

## **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MODELOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA DO CMIP5 QUANTO À REPRESENTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS BACIAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO NO SÉCULO XXI E ANÁLISE DAS PROJEÇÕES PARA O CENÁRIO RCP8.5**

Cleiton da Silva Silveira<sup>1\*</sup>, Francisco de Assis de Souza Filho<sup>1</sup>, Samuellson Lopes Cabral<sup>1</sup>, Wictor Edney Dajtenko Lemos<sup>1</sup> & Victor Costa Porto

**RESUMO** --- Os modelos globais do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) foram avaliados para as bacias do setor elétrico brasileiro quanto à representação da precipitação para o período de 1901 a 2005. Além disso, foram analisadas as projeções de precipitação de sete modelos para o cenário RCP8.5 para o século XXI. A avaliação foi realizada utilizando-se os dados do *Climatic Research Unit* (CRU). Os modelos foram avaliados através de índices que indicaram como os padrões de variação sazonal e interanual seriam representados. A maioria dos membros do conjunto representou adequadamente a variabilidade sazonal, porém divergiram quanto aos padrões de variação interanual. Os modelos mostraram dificuldade na representação sazonal da precipitação sobre a região sul do Brasil. Os modelos CNRM\_CM5 e HadGEM2-ES indicaram boa representação sazonal e interanual na maioria das bacias. Já as rodadas dos modelos globais CanESM2, GFDL-ESM2M e IPSL\_CM5\_LR apresentaram avaliação inferior aos demais. Os modelos convergiram quanto ao impacto nos setores sudeste/centro-oeste e sul no período de 2010 a 2039, mostrando que possivelmente as precipitações devem reduzir em até 15% em Furnas e em até 12% em Itaipu. Porém, divergiram nos setores norte e nordeste, indicando bastante incerteza nestas regiões.

**Palavras-Chave:** CMIP5. Setor elétrico do Brasil. Mudanças climáticas.

**ABSTRACT** --- The Global models of the *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) was evaluated for the Brazilian electric sector basins about the rainfall representation for the period 1901-2005. Moreover, we analyze the precipitation projection for seven models for RCP8.5 scenario in the XXI century. The evaluation was performed using data from the *Climatic Research Unit* (CRU). The models was evaluated using indices that indicate how the patterns of seasonal and interannual variations are represented. Most members of the set represent seasonal variability appropriately, but differ on the patterns of interannual variation. The models showed difficulty in the seasonal rainfall representation over southern of Brazil. The CNRM\_CM5 and HadGEM2-ES models indicated good seasonal and interannual representation in the major basins. The CanESM2, GFDL-ESM2M and IPSL\_CM5\_LR global models runs showed assessment below the others. The models converged regarding impact in sectors Southeast / Midwest and South in the period of 2010-2039, showing that the precipitation possibly should reduce up to 15% in Furnas and up to 12% in Itaipu. However, they differ in the northern and northeastern regions, indicating significant uncertainty in these regions.

**Keywords:** CMIP5. Brazilian electrical sector. Climate change.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará: [\\*cleitonsilveira16@yahoo.com.br](mailto:*cleitonsilveira16@yahoo.com.br)

## 1. Introdução

As bacias do setor elétrico brasileiro apresentam clima com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas (Albuquerque *et al.*, 2009), devido a atuação de diversos sistemas. Essa complexidade torna a região vulnerável, e podem levar a significativos impactos sociais e econômicos em diversos setores, como os sofridos no episódio do “Apagão do setor elétrico brasileiro”. Desta forma, torna-se relevante para o desenvolvimento de políticas públicas a identificação das alterações na ocorrência do clima nesta região e os possíveis impactos no regime de vazões.

As mudanças e variabilidade climáticas têm sido alvo de discussões e pesquisas científicas em todo mundo com vistas ao entendimento de sua ocorrência (IPCC, 2007(a)), assim como, a identificação e a avaliação dos possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos (IPCC, 2007(b)) e a elaboração de medidas que minimizem as consequências adversas das mesmas.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) é o principal órgão científico internacional para as avaliações das alterações climáticas, e foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) e pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) em 1988, para fornecer visões científicas claras sobre o estado atual do conhecimento das mudanças climáticas e seus possíveis impactos sócio-econômicos e ambientais (IPCC). Desde 1988, quando foi criado IPCC, foram publicados quatro relatórios sobre os possíveis cenários de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e os impactos nas diversas variáveis climáticas. Espera-se que algumas das questões científicas que surgiram durante a preparação do quarto relatório do IPCC possam ser tratadas no *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), para a publicação do Quinto Relatório (AR5, prevista para publicação no final de 2013).

O objetivo do presente estudo foi desenvolver uma metodologia de avaliação da habilidade dos modelos do CMIP5, para o cenário RCP8.5, de prever o regime de chuvas sazonais e interanuais e aplica-los às bacias do setor elétrico do Brasil. Além disso, foram analisadas as projeções de precipitações de 11 modelos globais do CMIP5 para o período de 2010 a 2039.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. O Sistema Interligado Nacional (SIN)

O amplo sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil – Sistema Interligado Nacional (SIN) implica numa grande diversidade de regiões, que possuem influências climáticas de vários fenômenos meteorológicos. Devido a isso várias bacias possuem comportamentos sazonais distintos, a fim de se aproveitar ao máximo os recursos energéticos existentes no País e a sazonalidade hidrológica própria de cada região, o sistema é dividido em quatro sub-sistemas: Região Sudeste/Centro-Oeste, Região Sul, Região Norte e Região Nordeste. Este são interligados por uma extensa malha de transmissão que possibilita a transferência de excedentes energéticos permitindo a otimização dos estoques armazenados nos reservatórios das usinas hidroelétricas.

Neste trabalho foram analisadas algumas das principais bacias de cada setor que compõe o SIN: *Emborcação, Nova Ponte, Itumbiana, São Simão, Furnas, Água Vermelha, Nova Avanhandava, Porto Primavera, Rosana, Santa Cecília, Três Maria,*

Itaipú, Salto Caxias, Itá, Dona Francisca . Sobradinho e Xingó, Serra da Mesa, Lageado, Tucuruí, Belo Monte, Teles Pires, São Luiz do Tapajós e Santo Antônio.

## 2.2. Dados observacionais

A base de dados observacionais utilizadas para verificar a destreza dos modelos do CMIP5 foi proveniente da *University of East Anglia/Climate Research Unit* (CRU) (New *et al.*, 2001). O conjunto de dados utilizado corresponde à precipitação de 1901 a 2005, com resolução de 0,5 graus para o continente (CRU TS 3.0).

## 2.3. Modelos do CMIP5

Os dados provenientes do CMIP5 são resultados de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa que contribuem para confecção dos relatórios dos IPCC (conforme Tabela 1), forçadas pelas concentrações observadas de gases de efeito estufa durante o século XX. Para cada modelo serão considerados diferentes membros, conforme disponibilizados pelo CMIP5.

Tabela 1 – Modelos do CMIP5 analisados.

| <b>Modelos</b>       | <b>Institution</b>  |
|----------------------|---|
| <b>HadGEM2-ES</b>    | <i>Met Office Hadley Centre</i>   |
| <b>GISS-E2-H</b>     | <i>NASA Goddard Institute for Space Studies</i>   |
| <b>GISS-E2-R</b>     | <i>NASA Goddard Institute for Space Studies</i>   |
| <b>IPSL-CM5A-LR</b>  | <i>Institut Pierre-Simon Laplace</i>  |
| <b>CCCMA/CanESM2</b> | <i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis</i>                                       |
| <b>CNRM-CM5</b>      | <i>Centre National de Recherches Meteorologiques</i>  |
|                      | <i>Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique (CNRM/CERFACS)</i> |
| <b>CSIRO-Mk3-6-0</b> | <i>CSIRO; Austrália</i>   |
| <b>GFDL-ESM2M</b>    | <i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i>                              |
| <b>MRI</b>           | <i>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão</i>                    |
| <b>NorESM1_M</b>     | <i>Norwegian Climate Centre</i>   |
| <b>HadCM3</b>        | <i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i>              |

Fonte: Earth System Grid Federation. Disponível em: <<http://pcmdi3.llnl.gov/esgset/home.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

Como parte da fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários para o AR5, os chamados RCPs (Representative Concentration Pathways) servem como entrada para modelagem climática e química atmosférica nos experimentos numéricos do CMIP5. Os RCPs formam um conjunto de projeções de concentração de gases de efeito estufa e suas vias de emissão para apoiar a investigação sobre o impacto e as possíveis respostas políticas para a mudança climática (RIAHI *et*

*al.*, 2011). O RCP8.5 corresponde a um cenário global de altas nas emissões de gases de efeito estufa em comparação com os cenários de literatura.

Os RCPs recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas, conforme relatado por cada equipe de modelagem elaboradora de cada RCP. Assim, RCP-X implica em um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização ou de pico ou ao final do século XXI corresponde a  $X \text{ W.m}^{-2}$ . Neste trabalho será usado o cenário RCP8.5 para análise das projeções do século XXI, ou seja, um cenário de forçante radiativa de  $8,5 \text{ W.m}^{-2}$ .

## 2.4. Critérios de Avaliação

Em busca de identificar os modelos que melhor representam os padrões de variação do século XX foi adotada a avaliação sazonal proposta por Silveira *et al.* (2012) e uma adaptação da avaliação plurianual proposta por Silveira *et al.* (2013).

Para avaliação sazonal dos modelos foi feita a climatologia mensal média sobre a região de estudo para todos os modelos dos IPCC e a observação (CRU) e em seguida é feita uma comparação com base em alguns índices estatísticos.

As medidas estatísticas utilizadas foram a raiz do erro quadrático médio da contribuição percentual mensal em relação às chuvas anuais e a correlação de Pearson (WILKS, 1995) entre a climatologia modelada e observada. Maiores detalhes sobre esta avaliação podem ser encontrados em Silveira *et al.* (2012).

A avaliação interanual baseia-se na transformada de wavelets (TORRENCE; COMPO, 1998), sobretudo na comparação do espectro global de potência de variação das séries observadas e modeladas.

Para avaliação interanual dos modelos são calculados os espectros globais anuais de potência sobre as regiões de estudo para todos os modelos do CMIP5 e as observações (CRU). Em seguida, é feita uma comparação entre os as regiões do espectro do CRU que possuem significância estatística maior que 95% com a mesma região espectral das rodadas dos modelos do CMIP5. As medidas estatísticas utilizadas são: correlação entre os espectros de potência em sua região com significância maior que 95% e a distância euclidiana das variâncias das rodadas dos modelos também em sua região significativa. Maiores detalhes sobre esta avaliação podem ser encontrados em Silveira *et al.* (2013).

Cada uma das avaliações possui valores entre zero e um, que representam, respectivamente, o pior modelo para todos os índices daquela análise e o melhor. Depois de calculado das avaliações de todos os modelos é sugerido um índice geral,  $AVAL_g$ , conforme equação 1. Este é dado pelo somatório das avaliações, ponderados por um valor  $\gamma_j$ .

$$AVAL_g = \sum_{j=1}^{j=N} \gamma_j \cdot AVAL_j \quad , \text{ dado: } \sum_{j=1}^{j=N} \gamma_j = 1 \quad (1)$$

Maiores detalhes sobre esta avaliação podem ser encontrados em Silveira *et al.* (2013).

## 2.4. Análise das Projeções

Para o cálculo das anomalias sazonais, são consideradas as projeções fornecidas pelos modelos globais do CMIP5 para o cenário RCP8.5 no período de 2010 a 2039.

Em seguida é feita uma comparação relativa à representação dos modelos para o século XX no período de 1950 a 1999. Para o cálculo da anomalia na média anual considerou-se a equação 2:

$$A_{anual} = \frac{P_{XXI}^a - P_{XX}^a}{P_{XX}^a} \times 100 \quad (2)$$

onde  $P_{XXI}^a$  é média da precipitação anual para o cenário do século XXI e  $P_{XX}^a$  é a média da precipitação anual para o cenário do século XX.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Avaliação dos modelos

Na tabela 2 são mostrados os melhores e piores valores obtidos pelos índices estatísticos propostos para avaliação dos modelos do CMIP5 na escala sazonal e interanual para as bacias do setor elétrico brasileiro. Os modelos indicam uma boa representação dos padrões de variação sazonal com correlações mínimas superiores a 0,7 em quase todas as bacias. Nas bacias de Itá e Dona Francisca os modelos apresentam correlações inferiores às demais regiões indicando que não há uma boa representação sazonal para essas bacias, possivelmente associada à escala espacial dos modelos, já que estas são duas das bacias de menor área. Ou ainda, uma má representação sazonal da região no extremo sul do Brasil.

Na escala interanual os modelos indicam grande dispersão em relação ao espectro global de ondas observado, com correlações e distâncias entre as variâncias extremamente distintas.

Tabela 2- Melhores e piores valores obtidos pelos índices estatísticos propostos para avaliação sazonal e interanual dos modelos CMIP5.

| Bacias                  | Avaliação sazonal |      |      |      | Avaliação Interanual |     |      |      |
|-------------------------|-------------------|------|------|------|----------------------|-----|------|------|
|                         | CORREL            |      | RMSE |      | CORREL               |     | DIST |      |
|                         | MAX               | MIN  | MAX  | MIN  | MAX                  | MIN | MAX  | MIN  |
| <b>Emborcação</b>       | 0,98              | 0,77 | 6,53 | 1,42 | 0,96                 | -   | 0,60 | 0,25 |
| <b>Nova Ponte</b>       | 0,99              | 0,81 | 5,33 | 0,99 | 0,95                 | -   | 0,65 | 0,32 |
| <b>Itumbiana</b>        | 0,97              | 0,79 | 6,41 | 1,95 | 0,95                 | -   | 0,58 | 0,23 |
| <b>São Simão</b>        | 0,97              | 0,79 | 6,30 | 1,83 | 0,89                 | -   | 0,54 | 0,00 |
| <b>Furnas</b>           | 0,99              | 0,80 | 4,68 | 0,87 | 0,95                 | -   | 0,61 | 0,00 |
| <b>Água Vermelha</b>    | 0,99              | 0,85 | 4,89 | 0,90 | 0,99                 | -   | 0,65 | 0,35 |
| <b>Nova Avanhandava</b> | 1,00              | 0,87 | 4,89 | 0,90 | 0,96                 | -   | 0,63 | 0,31 |
| <b>Porto Primavera</b>  | 0,99              | 0,81 | 6,21 | 1,85 | 0,94                 | -   | 0,49 | 0,00 |

|                            |      |      |      |      |      |   |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|
| <b>Rosana</b>              | 0,99 | 0,82 | 5,65 | 0,90 | 0,94 | - | 0,67 | 0,49 | 0,19 |
| <b>Itaipú</b>              | 0,91 | 0,57 | 7,45 | 2,07 | 0,94 | - | 0,64 | 0,46 | 0,00 |
| <b>Santa Cecília</b>       | 1,00 | 0,83 | 3,99 | 0,40 | 0,91 | - | 0,44 | 0,64 | 0,15 |
| <b>Salto Caxias</b>        | 0,91 | 0,56 | 6,13 | 0,99 | 0,97 | - | 0,84 | 0,49 | 0,27 |
| <b>Itá</b>                 | 0,69 | 0,12 | 5,39 | 1,56 | 0,96 | - | 0,78 | 0,54 | 0,19 |
| <b>Dona Francisca</b>      | 0,26 | -    | 5,72 | 1,80 | 0,94 | - | 0,87 | 0,67 | 0,22 |
| <b>Três Marias</b>         | 0,99 | 0,78 | 5,28 | 1,27 | 0,83 | - | 0,52 | 0,64 | 0,20 |
| <b>Sobradinho</b>          | 0,94 | 0,63 | 7,29 | 2,61 | 0,84 | - | 0,06 | 0,68 | 0,19 |
| <b>Xingó</b>               | 0,98 | 0,84 | 5,34 | 1,59 | 0,97 | - | 0,60 | 0,61 | 0,19 |
| <b>Serra da Mesa</b>       | 0,97 | 0,74 | 7,51 | 2,34 | 0,92 | - | 0,50 | 0,63 | 0,29 |
| <b>Lageado</b>             | 0,96 | 0,70 | 7,99 | 2,31 | 0,91 | - | 0,56 | 0,57 | 0,26 |
| <b>Tucuruí</b>             | 0,98 | 0,75 | 6,38 | 1,60 | 0,85 | - | 0,59 | 0,64 | 0,25 |
| <b>Belo Monte</b>          | 0,98 | 0,81 | 5,81 | 1,12 | 0,98 | - | 0,50 | 0,66 | 0,29 |
| <b>Teles Pires</b>         | 0,99 | 0,83 | 5,70 | 1,23 | 0,99 | - | 0,59 | 0,65 | 0,29 |
| <b>São Luiz do Tapajós</b> | 0,99 | 0,83 | 5,25 | 1,09 | 1,00 | - | 0,46 | 0,51 | 0,29 |
| <b>Santo Antônio</b>       | 0,99 | 0,86 | 4,40 | 0,96 | 0,92 | - | 0,62 | 0,69 | 0,38 |

Na tabela 3 é mostrado o  $AVAL_g$  dos modelos do CMIP5 para as principais bacias de cada região. Para o setor suldeste/centro-oeste do setor elétrico brasileiro, os membros do modelo global CNRM\_CM5 apresentam os melhores valores de  $AVAL_g$ , seguidos pelas rodadas dos modelos HadCM3 e HadGEM2-ES. Enquanto os modelos globais GFDL-ESM2M e IPSL\_CM5\_LR são claramente inferiores aos demais, com  $AVAL_g$  inferiores a 0,5.

Para as bacias do setor Sul, os modelos possuem dificuldade de representar os padrões de variabilidade das bacias deste setor, com maioria dos modelos indicando  $AVAL_g$  inferiores a 0,5. Os membros dos modelos globais MRI\_CGCM3, CNRM\_CM5, HadCM3 e HadGEM2-ES apresentam os melhores valores de  $AVAL_g$ . Enquanto os modelos globais CSIRO-MK-3-6-0, GFDL-ESM2M e IPSL\_CM5\_LR são claramente inferiores aos demais, com  $AVAL_g$  inferiores a 0,5.

Já para a bacia de Sobradinho as rodadas dos modelos globais CanESM2, GFDL\_ESM2M e IPSL\_CM5A\_LR novamente são inferiores aos demais, com  $AVAL_g$  inferiores a 0,5. As rodadas dos modelos CSIRO-MK-3-6-0, HadCM3 e HadGEM2-ES

apresentam os melhores AVAL<sub>g</sub>. Enquanto no setor Norte, destaca-se o membro HadGEM2-ES\_r1i1p1, que apresenta AVAL<sub>g</sub> superior 0,8 em todas as bacias desta região.

Tabela 3 – Aval<sub>g</sub> dos modelos do CMIP5 para as bacias de: Furnas, Itaipú, Sobradinho e Tucuruí.

| Modelos              | Furnas | Itaipú | Sob. | Tucuruí | Modelos             | Furnas | Itaipú | Sob. | Tucuruí |
|----------------------|--------|--------|------|---------|---------------------|--------|--------|------|---------|
| CanESM2_r3i1p1       | 0,60   | 0,44   | 0,46 | 0,36    | GISS-E2-R_r3i1p2    | 0,58   | 0,43   | 0,50 | 0,63    |
| CanESM2_r4i1p1       | 0,60   | 0,46   | 0,48 | 0,53    | GISS-E2-R_r3i1p3    | 0,65   | 0,47   | 0,43 | 0,60    |
| CanESM2_r5i1p1       | 0,53   | 0,44   | 0,41 | 0,50    | GISS-E2-R_r4i1p1    | 0,59   | 0,48   | 0,47 | 0,57    |
| CNRM-CM5_r1i1p1      | 0,72   | 0,72   | 0,63 | 0,63    | GISS-E2-R_r4i1p2    | 0,69   | 0,57   | 0,48 | 0,44    |
| CNRM-CM5_r2i1p1      | 0,74   | 0,66   | 0,62 | 0,80    | GISS-E2-R_r4i1p3    | 0,59   | 0,55   | 0,55 | 0,77    |
| CNRM-CM5_r3i1p1      | 0,76   | 0,63   | 0,61 | 0,73    | GISS-E2-R_r5i1p1    | 0,63   | 0,61   | 0,64 | 0,66    |
| CNRM-CM5_r4i1p1      | 0,76   | 0,51   | 0,60 | 0,69    | GISS-E2-R_r5i1p2    | 0,70   | 0,57   | 0,48 | 0,59    |
| CNRM-CM5_r5i1p1      | 0,59   | 0,54   | 0,67 | 0,70    | GISS-E2-R_r5i1p3    | 0,61   | 0,51   | 0,62 | 0,65    |
| CNRM-CM5_r6i1p1      | 0,73   | 0,67   | 0,60 | 0,55    | HadCM3_r1i1p1       | 0,61   | 0,68   | 0,73 | 0,77    |
| CNRM-CM5_r7i1p1      | 0,68   | 0,62   | 0,67 | 0,72    | HadCM3_r3i1p1       | 0,54   | 0,60   | 0,69 | 0,80    |
| CNRM-CM5_r8i1p1      | 0,69   | 0,63   | 0,48 | 0,58    | HadCM3_r5i1p1       | 0,70   | 0,70   | 0,73 | 0,75    |
| CNRM-CM5_r9i1p1      | 0,62   | 0,61   | 0,63 | 0,66    | HadCM3_r8i1p1       | 0,56   | 0,74   | 0,63 | 0,76    |
| CSIRO-Mk3-6-0_r2i1p1 | 0,60   | 0,35   | 0,81 | 0,68    | HadCM3_r9i1p1       | 0,52   | 0,78   | 0,75 | 0,61    |
| CSIRO-Mk3-6-0_r4i1p1 | 0,60   | 0,35   | 0,70 | 0,68    | HadGEM2-ES_r1i1p1   | 0,65   | 0,69   | 0,75 | 0,98    |
| CSIRO-Mk3-6-0_r5i1p1 | 0,51   | 0,43   | 0,62 | 0,74    | HadGEM2-ES_r2i1p1   | 0,61   | 0,67   | 0,62 | 0,61    |
| GFDL-ESM2M_r1i1p1    | 0,16   | 0,23   | 0,24 | 0,31    | HadGEM2-ES_r3i1p1   | 0,51   | 0,22   | 0,27 | 0,23    |
| GISS-E2-H_r3i1p1     | 0,52   | 0,43   | 0,46 | 0,59    | IPSL_CM5A_LR_r1i1p1 | 0,50   | 0,28   | 0,24 | 0,23    |
| GISS-E2-H_r4i1p1     | 0,47   | 0,43   | 0,53 | 0,70    | IPSL_CM5A_LR_r2i1p1 | 0,51   | 0,22   | 0,33 | 0,27    |

|                              |      |      |          |      |                                 |      |      |          |      |
|------------------------------|------|------|----------|------|---------------------------------|------|------|----------|------|
| <b>GISS-E2-<br/>H_r5i1p2</b> | 0,62 | 0,36 | 0,5<br>5 | 0,70 | <b>IPSL_CM5A_LR_r3<br/>i1p1</b> | 0,64 | 0,56 | 0,7<br>2 | 0,72 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r1i1p1</b> | 0,54 | 0,40 | 0,4<br>7 | 0,55 | <b>MRI_CGCM3_r1i1<br/>p1</b>    | 0,65 | 0,68 | 0,6<br>5 | 0,62 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r1i1p2</b> | 0,58 | 0,61 | 0,4<br>7 | 0,49 | <b>MRI_CGCM3_r2i1<br/>p1</b>    | 0,69 | 0,73 | 0,5<br>0 | 0,62 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r1i1p3</b> | 0,63 | 0,50 | 0,5<br>2 | 0,61 | <b>MRI_CGCM3_r3i1<br/>p1</b>    | 0,71 | 0,70 | 0,5<br>3 | 0,48 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r2i1p1</b> | 0,60 | 0,57 | 0,5<br>1 | 0,60 | <b>MRI_CGCM3_r4i1<br/>p2</b>    | 0,81 | 0,66 | 0,6<br>2 | 0,52 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r2i1p2</b> | 0,67 | 0,55 | 0,5<br>0 | 0,66 | <b>MRI_CGCM3_r5i1<br/>p2</b>    | 0,79 | 0,66 | 0,7<br>2 | 0,59 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r2i1p3</b> | 0,56 | 0,47 | 0,5<br>7 | 0,68 | <b>NorESM1_M_r1i1<br/>p1</b>    | 0,46 | 0,56 | 0,5<br>0 | 0,51 |
| <b>GISS-E2-<br/>R_r3i1p1</b> | 0,71 | 0,39 | 0,5<br>7 | 0,75 | <b>NorESM1_M_r3i1<br/>p1</b>    | 0,16 | 0,25 | 0,2<br>2 | 0,22 |

### 3.2. Projeções dos modelos

Na figura 1 é mostrado o impacto na média anual de precipitações no século XXI para alguns dos modelos do CMIP5 para o cenário RCP 8.5 em relação ao século XX (1950-1999) para o período de 2010 a 2039 para as bacias do setor elétrico.

Para as bacias dos setores Sul e Sudeste/Centro-oeste os modelos sugerem uma maior possibilidade de redução ou leve aumento nas precipitações, visto que as projeções dos modelos para estas bacias encontram-se entre aproximadamente +5% e -20% de anomalia no período considerado.

No setor Nordeste os modelos indicam bastante incerteza, não havendo convergência a respeito dos resultados dos mesmos. Já no setor Norte os modelos indicam leve aumento ou redução de até 20% na maioria das bacias, exceto o modelo IPSL\_CM5A\_LR (modelo com AVAL total inferior 0,4 na maioria das bacias desta região) que indica aumento superior a 10% na precipitação na maioria das bacias.

As rodadas do modelo CANESM2, GISS-e2-r1i1p1 e o modelo GFDL-ESM2M\_r1p1i1 indicam reduções nas principais bacias de cada setor, principalmente no setor Nordeste. Enquanto isso o modelo IPSL-CM5ALR mostra redução nas precipitações para a maioria das bacias do SIN, seguido por aumento nas precipitações nos setores Norte e Nordeste.

Já o modelo HadGEM2-ES sugere uma possível tendência negativa no setor norte. As rodadas dos modelos CNRM-CM5 e NorESM1-M mostraram flutuações em torno da média anual histórica de precipitações, não sendo possível identificar os impactos destas configurações no SIN.



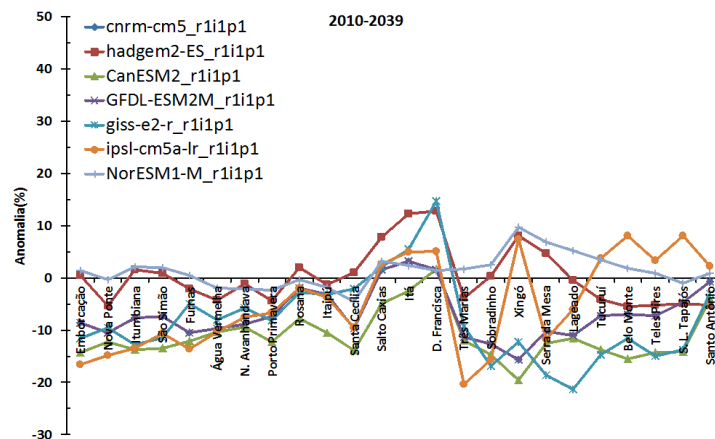


Figura 1- Impacto na média anual de precipitações no século XXI para os modelos do CMIP5 para o cenário RCP 8.5 em relação ao século XX (1950-1999) para o período de 2010 a 2039.

#### 4. Conclusões

A avaliação proposta neste trabalho identificou os melhores e piores modelos na representação dos padrões de variação da precipitação no século XX para as bacias do setor elétrico brasileiro. Essas informações podem ser usadas pelos gestores em busca da escolha das projeções mais prováveis para o século XXI e pelos cientistas para um possível tratamento estatísticos do conjunto das projeções.

Quanto à avaliação dos modelos CMIP5 algumas observações são destacadas:

- A maioria dos modelos globais do IPCC-AR5 apresentou correlações elevadas em relação à climatologia observada no período de 1901 a 2005 para as regiões avaliadas, mostrando que os modelos são capazes de capturar os padrões de variações sazonais;
- Em geral, os modelos mostraram dificuldade de representação do ciclo sazonal da precipitação sobre sul do país, com correlações inferiores às demais bacias do domínio;
- As rodadas do modelo global CanESM2 não representa adequadamente os padrões de variação anual de precipitação na maioria das bacias do setor elétrico.

Na maioria das bacias as rodadas dos modelos globais CNRM\_CM5 e HadGEM\_es apresentaram  $AVAL_g$  superiores a 0,7, o que indica que para um possível downscaling dinâmico com o uso de modelo regionais este seriam boas opções para avaliação do setor elétrico brasileiro.

As rodadas dos modelos globais do CanESM2, GFDL-ESM2M e IPSL\_CM5\_LR são claramente inferiores aos demais, com  $AVAL_g$  inferiores a 0,5 em praticamente todas as bacias. Isto indica que para uma possível análise das projeções usando a técnica *ensemble*, esses membros podem tornar o conjunto ruidoso.

Quanto as projeções, os modelos do IPCC-AR5 convergem quanto ao impacto no setor elétrico na região sudeste/centro-oeste e Sul no período de 2010 a 2039, mostrando que possivelmente as precipitações devem reduzir em até 15% em Furnas e aproximadamente 12% em Itaipu. Esta redução sugere bastante impacto na geração de energia nestes setores, o que exige medidas de planejamento que minimize os possíveis prejuízos, caso essas projeções sejam confirmadas. Quanto ao setores Norte e Nordeste, a divergência entre modelos indica bastante incerteza nestas regiões, porém sugerem uma margem a qual o planejamento de infraestrutura deve ocorrer.

## 5. Referências Bibliográficas

ALBURQUERQUE, I. F. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo. Oficina de Textos p. 280, 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: *The physical science basis*. Cambridge, 18 p. 2007a.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press: Cambridge, 23 p, 2007b.

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.

SILVEIRA, C.S., SOUZA FILHO, F. A, COSTA, A.A, COUTINHO, M. M., LÁZARRO, Y. M., SALES, D.C. **Sazonalidade da Precipitação Sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro nas Simulações do IPCC-AR4**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V3, n.17, p. 125-134, 2012.

SILVEIRA, C. S., SOUZA FILHO, F. A, LÁZARRO, Y. M. **Avaliação de desempenho dos modelos de mudança climático do IPCC-AR4 quanto a sazonalidade e os padrões de variabilidade interanual da precipitação sobre a Nordeste do Brasil, bacia do Prata e Amazônia**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2013 (aceito).

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. *A practical guide to wavelet analysis*, **Bull. Am. Meteor. Soc.**, v.79, n.1, p.61-78, 1998.

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Science*. **San Diego: Academic Press**, 467 p. 1995.