

ANÁLISE DAS PROJEÇÕES DE VAZÕES SOBRE AS PRINCIPAIS BACIAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO USANDO DADOS PROVENIENTES DO IPCC-AR4 PARA OS CENÁRIOS A1B, A2 E B1 PARA O SÉCULO XXI

Cleiton da Silva Silveira¹; Francisco de Assis de Souza Filho²; Victor Costa Porto³; Weslley de Sousa Fernandes⁴; Wictor Edney Dajtenko Lemos¹; Samiria Maria Oliveira da Silva¹; Samuelson Lopes Cabral¹

RESUMO – As projeções de vazões para as bacias do setor elétrico brasileiro foram obtidas usando as precipitações dos modelos globais do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC-AR4) para o período de 2010 a 2099 dos cenários A1B, B1 e A2. As vazões foram geradas pelo modelo hidrológico *Soil Moisture Account Procedure* (SMAP), sendo inicializado por precipitações corrigidas estatisticamente a partir dos dados de chuva mensal do *Climatic Research Unit* (CRU) e por evaporações estimadas pelo método de *Penann-Mothieth*. Foram analisados os impactos percentuais nas vazões médias anuais para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099 em comparação ao período de 1961 a 1999. No setor Sudeste/Centro-oeste os modelos indicam margens que sugerem uma maior possibilidade de aumento nas vazões, já no setor Nordeste há uma maior incerteza entre os modelos e não há convergência a respeito dos resultados dos mesmos. As divergências dos modelos IPCC-AR4 quanto às projeções demonstram grande incerteza. Entretanto, estas informações definem uma margem dos possíveis cenários futuros de vazões e podem ser usada para adoção de políticas de gestão.

ABSTRACT – The projected flows to the basins of the Brazilian electric sector were obtained using the precipitation of global models of the fourth report of the *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC-AR4) for the period 2010 to 2099 of the scenarios A1B, A2 and B1. The flows were generated by the hydrologic model SMAP (*Soil Moisture Account Procedure*), being initialized by statistically corrected precipitation from monthly rainfall data from the *Climatic Research Unit* (CRU) and evaporation estimated by the method of *Penann-Mothieth*. It was analyzed the percentage impact on annual average flows for the periods 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099 compared to the period from 1961 to 1999. In the sector Southeast / Midwest the models indicate margins that suggest a greater possibility of decrease in flow. In the Northeast sector there is greater uncertainty among the models and there is no convergence on the results thereof. The divergences of IPCC-AR4 models about their projections show great uncertainty. However, this information defines a margin of possible future scenarios of flow rates and can be used to adopt management policies.

Palavras-chave: IPCC-AR4. Setor Elétrico do Brasil. Mudanças Climáticas.

(1) Doutorando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: cleitonsilveira@yahoo.com.br; wictoredney@hotmail.com; samiriamaria@hotmail.com; samuellsoncabral@hotmail.com

(2) Professor da Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: assis@ufc.br

(3) Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: vitorporto_leao@hotmail.com

(4) Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos). E-mail: weslley_ufc@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é basicamente constituída por energias consideradas limpas, principalmente provenientes de hidroelétricas. A hegemonia da hidroeletricidade na matriz de energia elétrica brasileira impõe cautelosa análise sobre o regime fluvial e seus padrões de variação temporal tendo em vista o significativo impacto que estas variações podem produzir na oferta de energia e conseqüentemente em toda a economia nacional.

Diante disso, existe uma demanda pelo Estado e pelas empresas privadas de informações climáticas para tomada de decisão ao nível regional/local. Informações de variabilidade e mudanças climáticas de qualidade podem tornar o planejamento energético mais eficaz e minimizar os potenciais impactos sobre a disponibilidade deste recurso (BANCO MUNDIAL, 2010).

O processo de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro é composto, dentre outras atividades, por simulações computacionais de configurações futuras do sistema de energia elétrica que se baseiam em previsões e projeções (COSTA et.al, 2007) . Nestas simulações se busca localizar e mensurar necessidades elétricas e energéticas futuras, com intuito, principalmente, de permitir a segurança do suprimento e a minimização de custos de investimento e operação. O planejamento energético da expansão da oferta de energia elétrica deve ser ajustado de forma a atender às projeções de consumo de energia, considerando níveis de garantia de suprimento adequados e ao menor custo possível.

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, cientistas vinculados aos principais centros de pesquisa em clima reúnem-se para publicar relatórios sobre os possíveis cenários de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e os impactos nas diversas variáveis climáticas. Até o momento, foram publicados quatro relatórios: em 1990 em Sundsvall (Suécia), 1995 em Roma (Itália), 2001 em Acra (Gana) e 2007 em Paris (França).

O objetivo deste trabalho é analisar as projeções dos modelos globais do CMIP3 (publicados pelo quarto relatório do IPCC-AR4) para os cenários A1B, A2 e B1 para o século XXI buscando identificar tendências nas variações interanuais e mudanças na sazonalidade nas bacias que compõe o setor elétrico do Brasil utilizando o modelo chuva-vazão *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP).

2. METODOLOGIA

2.1. Região de Estudo

Na figura 1 são mostradas as principais bacias monitoradas pelo Operador Nacional de Sistemas (ONS), a maioria delas está totalmente inserida em território brasileiro, exceto Santo Antônio. 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 (conforme figura 2), 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.

O setor Nordeste é formado pelas bacias de Sobradinho e Xingó. O setor Norte é formado pelas bacias Serra da Mesa, Lageado, Tucuruí, Belo Monte, Teles Pires, São Luiz do Tapajós e Santo Antônio.

A região Sudeste/Centro-oeste é a de maior demanda do país e importar de outras regiões a maior parte do ano. A região Sudeste é composta pelas bacias: Emborcação, Nova Ponte, Itumbiana, São Simão, Furnas, Água Vermelha, Nova Avanhandava, Porto Primavera, Rosana, Santa Cecília, Três Marias.

Já região Sul é formada pelas bacias de Itaipú, Salto Caxias, Itá e Dona Francisca. Esse setor possui grande variabilidade de armazenamento e a região sudeste/centro-oeste é extremamente depende desta região.

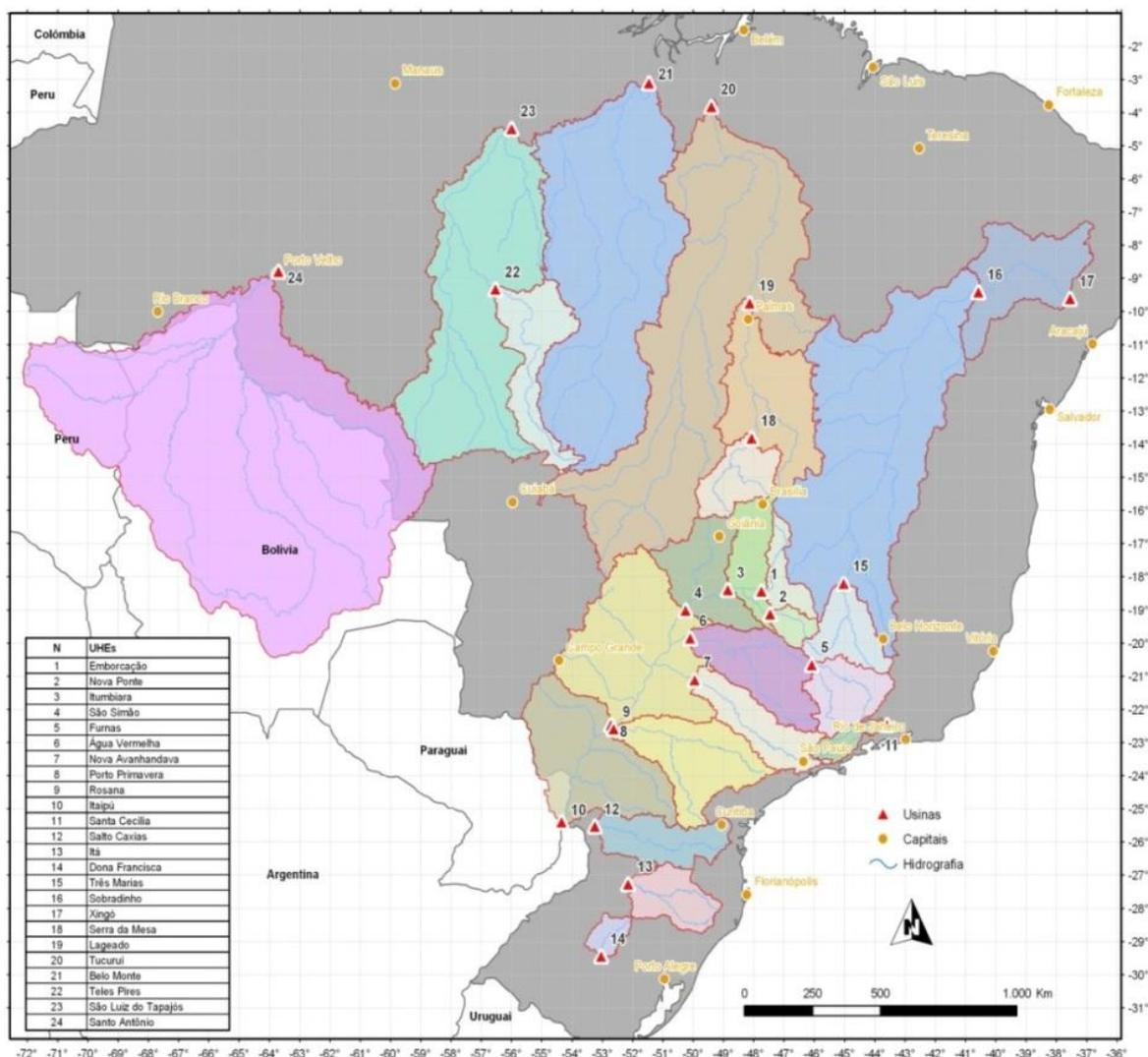


Figura 1 – Bacias do setor elétrico brasileiro usadas no estudo.

2.2. Dados observacionais

A base de dados observacionais utilizadas para fazer a correção estatística gama para precipitação é proveniente da University of East Anglia/Climate Research Unit (CRU) (New et. al, 1999 e New et. al, 2001). O conjunto de dados utilizado corresponde à precipitação mensal de 1901 a 1999, com resolução de 0,5 graus para o continente (CRU TS 3.0).

2.3. Modelos do CMIP3

Os dados provenientes do IPCC são resultados de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa que contribuíram para esse relatório (conforme

Tabela 1), forçadas pelas concentrações observadas de gases de efeito estufa durante o século XX (simulações 20C3M). Para este experimento foram usados apenas aqueles modelos que disponibilizaram temperatura máxima e mínima do ar, visto que o cálculo de evapotranspiração potencial sugerido neste trabalho (seção 2.5) só seria possível usando essa informação.

Tabela 1 – Relação dos Modelos Globais do CMIP3.

Designação do Modelo	Instituição ou Agência; País	Cenários disponíveis	Rodadas disponíveis
BCCR-BCM2	<i>Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega</i>	A1B e B1	<i>run1</i>
CSIRO-MK3	<i>CSIRO; Austrália</i>	A1B e B1	<i>run1</i>
INM-CM3.0	<i>Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia</i>	A1B, B1 e A2	<i>run1</i>
NASA-GISS-AOM	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>	A1B e B1	<i>run1</i>
NIES-MIROC3.2-HI	<i>CCSR/NIES/ FRCGC; Japão</i>	A1B e B1	<i>run1</i>
NIES-MIROC3.2-MED	<i>CCSR/NIES/ FRCGC; Japão</i>	A1B, B1 e A2	<i>run1, run2 e run3</i>

2.3.1. Cenários do século XXI

Para avaliação das projeções para o século XXI para o setor elétrico 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.

2.4. O modelo SMAP

O modelo chuva-vazão *Soil Moisture Accounting Procedure* – SMAP (Lopes *et al.*,1981) é do tipo conceitual, determinístico e de estrutura concentrada. Este modelo faz parte da grande família dos modelos hidrológicos de cálculo de umidade do solo. Sua estrutura é relativamente simples, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos médios da bacia.

O SMAP, em sua versão mensal, utiliza em seu esquema físico dois reservatórios lineares representando o solo (camada superior) e o aquífero, como pode ser visualizado na Figura 3. A cada evento de precipitação (P) é realizado um balanço de massa. Uma parcela de (P) é transferida como escoamento superficial (Es). Este cálculo é feito através da equação do “*Soil Conservation Service*” (SCS) para escoamento superficial. A lâmina restante da precipitação subtraída do escoamento superficial (P-E_s) sofre perda por evaporação a nível evaporação potencial (Ep), logo a lâmina remanescente (P-E_s-Ep) é adicionada a um reservatório que representa a camada superior do solo. Neste, a umidade é atualizada ao longo do tempo através das perdas por evapotranspiração real (Er) que dependem do nível do reservatório (R_{solo}) e da capacidade de saturação do solo (Sat). Outra saída deste reservatório é a recarga no

reservatório subterrâneo (Rec) onde é utilizado o conceito de capacidade de campo (Capc) para determiná-la. Este terceiro reservatório também é linear e o nível água existente (Rsub) é deplecionado a uma taxa constante de recessão do escoamento básico (K), resultando em escoamento básico (Eb). A soma do escoamento superficial e básico fornece a vazão no ponto de controle da bacia.

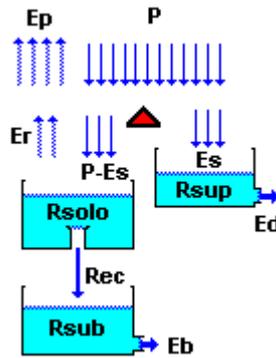


Figura 3 – Esquema físico do modelo chuva-deflúvio SMAP.

O SMAP possui 6 parâmetros: Capacidade de saturação do solo (Sat); Parâmetro que controla o escoamento superficial (PEs); Coeficiente de recarga, parâmetro relacionado com a permeabilidade na zona não saturada do solo (Crec); Taxa de deplecionamento (K) do nível Rsub que gera o escoamento de base (Eb); Taxa de umidade do solo inicial (TUin) que determina o nível inicial do reservatório Rsolo; Valor do escoamento de base inicial (EBin).

Para o uso deste modelo chuva-vazão as precipitações dos modelos do IPCC-AR4 são corrigidas estatisticamente usando a função de distribuição gama e evaporações de entrada são obtidas a partir do método de Penman-Monteith (conforme seção 2.5).

2.5. Modelo de Estimativa de Evapotranspiração Penman-Monteith

Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) é usado o método de Penman-Monteith ajustado de Penman-Monteith (Allen *et. al.*, 1998). Segundo este método a evapotranspiração de referência é dado segundo a equação 1:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Onde: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n é a radiação líquida na superfície das culturas ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$); T é a média diária da temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão da saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão de vapor atual (kPa); $(e_s - e_a)$ é o déficit de saturação de vapor (kPa); Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) é a constante psicrométrica.

A velocidade do vento, a radiação líquida, a pressão de vapor real ou atual e a temperatura máxima e mínima formam um conjunto de dados básicos para estimativa da ET_o Penman-Monteith ($ET_o\text{PM}$). Através deste conjunto de dados é possível estimar diversas variáveis. Conforme equações a seguir.

A constante psicrométrica é dada pela equação 2:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P_{atm} \quad (2)$$

Onde:

Sendo a pressão atmosférica (P_{atm}) dada pela equação 3 m kPa.

$$P_{atm} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (3)$$

onde z é a altitude em relação ao nível do mar (m). Δ é dado pela equação 4,

$$\Delta = \frac{4098 \left(0,6108 \cdot \exp \frac{17,27 \cdot T}{T+237,3} \right)}{(T+237,3)^2} \quad (4)$$

Onde \exp é a base do logaritmo natural e T é a média da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), que pode ser calculada pela equação 5,

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 * \exp \frac{17,27 \cdot T}{T+237,3} \quad (5)$$

Onde $e^{\circ}(T)$ é a pressão de saturação de vapor em determinada temperatura do ar T (kPa) e T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$). A pressão de vapor na saturação, equação 6,

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{max}) + e^\circ(T_{min})}{2} \quad (6)$$

e

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (7)$$

Onde R_{ns} é a radiação de onda curta líquida que chega à superfície terrestre ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$); R_{nl} é a radiação de onda longa líquida que sai da superfície terrestre ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$).

$$R_{ns} = 1 - \alpha(R_s) \quad (8)$$

Onde α é o albedo ou coeficiente de reflexão da cobertura vegetal, o qual assume o valor de 0,23 para a grama de referência hipotética (adimensional);

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{max}K^4 + T_{min}K^4}{2} \right) (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (9)$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ.m}^2 \text{ dia}^{-1}$); $T_{max}K$ é a temperatura máxima absoluta durante período de 24 h (K); $T_{min}K$ é a temperatura mínima absoluta durante período de 24 h (K); R_s é a radiação solar medida ou calculada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{so} é a radiação de céu claro medida ou calculada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

$$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5}z)R_a \quad (10)$$

z é a altitude da estação em relação ao nível do mar (m); R_a é a radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Allen *et. al.* (1998) assume que a temperatura mínima é muito próxima do ponto de orvalho o ar deve está próximo da saturação com vapor d'água e a umidade relativa deve está muito próxima de 100%. Esta temperatura é utilizada para estimativa da pressão de vapor real (e_a), nesse caso:

$$e_a = e^\circ(T_{min}) = 0,611 \exp\left(\frac{17,27T_{min}}{T_{min} + 273,3}\right) \quad (11)$$

Onde e_a é a pressão de vapor real (kPa); e $e_o(T_{mín})$ é a pressão de saturação de vapor na temperatura mínima (kPa) e $T_{mín}$ é a temperatura mínima (°C);

Segundo Allen et al., o grau de cobertura de nuvens de uma localidade é que estabelece a diferença entre a temperatura máxima e mínima. Com pouca cobertura de nuvens as temperaturas são mais elevadas durante o dia em razão da transparência atmosférica à radiação solar que chega, e temperaturas mais baixas a noite em razão de menos radiação de onda longa refletida que é absorvida pela atmosfera, isto proporciona um maior T_{max} e um menor T_{min} . Mas em dias nublados, T_{max} é um pouco menor por conta da radiação absorvida e refletida pelas nuvens. Da mesma forma, T_{min} também será um pouco mais alta, devido à cobertura de nuvens que opera como uma coberta que diminui a radiação de onda longa líquida refletida. Assim, o cálculo da radiação baseia-se pela diferença entre as temperaturas máxima e mínima:

$$R_s = k_{R_s} \sqrt{(T_{max} - T_{min})} R_a \quad (12)$$

Onde R_s é a radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_a é a radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_{max} é a temperatura máxima (°C); T_{min} é a temperatura mínima (°C) e k_{R_s} é o coeficiente de ajuste ($^{\circ}\text{C}^{-0.5}$);

3. RESULTADOS

Na tabela 2 são mostrados os extremos inferiores e superiores de anomalia na média percentual anual mostrada pelos modelos para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099 em relação ao período de 1961 a 1990 dos modelos globais do CMIP3.

Para as bacias do setor Sudeste/Centro-oeste os modelos sugerem uma maior possibilidade de redução nas vazões, visto que as projeções de vazões dos modelos para estas bacias encontram-se entre aproximadamente 0% e 4% de anomalia negativa na maioria das bacias em cada período de 30 anos.

No setor Nordeste os modelos indicam bastante incerteza, não havendo convergência a respeito dos resultados dos mesmos (conforme mostrado por Silveira e Souza Filho, 2012). Na bacia do Xingó, por exemplo, os modelos apontam anomalias que indicam desde um máximo de aumento de aproximadamente 25% nos três períodos, assim como cenários que indicam reduções de vazões de aproximadamente 15%.

Já as bacias do setor Norte apresentam margens de máximos e mínimos levemente distintos entre si. Enquanto a Bacia Tucuruí apresenta projeções que possuem máximo de anomalia positiva de aproximadamente 3,5% e a mínima negativa de 7% nos três períodos, a bacia de Teles Pires apresenta margens entre 11% positivo e 8% negativa.

Quanto às bacias do setor Sul do Brasil, a bacia de Itaipu apresenta extremos inferiores e superiores de anomalia na média percentual anual de vazões, respectivamente, 1% e -3%.

.

Tabela 2 – Anomalias percentuais máximas e mínimas de vazões anuais sinalizadas pelo conjunto dos modelos CMIP3 usados no experimento para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099(em ordem de cima para baixo) em relação ao período de 1961 a 1990 para as bacias da ONS.

Bacias	Cenários						Bacias	Cenários						Bacias	Cenários					
	A1B		A2		B1			A1B		A2		B1			A1B		A2		B1	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min		Max	Min	Max	Min	Max	Min		Max	Min	Max	Min	Max	Min
Emborcação	-0,1	-3,5	-2,0	-2,8	-1,3	-3,3	Rosana	0,8	-2,0	0,8	-1,6	0,8	-2,7	Xingó	0,8	-24,1	28,7	-24,3	24,4	-22,6
	-0,3	-3,2	-3,2	-4,1	-1,1	-3,0		0,2	-2,1	-0,3	-2,4	1,2	-3,3		2,2	-24,0	18,2	-26,1	21,0	-23,1
	-0,3	-5,3	-3,8	-6,2	-1,2	-4,1		0,9	-2,0	-0,4	-2,9	1,4	-2,2		4,6	-24,9	13,1	-23,8	19,5	-23,2
Nova Ponte	0,0	-3,9	-2,0	-2,7	-0,8	-4,3	Itaipu	1,0	-2,4	-0,1	-0,7	0,4	-2,7	Serra da Mesa	0,2	-3,0	-1,3	-2,3	-0,4	-3,2
	0,0	-3,5	-2,7	-4,3	-0,6	-4,1		0,2	-1,8	-1,1	-1,7	0,5	-2,6		0,0	-3,8	-2,6	-3,2	-0,3	-3,3
	-0,3	-5,7	-4,5	-6,6	-0,3	-4,1		0,8	-2,3	-1,4	-2,8	1,4	-2,5		0,2	-4,8	-3,9	-5,8	-0,3	-3,6
Itumbiana	0,4	-4,0	-1,0	-2,1	0,6	-2,5	Santa Cecília	1,2	-3,9	-1,0	-1,4	0,7	-4,5	Lageado	0,4	-3,6	-1,0	-3,1	0,2	-2,6
	-0,3	-5,0	-2,0	-3,0	0,5	-2,6		1,3	-3,6	-1,1	-3,2	2,2	-5,2		0,3	-4,0	-2,1	-3,5	-0,1	-2,8
	-0,5	-7,2	-2,7	-4,8	0,5	-2,8		-0,1	-5,4	-2,3	-4,6	2,2	-4,3		1,0	-5,2	-3,5	-5,8	0,5	-3,7
São Simão	0,5	-3,9	-1,1	-2,6	1,1	-4,7	Salto Caxias	2,4	-1,9	1,4	-0,7	1,9	-1,0	Tucuruí	3,6	-6,7	3,6	-6,3	3,2	-6,1
	-0,5	-4,9	-1,6	-3,3	1,7	-4,9		1,5	-2,0	0,1	-1,5	2,7	-2,7		3,0	-7,1	3,6	-6,6	3,5	-6,4
	-0,8	-6,8	-2,5	-6,7	1,6	-4,0		3,0	-1,8	0,3	-1,5	3,2	-1,5		3,8	-8,5	3,2	-7,7	3,4	-7,2
Furnas	0,7	-3,8	-1,6	-3,3	0,3	-5,4	Itá	3,0	-1,4	2,3	0,2	4,5	0,1	Belo Monte	3,1	-5,7	3,2	-5,6	3,0	-5,3
	1,1	-3,6	-2,6	-4,1	0,0	-5,3		2,8	-2,1	1,0	-0,3	5,6	-1,7		3,5	-5,4	4,0	-5,1	3,8	-4,8
	0,1	-5,9	-4,1	-6,4	0,9	-4,1		4,6	-1,3	1,5	-0,2	6,5	-0,1		4,2	-6,5	3,8	-5,8	3,8	-5,3
Água Vermelha	0,2	-2,8	-1,5	-2,4	-0,9	-3,0	D. Francisca	3,9	-0,3	2,3	0,2	4,4	-5,5	Teles Pires	11,8	-6,3	11,7	-6,0	11,4	-5,8
	0,2	-2,7	-2,2	-3,5	-0,3	-3,2		2,6	-2,5	-0,4	-3,8	3,5	-4,3		11,3	-7,1	11,9	-6,9	11,5	-6,4
	0,0	-4,0	-2,9	-5,1	0,2	-3,4		6,4	-1,1	0,3	-1,9	2,7	-6,8		11,8	-8,5	11,6	-8,0	11,5	-7,0
N. Avanhadava	0,5	-2,5	-1,5	-2,0	0,0	-3,5	Três Marias	0,4	-4,2	-2,0	-4,4	-0,6	-6,7	S. L. Tapajós	2,0	-4,9	2,0	-4,6	1,9	-4,6
	0,2	-2,3	-2,1	-3,3	0,7	-3,4		0,7	-4,0	-3,4	-6,3	-0,6	-6,9		2,2	-5,2	2,3	-4,7	2,1	-4,7
	0,1	-3,2	-3,0	-4,3	1,5	-3,2		-0,1	-6,7	-5,2	-9,3	0,1	-6,3		2,4	-6,0	2,4	-5,3	2,1	-5,0
Porto Primavera	0,1	-3,7	-0,3	-1,5	-0,1	-2,2	Sobradinho	1,1	-11,1	1,5	-10,6	-0,2	-10,3	Santo Antônio	1,8	-1,5	1,3	-1,3	1,8	-1,3
	-0,6	-3,7	-0,6	-2,1	-0,2	-1,7		1,4	-10,5	1,8	-10,0	1,7	-9,3		2,5	-1,3	1,8	-1,0	2,3	-0,9
	-0,5	-4,6	-0,9	-2,5	-0,1	-2,0		1,4	-11,8	0,3	-11,3	1,5	-10,7		2,2	-1,9	2,2	-1,8	2,4	-1,2

*Max: Indica a anomalia na vazão anual do modelo do CMIP3 com maior valor para Bacia, cenário e período em questão.

*Min: Indica a anomalia na vazão anual do modelo do CMIP3 com menor valor para Bacia, cenário e período em questão.

4. CONCLUSÕES

Os modelos do IPCC divergem quanto o futuro das vazões nas principais bacias do setor elétrico brasileiro. Esse espalhamento pode estar associado à própria incerteza proveniente dos fenômenos meteorológicos que envolvem as variáveis provenientes dos modelos globais (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.

No setor Sudeste/Centro-oeste os modelos indicam margens que sugerem uma maior possibilidade de reduções nas vazões, já no setor Nordeste há uma maior incerteza entre os modelos e não há convergência a respeito dos resultados dos mesmos (conforme mostrado por Silveira e Souza Filho, 2012).

Os modelos do IPCC-AR4 convergem quanto ao impacto no setor elétrico na região sudeste/centro-oeste e Sul, mostrando que possivelmente as vazões devem reduzir em até 5% em cada período de 30 anos em Furnas e aproximadamente 4% até o final do século em Itaipu. Esta redução sugere bastante impacto na geração de energia nestes setores até o final do século XXI, 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.

REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, I.F. et al.. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo. Oficina de Textos p. 280, 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper.
- ANEEL. *Banco de Geração de Informações – Capacidade de Geração do Brasil*. <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>> Acesso em 03/04/2011.
- BANCO MUNDIAL, 2010. *Relatório sobre o desenvolvimento mundial de 2010: desenvolvimento e mudança climática/ Banco Mundial*. São Paulo. UNESP p.418, 2010.
- COSTA, F. S.; MACEIRA, M. E. P.; DAMÁZIO, J. M. *Modelos de Previsão Hidrológica Aplicados ao Planejamento da Operação do Sistema Elétrico Brasileiro*. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 12 n.3 Jul/Set 2007, 21-30. 2007.
- KUNDZEWICZ, Z.W.; MATA, L. J., N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov, 2007: *Freshwater resources and their*

management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.

HOU, D. *et al.* *Objective verification of the samex'98 Ensemble forecast*. Monthly Weather Review, v.129, p. 73-91, 2001.

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.

LÁZARO, Y.M.C. Avaliação dos modelos do IPCC – AR4 quanto à sazonalidade e à variabilidade plurianual de precipitação no século XX em três regiões da América do Sul - projeções e tendência para o século XXI. *Dissertação de Mestrado*. 2011. 182f. Fortaleza, Ceará, Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), 2011.

LOPES, J.E.G.; BRAGA Jr., B.P.F.; CONEJO, J.G.L. *Simulação Hidrológica: Aplicações de um Modelo Simplificado*. Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.2, 42-62, Fortaleza, 1981.

LORENZ, E. N A study of the predictability of a 28 –Variable Atmospheric Model. *Tellus*, v.17, n.3, p.321-333, 1965.

LORENTZ, E. N. *Nondeterministic theories of climate change*. – *Quart. Res.* 1975, v.6. pp. 495-506.

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.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, *Monitoramento do Sistema Elétrico – Boletim de Abril de 2011* <http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim_mensalDMSE/Boletim_de_Monitoramento_do_Sistema_Elctrico_-ABRIL-2011.pdf>. Acesso em Maio de 2011.

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 C. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança no clima. In: Brasil, Presidência da Republica. Núcleo de Assuntos Estratégicos. Mudança do clima: Negociações Internacionais sobre a Mudança do Clima. Brasília. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica. **Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica**. V. 1 parte 2, p. 147-216, 2005.

(a)SILVEIRA,C.S. et al. Previsão de tempo por conjuntos para a região Nordeste do Brasil: uma avaliação para precipitação;. In: *XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010*, Belém. Modelagem Atmosférica, 2010b.

(b)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 da Prata e Amazônia*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2011b (em submissão).

SILVEIRA, C. S.; SOUZA FILHO, F. A. Análise das projeções de precipitação do IPCC-AR4 para os cenários A1B, A2 E B1 para o século XXI para Nordeste Setentrional do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2012(em submissão).

QUIGGIN, J. *Uncertainty and Climate Policy*. Economics Analysis and Policy, V.38 , n.2, p.203-210,2008.

UVO, C. R. B. e C. A. NOBRE, 1987: *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro*. II Cong. Interamer. Meteor., 30.nov.-04.dez., Buenos Aires, Argentina, 6.9.1-6.

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.