa também mostrada pelo modelo GISS\_MODEL\_E\_R\_run2 para o cenário A1B e pelo modelo CCMA\_CGCM3\_1\_run3 para o cenário B1. As demais projeções dos outros modelos não in-



\*O modelo GISS\_MODEL\_E\_R\_run2 não possui rodadas disponíveis para os cenários A2 e B1.

**Figura 2 - Anomalia das precipitações anuais no Nordeste Setentrional do Brasil para o dez primeiros modelos segundo a classificação proposta por Silveira et. al (2011).**

dicam impactos significativos na média anual de precipitações no século XXI

Na figura 3 é mostrada a anomalia sazonal das precipitações no Nordeste Setentrional do Brasil para os dez primeiros modelos, segundo a classificação proposta por Silveira et. al (2011) para os cenários A1B, A2 e B1. A maioria dos modelos mostra impactos na pré-estação, porém divergem quanto ao sinal da anomalia.

O modelo o UKMO\_HADCM3\_run1 aponta para impactos bastante significativos de redução das precipitações na região durante toda a pré-estação (novembro, dezembro e janeiro) e estação (fevereiro, março e abril) para os três cenários. Já as rodadas 1 e 2 do modelo MIROC3\_2\_MEDRES apontam para uma redução da contribuição da pré-estação, principalmente no cenário A2 onde a redução no mês de janeiro implica em diminuição de 6% na média anual.

O modelo CNRM\_CM3\_run1 indica uma intensificação da pré-estação, com aumento na contribuição anual superior a 7% considerando os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro para os três cenários. Enquanto o modelo CSIRO\_MK\_3\_0\_run1 aponta para uma intensificação bastante acentuada da quadra chuvosa, principalmente para o cenário A2 nos meses de março e abril onde o aumento na contribuição anual devido há esses meses é de aproximadamente 11%.

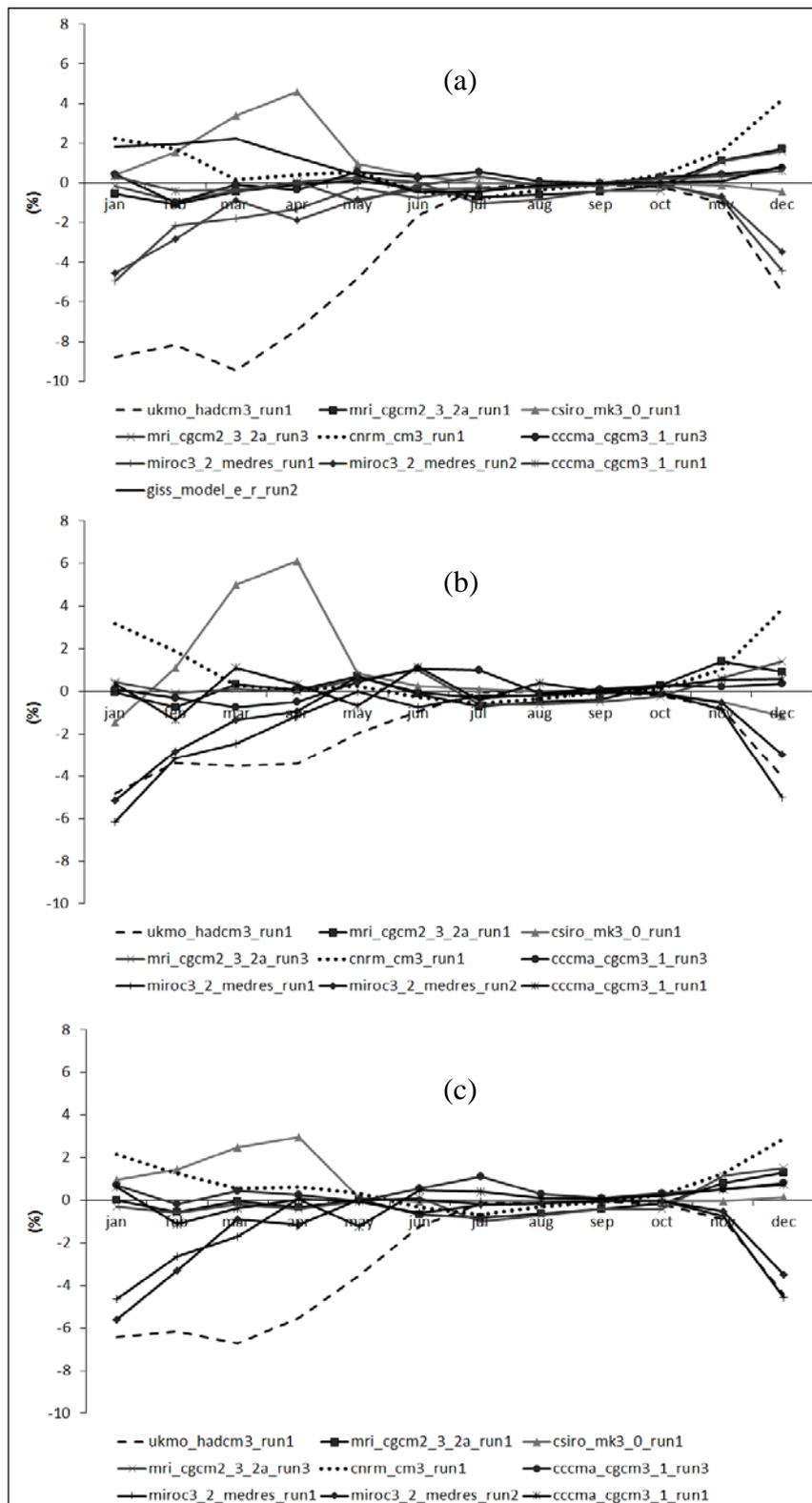
A rodada do modelo GISS\_MODEL\_E\_R\_run2 para o cenário A1B indica uma maior contribuição dos meses de janeiro, fevereiro e março.

### Projeções Interanual

Na figura 4 é mostrada a série observada da precipitação segundo os dados do CRU para região do Nordeste Setentrional brasileiro. A série indica uma alta variabilidade plurianual. Observa-se no período 1911 a 1940 e 1974 a 1999 uma frequência maior de anos chuvosos do que no período 1941 a 1973, ocorrendo o inverso para os eventos secos. Isto pode ser observado na evolução da média móvel de 10 anos. Este processo de variação está associada a variabilidade decadal que é de baixa frequência.

Na tabela 2 são mostradas as declividades da tendência para os cenários A1B, B1 e A2 do IPCC-AR4 para o teste de Man Kendall-Sen, a estimativa para 2050 e 2100 e a classificação proposta por Silveira et al. (2011).

Para o cenário A1B onze modelos indicaram tendência positiva, cinco deles apontaram tendência negativa e 35 não indicaram tendência para as precipitações no século XXI para o Nordeste Setentrional do Brasil. Enquanto para o cenário B1 sete modelos apresentam tendência positiva, dois apresen-



\*O modelo GISS\_MODEL\_E\_R\_run2 não possui rodadas disponíveis para o cenário A2 e B1.

Figura 3 – Anomalia sazonal das precipitações no Nordeste Setentrional do Brasil para os dez primeiros modelos segundo a classificação proposta por Silveira et. al (2011) : (a)A1B; (b)A2 e (c)B1.

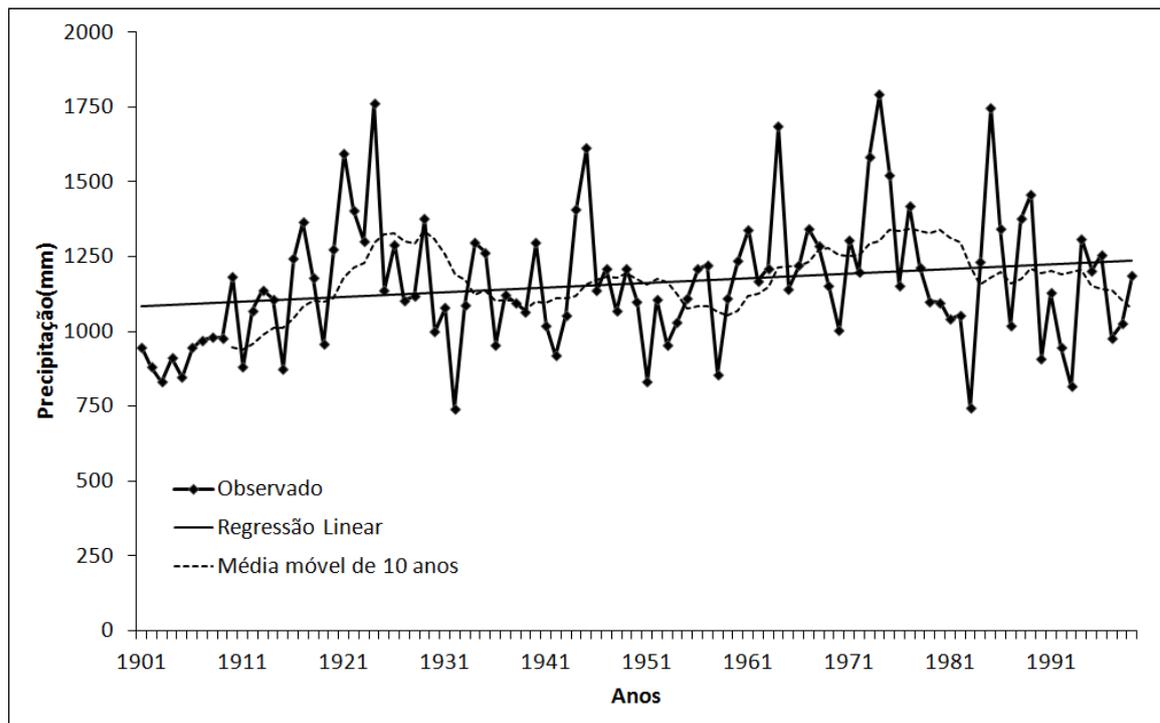


Figura 4 - Série observada de precipitação média do CRU sobre a região do Nordeste Setentrional do Brasil.

tam tendência negativa e 36 não apresentam. Já para o cenário A2 quatro modelos apresentam tendência positiva, cinco indicam tendência negativa e 30 não indicam tendência.

O modelo UKMO\_HADCM3\_RUN1 é o modelo mais pessimista, apontando os maiores extremos negativos para os três cenários do século XXI. Indicando reduções de 6,78mm/ano para o cenário A2 (o que corresponde a uma redução de 38,35% de precipitação no ano de 2050), 4,24 mm/ano para o cenário A1B (o que corresponde a uma redução de 19,29% de precipitação no ano de 2050) e 3,64 mm/ano para o cenário B1 (o que indica redução de 16,40% no regime de chuvas anuais). Enquanto os modelos CNRM\_CM3\_RUN1 e IPSL\_CM4\_RUN1 apontam para aumentos das precipitações para os três cenários. Este último indica um aumento de até 33,05% para o cenário A2 até 2050.

Já o modelo CCCMA\_CGM3\_1\_RUN3 indica sinais diferentes para os três cenários, para o A2 não há tendência significativa, para o A1B há tendência negativa que indica redução de 4,98% em 2050 e para o B1 tendência positiva que implica em aumento de 4,80% em 2050.

Para o cenário A1B, dos dez primeiros modelos três indicam tendência positiva de até 3,28

mm/ano e dois indicam tendência negativa de até 4,24 mm/ano. Estas projeções mostram estimativas que variam desde uma redução de 19,29% na precipitação até um aumento de 9,44% no ano de 2050. Isto demonstra o alto nível de incerteza existente nessas projeções. Entretanto, estas informações definem uma margem dos possíveis cenários futuros de precipitação do Nordeste Setentrional do Brasil. Podendo ser usada para adoção de políticas e gestão em nível de agricultura, recursos hídricos e outras áreas correlacionadas.

Enquanto para o cenário B1 entre os 20 primeiros modelos apenas um indica tendência negativa para precipitação, com estimativa de redução de 16,40% no ano de 2050. Isso mostra indícios que há uma maior probabilidade de normalidade ou um sensível aumento das precipitações para este cenário nas próximas décadas do século XXI.

Para o cenário A2 entre os dez primeiros modelos existem dois que indicam tendências negativas para a precipitação no século XXI, com estimativa de redução de até 38,35% no ano de 2050. Apenas um dos modelos aponta para tendência positiva de 9,89%. Isso mostra um nível de incerteza ainda maior do que os cenários A1B e B1, porém indica maior probabilidade de normalidade ou redução das precipitações.

**Tabela 2 – Declividade da tendência ( em mm/ano) para os cenários A1B, B1 e A2 do IPCC-AR4 para o teste de Man Kendall-Sen, estimativa para 2050 e 2100 e a classificação proposta por Silveira et al. (2011).**

Modelos do IPCC-AR4	CLAS	Inclinação (mm/ano)			Variação em 2050 (%)			Variação em 2100 (%)		
		A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2
ukmo_hadcm3_run1	1	-4,24	-3,61	-6,78	-19,29	-16,40	-38,35	-42,81	-36,40	-68,42
mri_cgcm2_3_2a_run1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
csiro_mk3_0_run1	3	2,51	-	-	9,44	-	-	20,95	-	-
giss_model_e_r_run2	4	3,28	*	*	7,88	*	*	17,48	*	*
mri_cgcm2_3_2a_run3	5	-	-	-1,98	-	-	-8,13	-	-	-14,51
cnrm_cm3_run1	6	2,53	2,48	2,71	7,44	7,27	9,89	16,51	16,14	17,64
cccma_cgcm3_1_run3	7	-1,45	1,39	-	-4,98	4,80	-	-11,05	10,65	-
miroc3_2_medres_run1	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
miroc3_2_medres_run2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cccma_cgcm3_1_run1	10	-	1,06	-	-	3,65	-	-	8,10	-
giss_model_e_h_run3	11	1,17	*	*	2,67	*	*	5,93	*	*
bccr_bcm2_0_run1	12	-	-	1,72	-	-	7,81	-	-	13,94
mpi_echam5_run4	13	-	*	*	-	*	*	-	*	*
giss_model_e_r_run1	14	*	2,79	3,38	*	6,55	9,88	*	14,54	17,64
giss_aom_run1	15	1,53	-	*	2,81	-	*	6,25	-	*
ncar_ccsm3_0_run5	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
giss_model_e_h_run2	17	-	*	*	-	*	*	-	*	*
giss_model_e_r_run4	18	5,23	*	*	12,10	*	*	26,85	*	*
miroc3_2_medres_run3	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
giss_model_e_h_run1	20	-	*	*	-	*	*	-	*	*
mri_cgcm2_3_2a_run2	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cccma_cgcm3_1_t63_run1	22	-	-	*	-	-	*	-	-	*
ncar_pcm1_run4	23	-	*	-	-	*	-	-	*	-
ingv_echam4_run1	24	-	*	-	-	*	-	-	*	-
miub_echo_g_run1	25	-	-	-1,65	-	-	-5,38	-	-	-9,60
cccma_cgcm3_1_run2	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
giss_aom_run2	27	-	-	*	-	-	*	-	-	*
gfdl_cm2_1_run1	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gfdl_cm2_0_run1	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ipsl_cm4_run1	30	4,61	4,55	4,71	26,02	25,69	33,05	57,76	57,01	58,96
mri_cgcm2_3_2a_run4	31	-	-3,03	-	-	-10,01	-	-	-22,23	-
ncar_ccsm3_0_run7	32	-	-	*	-	-	*	-	-	*
iap_fgoals1_0_g_run2	33	-	-	*	-	-	*	-	-	*
cccma_cgcm3_1_run5	34	-	-	-1,37	-	-	-5,77	-	-	-10,30
cccma_cgcm3_1_run4	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
iap_fgoals1_0_g_run3	36	-1,25	-	*	-3,79	-	*	-8,41	-	*

Continua

Continuação Tabela 2

ncar_ccsm3_0_run2	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
inmcm3_0_run1	38	1,72	-	-	7,65	-	-	16,97	-	-
ncar_ccsm3_0_run4	39	*	-	-	*	-	-	*	-	-
ncar_ccsm3_0_run3	40	-	0,91	-	-	2,64	-	-	5,86	-
mpi_echam5_run2	41	-	1,88	-	-	7,42	-	-	16,47	-
mpi_echam5_run1	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
miroc3_2_hires_run1	43	3,03	-	*	9,54	-	*	21,16	-	*
miub_echo_g_run3	44	-	-	-1,57	-	-	-5,16	-	-	-9,20
ncar_ccsm3_0_run1	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ukmo_hadgem1_run1	46	4,42	*	-	11,81	*	-	26,22	*	-
ncar_ccsm3_0_run6	47	-	-	*	-	-	*	-	-	*
ncar_pcm1_run2	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
csiro_mk3_5_run1	49	*	-	-	*	-	-	*	-	-
iap_fggoals1_0_g_run1	50	-1,37	-	*	-4,08	-	*	-9,05	-	*
miub_echo_g_run2	51	-1,33	-	-	-3,53	-	-	-7,83	-	-
ncar_pcm1_run1	52	0,52	*	-	5,16	*	-	11,45	*	-
mpi_echam5_run3	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ncar_ccsm3_0_run9	54	*	-	*	*	-	*	*	-	*
ncar_pcm1_run3	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Ausência desta rodada para este cenário.

- Não há tendência significativa.

Para a classificação mostrada neste trabalho foram excluídos aqueles modelos que não possuem rodadas para pelo menos um dos cenários avaliados para o século XXI

Na figura 5 são mostradas as tendências das precipitações de dois dos modelos do IPCC-AR4 (os de maiores tendências positiva e negativa segundo o teste de Man-Kendall-Sen que estão entre os dez primeiros modelos, respectivamente: CNRM\_CM3\_run1 e UKMO\_HADCM3\_run1) para o período de 2010 a 2099 para os cenários A1B, A2 e B1, respectivamente. Nesta figura é mostrada uma idéia de magnitude da incerteza associada às projeções dos modelos do IPCC-AR4, principalmente para o cenário A2 onde as discordâncias entre esses modelos são evidenciadas.

No cenário B1 o modelo UKMO\_HADCM3\_run1 apresenta tendência negativa segundo a regressão linear, porém provavelmente isto está associado aos padrões de variabilidade normais da série, conforme indica a média móvel de 10 anos. Enquanto nos demais cenários esse modelo apresenta tendência negativa e na segunda metade do século XXI apresenta valores de precipitação bem inferior ao século XX, o que sugere que há mudanças no comportamento dessa variável ou/e existem padrões de

variação de baixa frequência que influenciam a mesma.

Para os cenários A1B e B1 o modelo CNRM\_CM3\_run1 indica uma clara alternância entre anos secos e chuvosos associados a padrões de variação normais, porém a partir da segunda metade do século esse modelo mostra anos chuvosos mais intensos e anos secos com maior precipitação. Este modelo apesar de indicar tendência positiva para regressão linear apresenta valores negativos e próximos à normalidade na primeira metade do século, com ligeira concordância com o modelo UKMO\_HADCM3\_run1 em alguns anos desse período.

Na figura 6 são apresentados a banda de 1 a 33 anos e o ruído da transformada de *wavelets* para os modelos CNRM\_CM3\_run1 e UKMO\_HADCM3\_run1. A análise da transformação em ondeletas mostrou para todos os cenários do modelo CNRM\_CM3\_run1 uma mudança de fase para banda de mais baixa frequência na segunda metade do século XXI, a fase mais chuvosa da banda de baixa frequência pode ser responsável pela tendên-

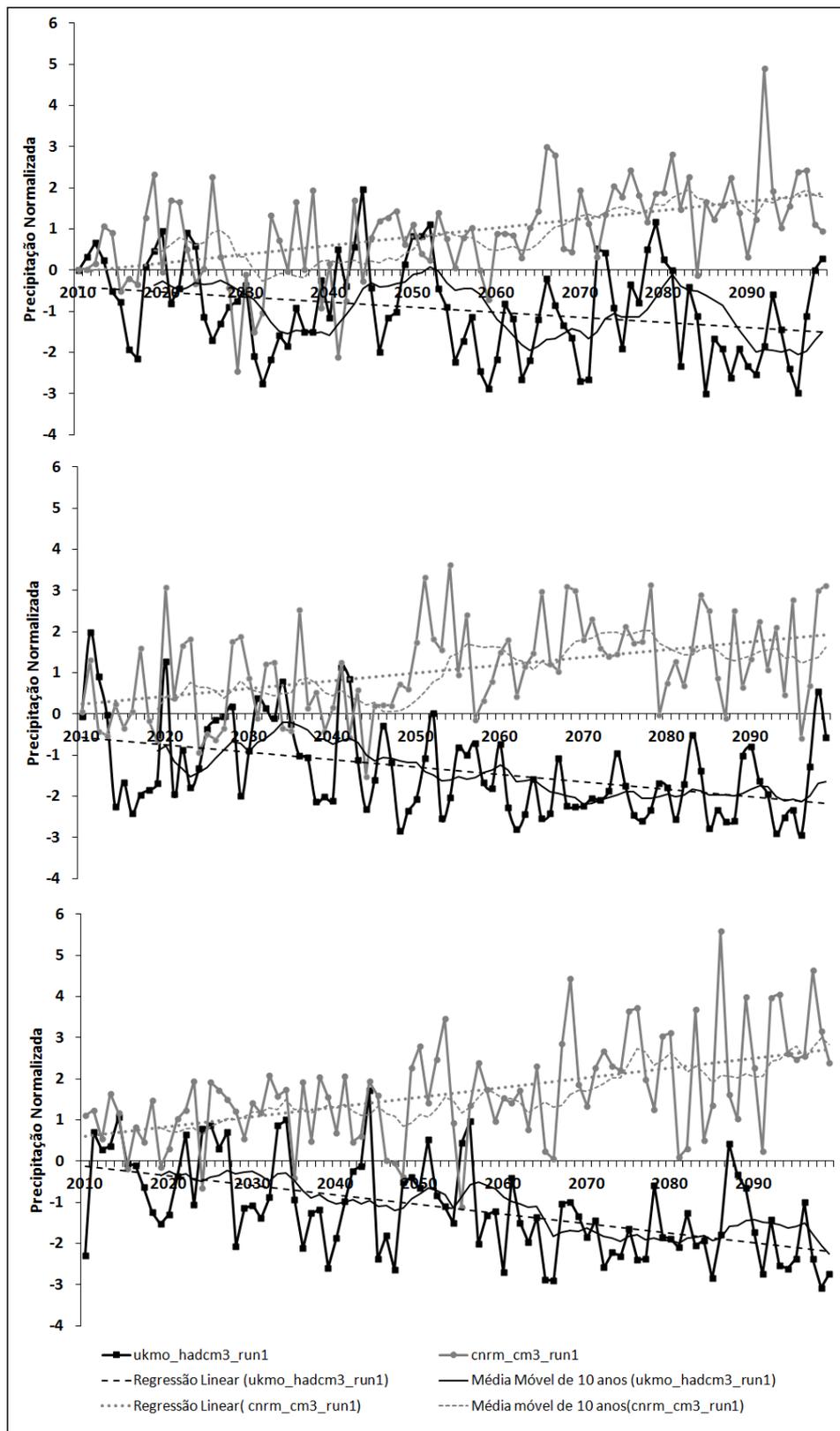
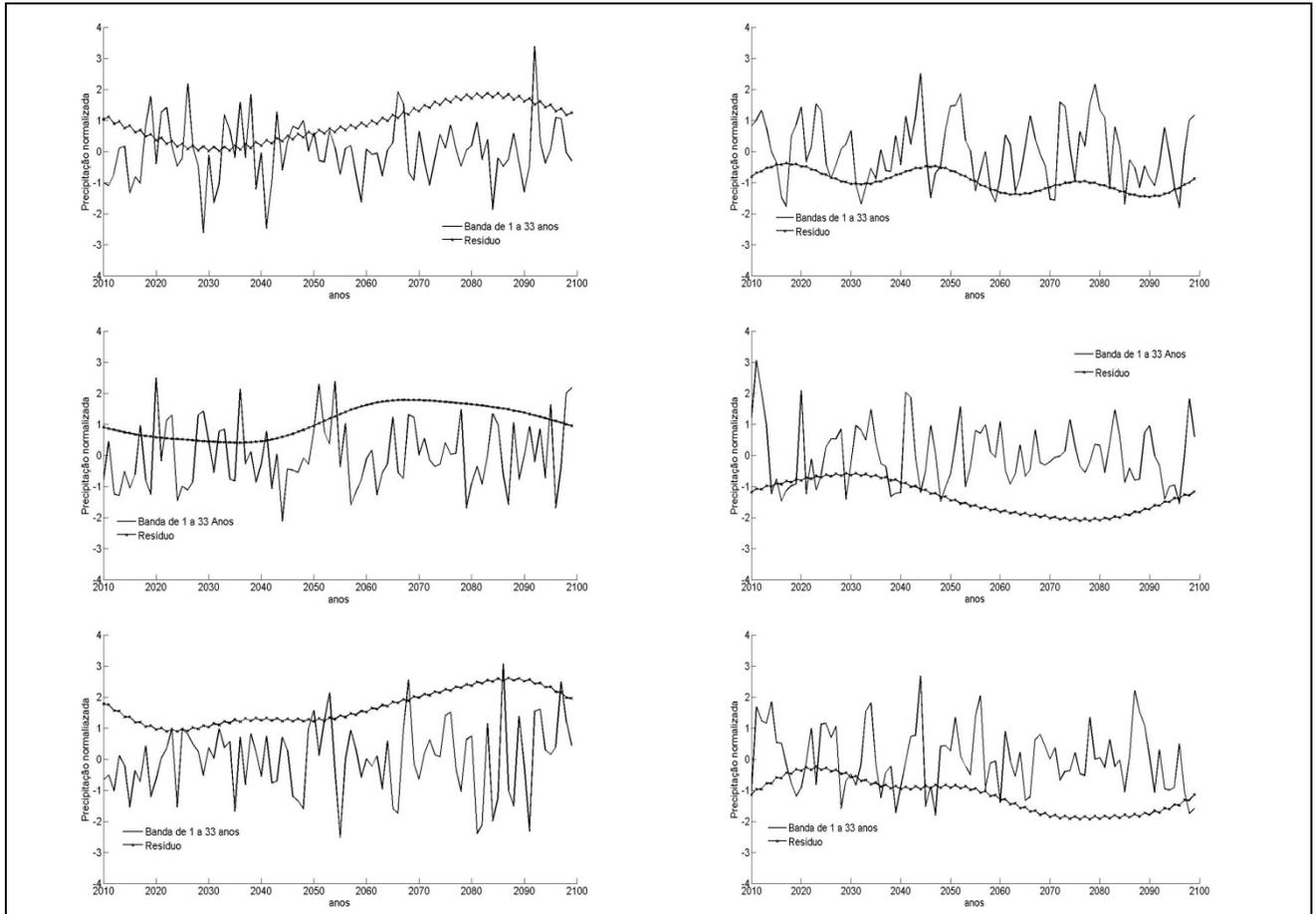


Figura 5 - Séries de Precipitações Normalizadas de 2010 a 2099 e medidas de tendência. Dos seguintes modelos: UKMO\_HADCM3\_RUN1 e CNRM-CM3-RUN1. Para os cenários (a) B1; (b) A1B e (c) A2.



**Figura 6 - Banda de 1 a 33 e baixa frequência da transformada de Wavelets: a esquerda o modelo CNRM\_CM3\_run1 para os cenários B1, A1B e A2 de cima para baixo, respectivamente; e a direita o modelo UKMO\_HADCM3\_RUN1 para o cenário B1, A1B e A2 de cima para baixo, respectivamente.**

cia positiva mostrada para o teste de Man-Kendall-Sen e regressão linear.

A banda de alta frequência deste modelo apresenta as maiores amplitudes de variação para o cenário A2 na segunda metade do século, indicando uma possível maior frequência de ocorrência de eventos extremos de anos bastante secos e chuvosos para este cenário. Já a combinação das bandas de baixa e alta frequência do cenário B1 indica a ocorrência de alguns anos de extremos secos no período de 2030 a 2050, seguido por um período chuvoso devido à inversão de fase da banda de alta frequência na segunda metade do século. O modelo UKMO\_HADCM3\_run1 apresenta mudança de fase para os cenários A1B e A2, sendo a segunda metade de século XXI a fase seca do resíduo. Enquanto para o cenário B1 existem apenas pequenas variações em torno da normalidade para banda de baixa

frequência, não indicando, portanto, tendência significativa.

Na Figura 7 são mostrados as séries de precipitações e espectro global de potência da transformada de wavelets dos modelos CNRM\_CM3\_run1 e UKMO\_HADCM3\_run1 considerando os dados dos cenários 20c3m e A1B. O espectro global de potência do modelo UKMO\_HADCM3\_run1 mostra padrões bastante superiores ao CNRM\_CM3\_run1, indicando que o primeiro modelo projeta mudanças bastante significativas no século XXI. Essas mudanças no regime de chuvas ocorrerão principalmente a partir de 2040, o modelo UKMO\_HADCM3\_run1 mostra uma redução bastante significativa enquanto o modelo CNRM\_CM3\_run1 mostra um sutil aumento de precipitação.

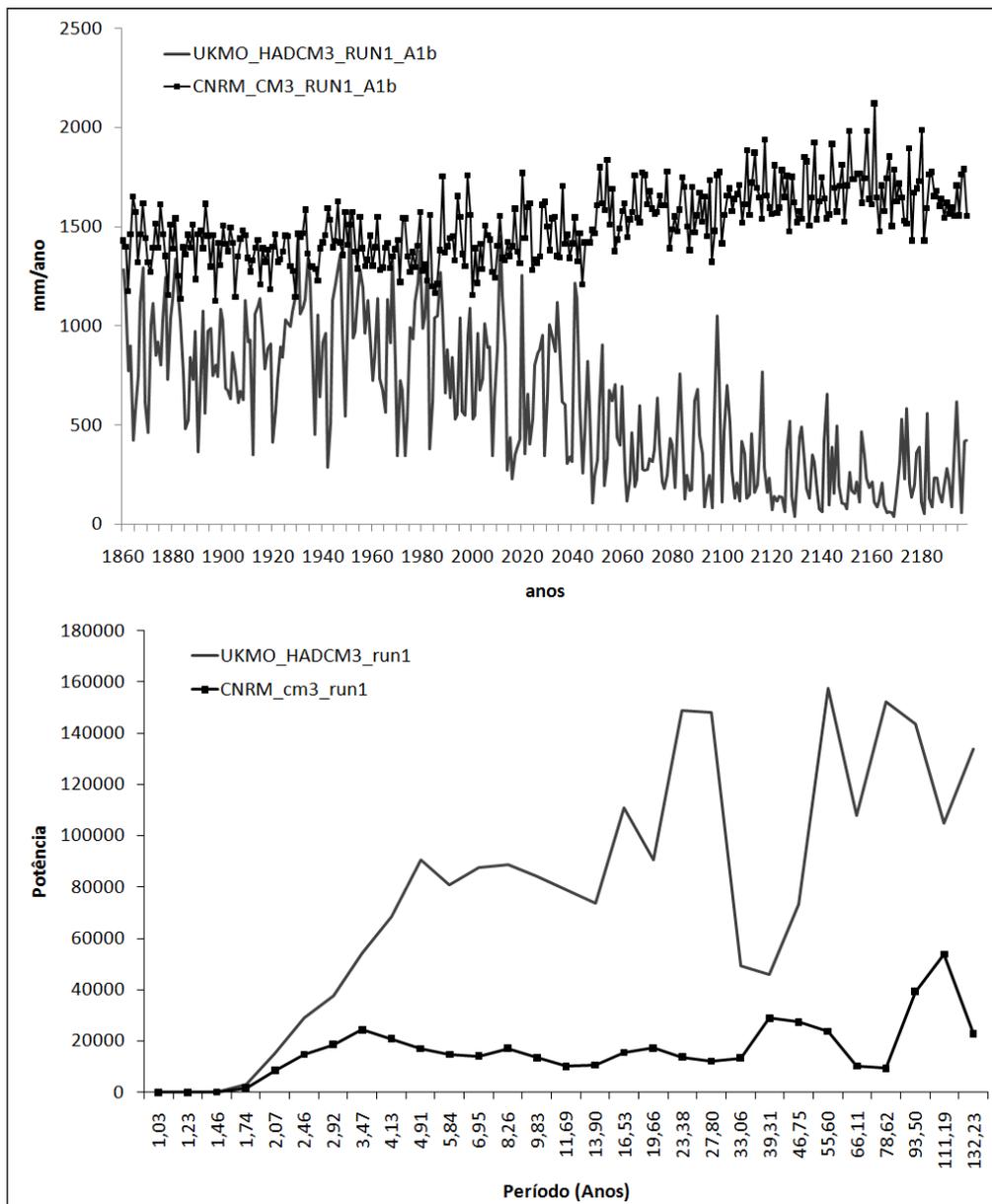


Figura 7 - (a) Séries de precipitações e (b) espectro global de potência da transformada de wavelets dos modelos CNRM\_CM3\_run1 e UKMO\_HADCM3\_run1 considerando os dados do cenário 20c3m e A1

## CONCLUSÕES

Os modelos do IPCC divergem quanto o futuro da precipitação no Nordeste Setentrional Brasileiro, esse espalhamento pode estar associado à própria incerteza proveniente dos fenômenos meteorológicos que envolvem essa variável (a atmosfera é um sistema caótico, LORENZ, 1963 e 1965)

e/ou má representação dos fenômenos micro e meso-escala que precisam ser resolvidos numa grade de melhor resolução.

A maioria dos modelos do IPCC-AR4 não indica tendência quanto às projeções relativas ao século XXI para região do Nordeste Setentrional Brasileiro, não indicando tendência significativa para as precipitações anuais segundo o teste Mann-Kendall-Sen.

Quanto aos cenários do IPCC-AR4 para precipitações anuais são feitas as seguintes proposições:

- Para o cenário A1B, dos dez primeiros modelos, segundo a avaliação proposta por Silveira et al.(2011), três indicam tendência positiva de até 3,28 mm/ano e dois indicam tendência negativa de até 4,24 mm/ano, segundo o teste de Man-Kendall-Sen;
- Enquanto para o cenário B1 entre os 20 primeiros modelos apenas um indica tendência negativa para precipitação, com estimativa de redução de 3,61 mm/ano. A transformada de wavelets e média móvel de 10 de anos do modelo que apresenta tendência negativa para o teste de Man-Kendall-Sen sugerem flutuações em torno da normalidade no regime de precipitações anuais. Portanto há uma maior probabilidade de normalidade ou leve intensificação no regime de precipitações anuais para esse cenário no século XXI;
- Já para o cenário A2 entre os dez primeiros modelos existem dois que indicam tendências negativas para a precipitação no século XXI, com estimativa de redução de até 6,78 mm/ano e apenas um dos modelos aponta para tendência positiva de 9,89 mm/ano. Conforme sugere a figura 6, há uma maior margem de incerteza para este cenário. Além disso, o modelo CNRM\_CM3\_run1 indica uma maior ocorrência de eventos extremos para esse cenário, principalmente na segunda metade do século XXI;
- Quanto os impactos na precipitação anual média as projeções indicam valores semelhantes considerando apenas os cenários distintos do mesmo modelo. Porém, ao tratar o conjunto dos dez primeiros melhores modelos eles indicam uma margem desde 15% a mais que o século XX até 42% a menos;
- O modelo UKMO\_HADCM3\_run1 é o mais pessimista para o século XXI para os três cenários avaliados, possuindo a maior inclinação de redução para o teste de Man-Kendall-Sen;
- Os modelos IPSL\_CM4\_run1 e CNRM\_CM3\_run1 indicam duas das maiores tendências de aumento de precipitação no Nordeste Setentrional Brasileiro para século XXI segundo o teste de Man-Kendal-Sen;

- As tendências propostas pelos modelos UKMO\_HADCM3\_run1 e CNRM\_CM3\_run1 são explicadas em parte pela variação natural de baixíssima frequência da série, mas é principalmente explicada por mudanças no regime de precipitação da série.

Quanto às projeções sazonais de precipitação do IPCC-AR4 são feitas as seguintes proposições:

- A maioria dos modelos mostra maiores impactos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, porém divergem quanto ao sinal da anomalia. Isto implica num possível deslocamento da ZCIT nesses meses para mais ao norte ou mais ao sul;
- Os modelos CNRM\_CM3\_run1 e GISS\_MODEL\_E\_R\_run2 apontam para um possível aumento da contribuição percentual das chuvas em novembro-dezembro-janeiro. Enquanto o modelo CSIRO\_MK3\_0\_run1 indicam uma intensificação dos meses de fevereiro, março e abril;
- Já os modelos MIROC3\_2\_MEDRES\_run1, MIROC3\_2\_MEDRES\_run2 e UKMO\_HADCM3\_run1 indicam reduções significativas na precipitação em praticamente todo o ano.

As divergências dos modelos globais do IPCC-AR4 quanto às projeções interanuais e sazonais demonstram um alto nível de incerteza existente nessas projeções. Entretanto, estas informações definem uma margem dos possíveis cenários futuros de precipitação do Nordeste Setentrional do Brasil. Podendo ser usada para adoção de políticas e gestão em nível de agricultura, recursos hídricos e outras áreas correlacionadas.

Obviamente, projeções com menos incertezas seriam mais interessantes para os tomadores de decisão, no entanto isto não ocorre nas projeções dos modelos do IPCC para esta região. Artificializar a redução destas incertezas reduzindo o número de modelos simulados pode induzir estratégias que levem a grandes arrependimentos. Estratégias robustas precisam considerar as incertezas no nível atual de conhecimento.

## REFERÊNCIAS

ALBURQUERQUE, I.F.; FERREIRA, J.N.; SILVA, M. G.; DIAS, M. F. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo. OFICINA DE TEXTOS. p. 280, 2009.

- ALEXANDRE, G. R., BAPTISTA, M. B., NAGHETTINI, M., Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 15 N° 2, 115-126, Abr/Jun 2010.
- ALVES, B. C. C.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVEIRA, C.S. Análise de tendências e padrões de variação das séries históricas de vazões do operador nacional do sistema (ONS), Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.
- BOLZAN, M. J. A., Análise da transformada em ondas aplicadas em sinal geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Volume 26 N° 1, 37-41, 2004.
- CAMPOS, J.N.B. e NÉRIS, L.F.A.. Mudanças Climáticas e Disponibilidades Hídricas no Semiárido: Resultados Preliminares. In: SERVAIN, J., CAMPOS, J.N.B., MARTINS, E.S.P.P. *Clima do Atlântico Tropical e Impactos Sobre o Nordeste*.
- CHIEW, F., MCMAHON, T., Detection of trend or change in annual flow of Australian rivers. *Int. J. Climatol.*, 13, 643-653.1993.
- COMPO, G.P.; J.S. WHITAKER, P.D. SARDESHMUKH: Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data. *BULL. AMER. MET. SOC.*, 87, 175-190, 2006.
- COSTA DOS SANTOS, C. A., BARBOSA DE BRITO, J. I., RAMANA RAO, T. V., ALENCAR MENEZES, H. E., Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia* v.24, n.1, 39-47, 2009.
- DIAS DE PAIVA, E. M. C, CLARKE, R. T., Time trends in rainfall records in Amazônia. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 75, 579-583, 1995.
- DUURSMA, E., Rainfall, river flow and temperature profile trends; consequences for water resources. Eds. Th. A. de Man, P.E. van Oeveren, S Montijn. Heineken, Amsterdam, NV Company, 2002.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- HAMED, K. H., Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology* 365, 86-94, 2009.
- HAYLOCK, M., PETERSON, T., ALVES, L., AMBRIZZI, T., ANUNCIÇÃO, 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, pp. 1490-1512, 2006.
- HELSEL, D. R., HIRSCH, R. M., Statistical Methods in Water Resources. In: *Hydrologic Analysis and Interpretation*. U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations Book 4, Chapter A3. 2002;
- HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. *Energia e o meio ambiente*. São Paulo: Thomson, 2003.
- HIRSCH, R. M. SLACK, J. R., SMITH, R. A., Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18, 107-121,1982.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: The physical science basis*.Cambridge, 18 p. 2007a.
- KAHYA, E., KALAYCI, E., Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology* 289 (2004), 128-144;
- 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.
- KENDALL, M. G., Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London, 1975;
- KENDALL, M. G., GIBBONS, J. D., Rank Correlation Methods. 5ª ed. Ed. Griffin. London, 1990.
- LETTENMAIER, D., WOOD, E., WALLIS J., Hydroclimatological trends in the continental United States, 1948-88, *J. Climate*. 7, 586-607.1994.
- MANN, H. B., Non-parametric tests against trend.

Econometrica 13, 245-259,1945.

MARENGO, J.A.; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1962-2000. *Int. J. Climatology*, DOI: 10.1002/JOC.1584,2007.

MARENGO, J. A., VALVERDE, M. 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. 8, 2007.

MARENGO, J A., J. Tomasella, C. Uvo. Tendências de Vazões e precipitações na América do Sul tropical: Amazônia, leste do Brasil e noroeste do Peru. *J. Geophys. Res.*, 103 1775-1784, 1998.

MEDEIROS, Y.D.P. Análise dos Impactos das Mudanças Climáticas em Região Semiárida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 127-136, 2003.

MILLY, P. C. D., K. A. DUNNE e A. V. VECCHIA. Global pattern of trends in streamflow e water availability in a changing climate. *Nature*, Vol 438, 17|doi:10.1038/nature 04312. 2005.

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, E. da S., SANTOS, C. A. M dos, SILVA, D. F., Detecção de ciclos e escalas temporais na vazão do Rio Salgado através de análises de ondeletas. II Congresso Cearense de Agroecologia. Juazeiro do Norte, 2010.

NAGHETTINI, M., PINTO, É. J. de A., *Hidrologia Estatística*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, 2007.

NEW, M., HULME, M., JONES, P.D. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *JOURNAL OF CLIMATE* 12, 829-856, 1999.

NEW, M., LISTER, D., HULME, M., MAKIN, I., A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *CLIMATE RESEARCH* 21, 1-25, 2001.

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.

NÓBREGA, M.T., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M., PAZ, A.R. Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 15, p. 585-595, 2011.

PRESS, W., FLANNERY, B., TEUKOLSKY, S., VETTERLING, W., *Numerical Recipes. The arts of Scientific Computing. (Fortran version)*. University Press. New York. 702pp. 1989.

SALATI, T., SCHINDLER, W., VICTORIA, D.C., SALATI, E., SOUZA, J.C.S., NOVA, N.A.V. Economia das Mudanças Climáticas no Brasil. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2008. 80 p.

SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. of the American Statistical Association*, 63, pp. 1379-1389, 1963.

SILVEIRA, C. S., SOUZA FILHO, F. A, LÁZARRO, Y. M. Avaliação de desempenho dos modelos de mudança climático do IPCC-AR4 quanto à sazonalidade e os padrões de variabilidade interanual da precipitação sobre a Nordeste do Brasil, bacia da Prata e Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2011.

SOUZA FILHO, F.A.; 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

TOMASELLA, J. RODRIGUEZ, D. A., CUARTAS, L. A., FERREIRA, M., FERREIRA, J. C., FERREIRA, J.C., MARENGO, J. Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins. CCST/INPE, Cachoeira Paulista, 2009.

TORRENCE, C., COMPO, G. P., *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado, Boulder, Colorado, 1998;

UK Met Office. Climate change, rivers and rainfall. Recent research on climate change science from the Hadley Centre December 2005.

VICTORIA, R.; MARTINELLI, L; MORAES, J.; BALLESTER, M. V. ; KRUSHCHE, A. ; PELLEGRINO, G . et al.. Surface air temperature variations in the Amazon region and its border during this century. Journal of Climate, v.11, n.5, p. 1105-1110, 1998.

XU, Z. X., TAKEUCHI, K., ISHIDAIRA, H., Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. Journal of Hydrology 279 (2003) 144-150;

WHITAKER, J.S., G.P.COMPO, X. WEI, AND T.M. HAMILL: Reanalysis without radiosondes using ensemble data assimilation. MON. WEA. REV., 132, 1190-1200, 2004.

### ***Analysis Of Precipitation Projections Of The IPCC-AR4 In Scenarios A1B, A2 And B1 For The 21<sup>st</sup> Century In Northern Northeast Brazil***

#### **ABSTRACT**

*The precipitation projections of global models in the Fourth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR4) are analyzed in Northern Northeast Brazil for the period from 2010 to 2099 in scenarios A1B, A2 and B1. For seasonal analysis we considered the average annual precipitation anomaly and the anomaly in average climatology scenarios over the 21<sup>st</sup> century compared to the 20<sup>th</sup> century. For analysis of interannual variations, we used an assessment of trends utilizing classical methods (moving average of 10 years, linear regression and Mann-Kendall-Sen) and wavelet analysis. The models show major pre-season impacts with a high scenario spread. This indicates a possible anticipation or postponement of ITCZ influence in the region. Most models indicate no significant trend for the interannual variations. The UKMO\_HADCM3\_run1 model has the most pessimistic projections for the 21<sup>st</sup> century for three scenarios. The CNRM\_CM3\_run1 model indicates one of the biggest trends for increase in annual rainfall for the three scenarios. The trend shown by these models is partly explained by natural variation of low frequency of the series, but mainly an obvious change in rainfall in the series.*

**Key-words:** precipitation; IPCC-AR4; seasonal analysis