



**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS**



PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PROJETO BRA/06/032
ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17
Carta de Acordo nº 25647/2014 (RC) – SAE – FCPC

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Recursos
Hídricos

Produto 3 – Modelagem Integrada

Responsável:

Assinatura manuscrita em azul sobre uma linha horizontal preta.

Fortaleza, 05 de Junho de 2015



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcp@fcpc.ufc.br

RELATÓRIO III

CARTA ACORDO Nº 25647/2014

PNUD/SAE/FCPC

“Adaptação às mudanças do Clima: Cenário e Alternativas – Recursos Hídricos”

Fortaleza, 2015.

Sumário



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcp@fcpc.ufc.br

1.	Introdução.....	6
1.2.	Objetivos.....	7
2.	O Sistema Interligado Nacional (SIN).....	8
2.1.	Método de Obtenção de Vazões Naturais	8
2.2.	Postos Bases.....	13
3.	Metodologia.....	16
3.1.	Cenários do CMIP5	16
3.2.	Modelo Eta	17
3.4.	Cálculo da Energia Natural afluyente.....	19
4.	Resultados.....	24
5.	Conclusões.....	30
6.	Referências	31
	APÊNDICE A – Aproveitamentos Hidrelétricos do SIN.....	36

Figuras

Figura 1-(a) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	10
Figura 2-(b) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	11
Figura 3-(c) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	11
Figura 4-(d) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	12
Figura 5- (e) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	12
Figura 6- Distribuição espacial dos Postos Base utilizados pelo ONS.....	14
Figura 7-Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles.....	17
Figura 8- Área de simulação do modelo regional.....	18
Figura 9- ENA em MWmed(a unidade usada é relação entre a energia gerada e o tempo de funcionamento das instalações) dos subsistemas do setor elétrico brasileiro no período de 2002 a 2011.	21
Figura 10- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para todo o SIN.....	25
Figura 11- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor sudeste.	25
Figura 12-Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor sul.	26
Figura 13-Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor Nordeste.....	27
Figura 14-Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor Norte.	27



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Tabelas

Tabela 1- Postos Bases utilizados na análise de previsão de vazões. Os valores entre parênteses representam os indicadores de postos fictícios do ONS.	15
Tabela 2-Lista de modelos globais do CMIP5 utilizados como forçante do modelo regional Eta.....	18
Tabela 3- Produtividade do subsistema Sudeste em MWmed/m ³ /s	22
Tabela 4- Produtividade do subsistema Sudeste em MWmed/m ³ /s.	23
Tabela 5- Produtividade do subsistema Nordeste em MWmed/m ³ /s	23
Tabela 6- Produtividade do subsistema Norte em MWmed/m ³ /s.....	24
Tabela 7- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para as bacias do subsistema Sudeste.	28
Tabela 8- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para as bacias dos subsistemas Sul, Norte e Nordeste.	29
Tabela 9- Características dos aproveitamentos hidrelétricos do SIN	36



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

1. Introdução

As mudanças climáticas podem produzir grandes impactos sobre os recursos hídricos. O aquecimento observado nas últimas décadas podem causar mudanças no ciclo hidrológico, por meio de modificações dos padrões de precipitação e evapotranspiração que podem impactar diretamente a umidade do solo, a reserva subterrânea e a geração do escoamento superficial. Esses aspectos associados a um aumento da demanda por água, projetados para as próximas décadas, principalmente devido ao crescimento populacional e aumento da riqueza; regionalmente, poderão exercer grande pressão nos hidrossistemas brasileiros.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, na sigla em inglês) aponta que a mudança do clima impõe uma grande ameaça ao desenvolvimento sustentável, por afetar de forma direta e indireta grande parte da população, sua saúde, os recursos hídricos, a infraestrutura urbana e rural, as zonas costeiras, as florestas e a biodiversidade, bem como os setores econômicos – como agricultura, pesca, produção florestal, geração de energia, indústrias – além das cadeias destes setores. O IPCC aponta impactos de grande magnitude sobre a América do Sul, em especial sobre recursos hídricos e setores econômicos relacionados, impondo ao governo brasileiro a necessidade de formular e implementar medidas de adaptação, com vistas a gerenciar riscos climáticos e responder de forma tempestiva aos prováveis impactos decorrente da mudança global do clima. Desta forma, torna-se fundamental a elaboração de subsídios ao planejamento nacional de longo prazo que incorpore a mudança do clima.

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações serão realizadas por



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcp@fcpc.ufc.br

meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de grande importância para o planejamento estratégico brasileiro como é o caso dos recursos hídricos e setores usuários, no caso em questão, energia.

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 (ALVES et al., 2013).

Diante disso, existe uma demanda pelo Estado e pelas empresas privadas por informações climáticas para tomada de decisão ao nível regional/local de médio e longo prazo. 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).

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); NOBRE, 2005; SILVEIRA et al., 2013; SILVEIRA et al., 2012; MARENGO e SOARES et al., 2005; MARENGO e VALVERDE, 2007). O Intergovernment 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 socioeconômicos e ambientais (IPCC).

1.2. Objetivos

Identificar como as mudanças no clima afetam a Energia Natural Afluente (ENA) do Sistema Interligado Nacional (SIN), usando dados do modelo atmosférico regional Eta para o período de 2011 a 2099 para o cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

2. O Sistema Interligado Nacional (SIN)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) responde pela produção e transmissão de energia elétrica do Brasil. É um sistema hidrotérmico de grande porte com predominância de usinas hidroelétricas, onde apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2011a).

A previsão de vazões e geração de cenários de afluências definidas em ONS (2009c, 2012) estabelece os processos para a previsão de vazões mensais, semanais e diárias e para a geração de cenários de afluências naturais médias mensais utilizadas na elaboração do Programa Mensal da Operação Energética (PMO).

Em razão das metodologias e critérios atualmente adotados na previsão de vazões, pode-se não utilizar a disponibilidade de vazões mensais para alguns locais de aproveitamentos em operação. Para tanto, adota-se, em geral, a realização de previsão de vazões para um subconjunto de aproveitamentos de cada bacia, denominados de Postos Base. No restante dos locais de aproveitamento, as vazões são previstas através de regressões lineares mensais a partir dos dados previstos nos Postos Bases para complementar as previsões de vazões para todo o SIN (ONS, 2011b). A ONS trabalha, atualmente, com um número total de 88 Postos Base representativo dos diversos regimes hidrográficos regionais encontrados em território brasileiro.

2.1. Método de Obtenção de Vazões Naturais

As vazões naturais – sejam diárias, semanais ou mensais – são calculadas e consistidas a partir dos dados hidráulicos diários medidos nas estações fluviométricas previamente definidas, de acordo com a disponibilidade da rede de monitoramento, em cada bacia hidrográfica incremental. Tal consistência tem como objetivo a eliminação e/ou minimização de valores negativos e a suavização de grandes oscilações



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

consideradas incompatíveis com a natureza da bacia. Assim, as vazões naturais nos locais de aproveitamento do sistema são obtidas a partir das vazões naturais consistidas.

Periodicamente, o Operador Nacional do Sistema (ONS) disponibiliza um relatório apresentando séries de vazões naturais dos aproveitamentos/postos em operação e em expansão com um horizonte de 5 (cinco) anos (cada local de aproveitamento hidrelétrico do Sistema Interligado Nacional (SIN) está associado um posto fictício localizado no eixo da barragem). Em tal documento, os postos em operação e em expansão são subdivididos em naturais e artificiais onde os conceitos e características serão descritos a seguir.

Os Postos em Operação são os aproveitamentos que se encontram em operação ou já foi iniciado o processo de enchimento do seu reservatório. Os Postos em Expansão são definidos como aqueles onde o processo de enchimento de seu reservatório se dará nos próximos 60 meses (ONS, 2011b).

Os Postos Naturais são aproveitamentos que correspondem às vazões naturais obtidas a partir da incorporação das vazões relativas à evaporação líquida dos reservatórios, dos usos consuntivos da água na bacia, e dos efeitos da operação dos aproveitamentos de montante, devidamente propagados temporalmente.

As séries históricas de vazões naturais apresentam, também, as séries de vazões dos denominados Postos Artificiais. Para o cálculo dessas, é considerado o efeito de qualquer regra de operação preestabelecida que possa alterar o regime ou fluxo natural d'água do local, tais como desvios físicos e bombeamentos a montante. A metodologia utilizada para cálculo das séries de vazões dos Postos Artificiais é estabelecida pelo ONS, em conjunto com os agentes de geração, de forma individual e de acordo com a necessidade para operação do SIN.

As vazões dos Postos Artificiais são adotadas apenas no modelo de planejamento de médio prazo no qual a representação dos subsistemas se faz através de reservatórios equivalentes, não sendo possível considerar as operações de bombeamentos e de desvios decorrentes de regras específicas para algumas bacias. Em tais modelos, as séries de vazões naturais utilizadas são as médias mensais,

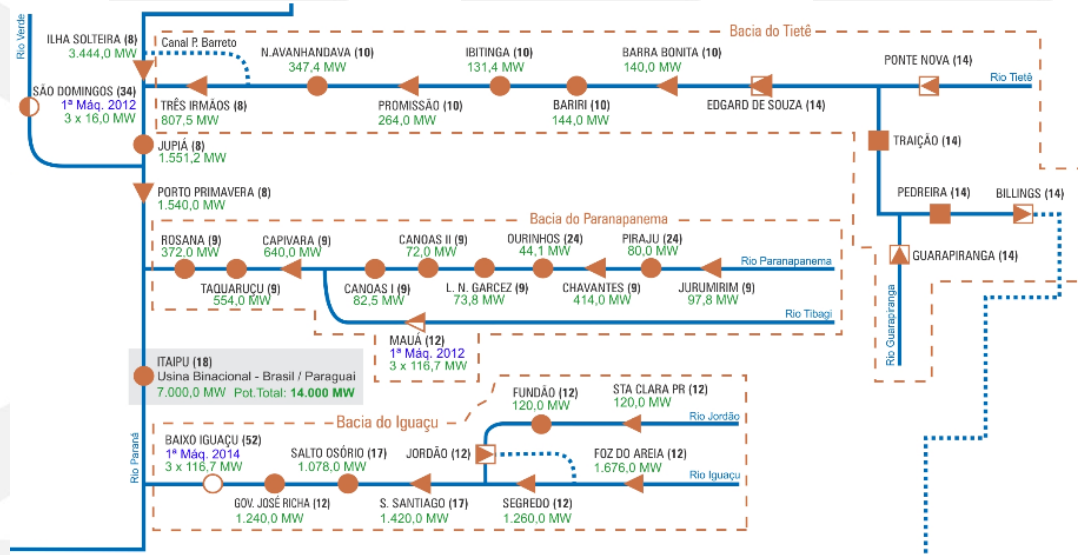


Figura 2-(b) Aproveitamento hidroelétrico do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

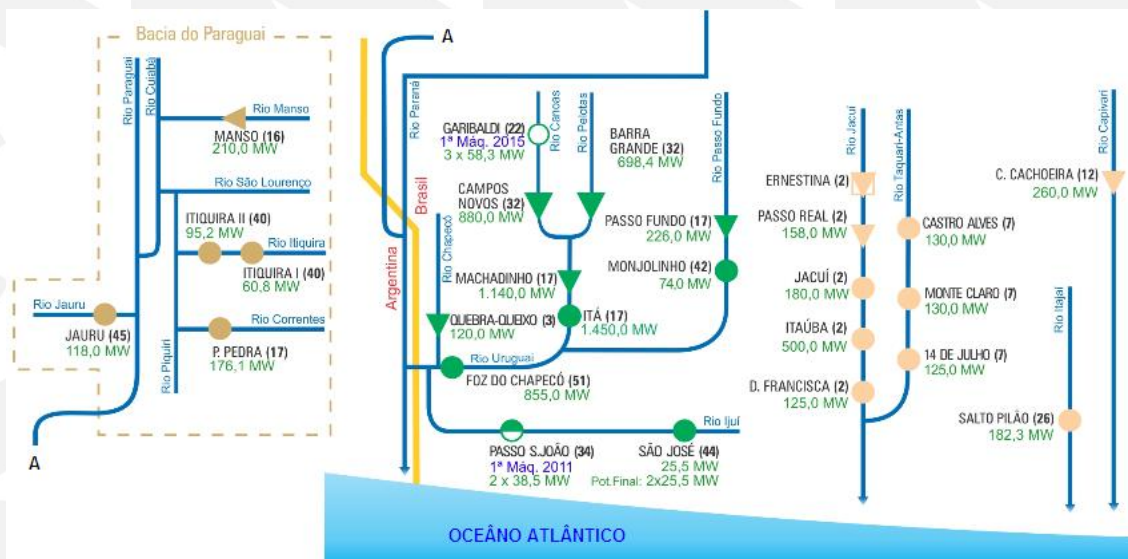


Figura 3-(c) Aproveitamento hidroelétrico do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

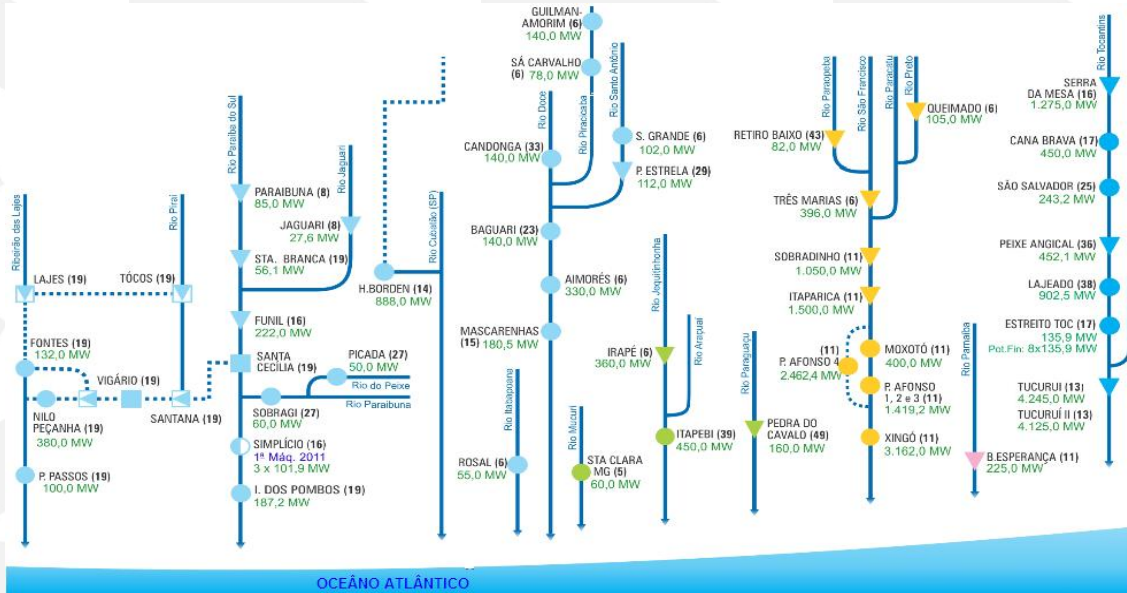


Figura 4-(d) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

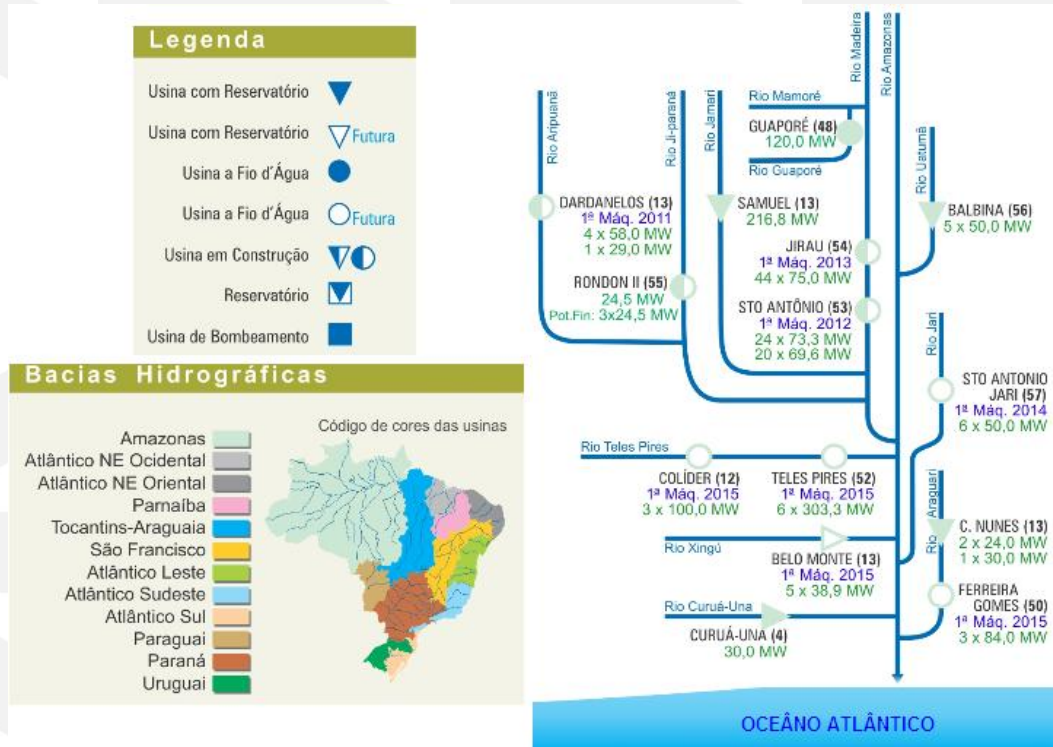


Figura 5- (e) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

2.2. Postos Bases

O ONS trata os aproveitamentos hidroelétricos do SIN como posto fictício nos seguintes casos: reservatórios de acumulação de usinas hidroelétricas, usinas a fio d'água, grupo de usinas agregadas, usinas considerando suas bacias hidrográficas de forma integral ou parcial, usinas com bacias hidrográficas sob influência de reservatórios a montante ou entrada/saída de vazões pontuais. Os postos fictícios podem ser também usinas planejadas ou em construção para verificação do seu comportamento individual e inserida no Sistema.

Desta forma, verifica-se que um mesmo aproveitamento hidroelétrico pode conter mais de um posto fictício, utilizado com objetivo de representar diferentes configurações e/ou critérios de operação e planejamento do Sistema. Todos os postos fictícios possuem uma série de vazões naturalizadas(VNA), até o fim de 2010 o SIN contava com 206 postos fictícios de acordo com ONS (2011b). A caracterização dos 206 postos fictícios que formam o SIN pode ser observada no APÊNDICE A.

A partir das metodologias e/ou critérios utilizados na previsão de vazões, e levando em consideração a estrutura correlacional das VNA's para os postos fictícios, o ONS adotou a realização de previsão de vazões para um subconjunto de aproveitamentos hidroelétricos considerados representativos das diferentes bacias, denominados de Postos Base (PB's). No restante dos postos fictícios, as vazões são previstas através de regressões lineares mensais a partir dos dados previstos nos PB's, complementando assim as previsões de vazões em todo o SIN.

O ONS trabalha atualmente com um número total de 88 PB's representativos dos diversos regimes hidrográficos regionais encontrados em território brasileiro. Neste trabalho foram utilizados como dados amostrais as VNA's mensais dos 88 PB's para análise da correlação espacial do clima presente e todos os postos disponíveis para análise da mudança climática no setor elétrico. Os PB's são relacionados na Tabela 1 e sua distribuição espacial é apresentada na Figura 6, enquanto os demais postos são mostrados no apêndice A.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcp@fcpc.ufc.br

Tabela 1- Postos Bases utilizados na análise de previsão de vazões. Os valores entre parênteses representam os indicadores de postos fictícios do ONS.

Identificador		Nome do Posto Base	Identificador		Nome do Posto Base
PB	ONS		PB	ONS	
1	1	Camargos (1)	45	254	Pedra do Cavalo (254)
2	6	Furnas (6)	46	168	Sobradinho Incremental (168)
3	14	Caconde (14)	47	259	Itiquira I e II (259)
4	17	Marimondo (17)	48	278	Manso (278)
5	18	Água Vermelha (18)	49	281	Ponte de Pedra (281)
6	24	Emborcação (24)	50	295	Jauru (295)
7	25	Nova Ponte (25)	51	296	Guaporé (296)
8	31	Itumbiara (31)	52	190	Boa Esperança (190)
9	32	Cachoeira Dourada (32)	53	191	Cana Brava (191)
10	33	São Simão (33)	54	253	São Salvador (253)
11	34	Ilha Solteira (34)	55	257	Peixe Angical (257)
12	99	Espora (99)	56	270	Serra da Mesa (270)
13	117	Guarapiranga (117)	57	271	Estreito Tocantins (271)
14	119	Billings + Pedras (119)	58	273	Lajeado (273)
15	120	Jaguari (120)	59	275	Tucuruí (275)
16	121	Paraibuna (121)	60	145	Rondon II (145)
17	155	Retiro Baixo (155)	61	277	Curuá-Una (277)
18	156	Três Marias (156)	62	279	Samuel (279)
19	158	Queimado (158)	63	287	Santo Antonio (287)
20	160	Alto Tietê (160)	64	291	Dardanelos (291)
21	164	Edgard de Souza S/Tribut. (164)	65	266	Itaipu (266)
22	205	Corumbá IV (205)	66	246	Porto Primavera (246)
23	206	Miranda (206)	67	47	A.A. Laydner (47) - Jurumirim
24	209	Corumbá I (209)	68	61	Capivara (61)
25	211	Funil-Grande (211)	69	63	Rosana (63)
26	237	Barra Bonita (237)	70	115	Gov. Parigot de Souza (115)
27	240	Promissão (240)	71	71	Santa Clara PR (71)
28	242	Nova Avanhandava (242)	72	72	Fundão (72)
29	243	Três Irmãos (243)	73	73	Desvio Jordão (73) - Natural
30	245	Jupiá (245)	74	74	Foz Do Areia (74)
31	247	Caçu (247)	75	76	Segredo (76)
32	251	Serra do Facão (251)	76	77	Salto Santiago (77)
33	294	Salto (294)	77	78	Salto Osório (78)
34	125	Sta. Cecília (125)	78	92	Itá (92)
35	130	Ilha dos Pombos (130)	79	93	Passo Fundo (93)
36	134	Salto Grande (134)	80	94	Foz do Chapecó (94)
37	144	Mascarenhas (144)	81	98	Castro Alves (98)
38	149	Candongá (149)	82	101	Salto Pilão (101)
39	188	Itapebi (188)	83	102	São José (102)
40	196	Rosal (196)	84	111	Passo Real (111)
41	197	Picada (197)	85	215	Barra Grande (215)
42	201	Tocos (201)	86	216	Campos Novos (216)
43	255	Irapé (255)	87	220	Monjolinho (220)
44	283	Santa Clara MG (283)	88	286	Quebra Queixo (286)

3. Metodologia

Esta seção mostra os cenários do IPCC-AR5 utilizados e, sucintamente, tendo em vista já disponibilizada no produto anterior como as vazões foram obtidas. E através da produtividade em MWmed/m³/s estima-se a ENA, desta forma é possível quantificar a sensibilidade da oferta de energia à variabilidade e as (às) mudanças climáticas.

3.1. Cenários do CMIP5

Como parte da fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários para o AR5, foram criados os chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*), que servem como entrada para modelagem climática e química atmosférica nos experimentos numéricos do CMIP5. 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 W.m⁻². Na Figura 7 é mostrado o comportamento dos principais cenários do IPCC-AR5: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP3-PD. Neste trabalho foram usados os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para análise das projeções do século XXI. As variáveis meteorológicas, na escala mensal, utilizadas são: precipitação, temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima.



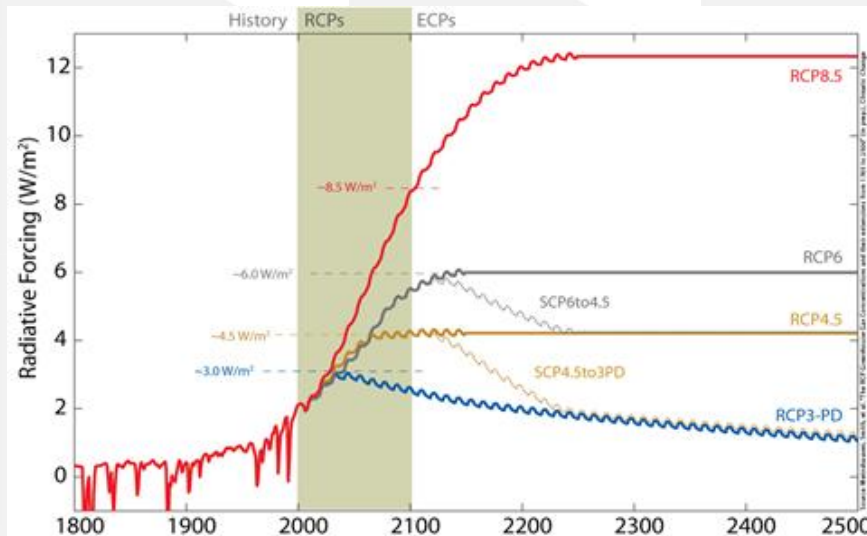


Figura 7-Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles. Fonte: <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>

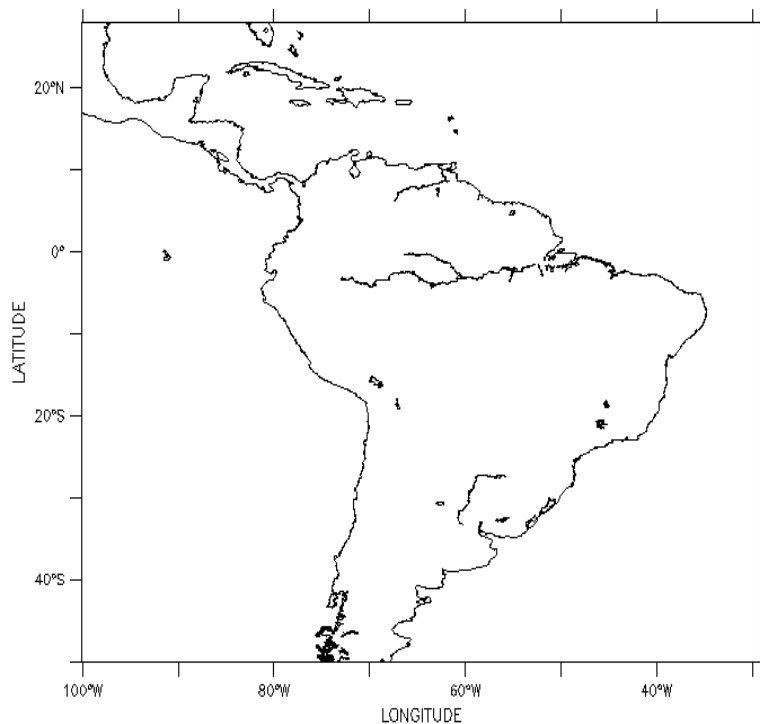
3.2. Modelo Eta

O modelo regional Eta é rodado operacionalmente no CPTEC em dois horários, 00 e 12 UTC para a América do Sul na forma de previsão numérica do tempo. Atualmente o Eta operacional possui resolução horizontal de 40 km e resolução vertical de 38 camadas, mais detalhes do modelo ver em Blak (1994).

Este modelo será utilizado, neste trabalho, como ferramenta de análise do impacto das mudanças climáticas no setor elétrico. Para tanto o modelo regional é forçado por dois modelos globais distintos e para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 com grade de resolução 20km x 20km. As instituições a qual os modelos globais pertencem pode ser visualizada na Tabela 2. Enquanto a área de simulação do modelo regional pode ser vista na Figura 8.

Tabela 2-Lista de modelos globais do CMIP5 utilizados como forçante do modelo regional Eta.

Modelos	Instituição	País	Home page
HadGEM2-ES	<i>Met Office Hadley Centre -Earth System Models</i>	Reino Unido	http://www.geosci-model-dev.net/4/543/2011/gmd-4-543-2011.pdf
MIROC5	<i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute</i>	Japão	http://www.geosci-model-dev-discuss.net/4/1063/2011/gmdd-4-1063-2011.pdf
			http://www.geosci-model-dev.net/4/845/2011/gmd-4-845-2011.pdf



modelo regional.

Figura 8- Área de simulação do

3.3. Obtenção das vazões – Produto 2

A metodologia divide-se, basicamente, em quatro etapas. A primeira consiste em obter as evapotranspirações potenciais a partir do modelo Eta, usando o método de *Hangreaves*. A segunda consiste na obtenção das precipitações dos modelos para



bacia de interesse, para posterior correção estatística para remoção de viés usando a função de distribuição gama. Já na terceira etapa obtém-se as vazões usando modelo hidrológico SMAP em 24 postos, tendo como dados de entrada as evapotranspirações e precipitações corrigidas. A quarta etapa consiste em obter as projeções de vazões para os postos que não possuem o modelo hidrológico calibrado, para tanto são utilizados regressões a partir dos postos que possuem o SMAP. Maiores detalhes podem ser consultados no Produto 2.

3.4. Cálculo da Energia Natural afluyente

A partir das vazões incrementais mensais de cada aproveitamento hidroelétrico estimam-se as vazões naturais afluentes, a partir do diagrama esquemático das Figuras de 1 a 5. A ENA é obtida, portanto, multiplicando-se a vazão natural de cada posto pela produtividade, conforme Tabelas de 3 a 6.

A ENA é calculada a partir das vazões naturais e das produtividades equivalentes ao armazenamento de 65% do volume útil dos reservatórios dos aproveitamentos hidroelétricos. Os valores da ENA podem ser calculados em base diária, semanal, mensal ou anual e, também, por bacia e por subsistema, de acordo com os sistemas de aproveitamentos hidroelétricos existentes nas configurações de bacias hidrográficas e de subsistemas elétricos, com uso das seguintes expressões:

$$ENA_{bacia}(t) = \sum_{i=1}^n [Q_{nat}(i, t) \cdot p(i)] \quad (1)$$

$$ENA_{subsistema}(t) = \sum_{j=1}^m [Q_{nat}(j, t) \cdot p(j)] \quad (2)$$

Onde,

t=intervalo de tempo de cálculo da ENA.

i= aproveitamento pertencente ao sistema de aproveitamentos da bacia considerada;

n= número de aproveitamentos existentes no sistema de aproveitamentos da bacia considerada;

Q_{nat} = Vazão natural do aproveitamento no intervalo de tempo considerado;

p = produtividade média do conjunto turbina-gerador do aproveitamento hidrelétrico, referente à queda obtida pela diferença entre o nível de montante, correspondente a um armazenamento de 65% do volume útil, e o nível médio do canal de fuga.

j = aproveitamento pertencente ao sistema de aproveitamentos do subsistema considerado;

m = número de aproveitamentos existentes no sistema de aproveitamentos

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 9), 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 subsistemas: Região Sudeste/Centro-Oeste, Região Sul, Região Norte e Região Nordeste. Estes subsistemas são interligados por uma extensa malha de transmissão que possibilita a transferência de excedentes energéticos e permite a otimização dos estoques armazenados nos reservatórios das usinas hidroelétricas.

Na Figura 9 é mostrada a ENA para os quatro subsistemas do SIN. Existe uma complementariedade hidrológica existente entre as Regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul. A distribuição das ENAs médias mensais mostra que os respectivos períodos secos e úmidos não são coincidentes nessas regiões. A natureza do Sistema Interligado Nacional faz com que exista um acoplamento espacial e temporal das decisões tomadas na sua operação energética.

Os resultados do modelo regional obtidos para cada cenário do século XXI são comparados ao clima do período de 1961 a 2000 também simulado pelo modelo regional Eta.

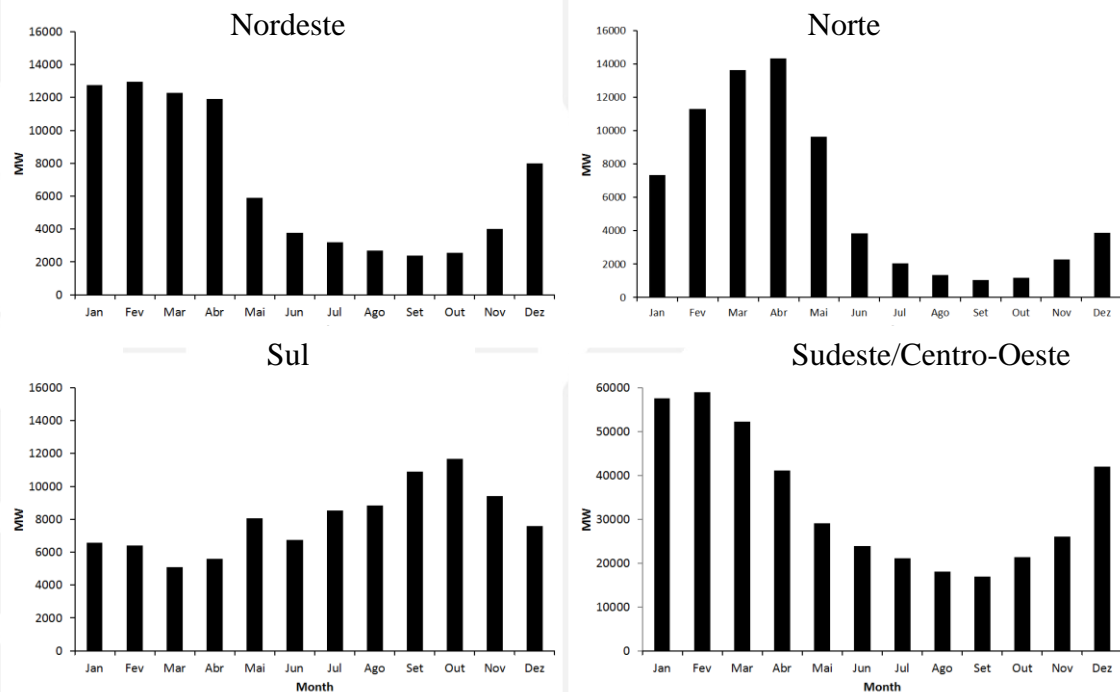


Figura 9- ENA em MWmed(a unidade usada é relação entre a energia gerada e o tempo de funcionamento das instalações) dos subsistemas do setor elétrico brasileiro no período de 2002 a 2011.

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)-
http://www.ons.org.br/historico/energia_natural_afiuente_outaspx#



Tabela 3- Produtividade do subsistema Sudeste/Centro-Oeste em MWmed/m³/s

Bacia	Postos	Prod.	Bacia	Postos	Prod.	
Grande	Camargos	0,1971	Baixo Paraná	P. Primavera	0,1593	
	Itutinga	0,2447		Itaipu art	1,0647	
	Furnas	0,7726	Alto tiete	H. Borden	5,6537	
	M. De Moraes	0,3337		Barra Bonita	0,1723	
	Estreito	0,5627	Tietê	Ibitinga	0,1872	
	Jaguara	0,4043		promissãO	0,2059	
	igarapava	0,1525		N. Avanhanda	0,2601	
	Volta Grande	0,2472		Tres Irmãos	0,3901	
	P Colombia	0,2038	Paraíba do Sul	Jaguari	0,5046	
	Caconde	0,8146		Paraibuna	0,7003	
	Euc da Cunha	0,7461		Santa Branca	0,3524	
	Marimbond	0,4939		Funil	0,53273	
	Água Vermelha	0,471		Nilo Peçanha	2,633	
	Funil- Grande	0,3457		picada	1,1054	
Paranaíba	Corumba III	0,3621	Sobragi	0,6252		
	Emborcação	1,1027	Ilha Pombos	0,2588		
	Nova ponte	1,0025	Itabapoana	Rosal	1,695	
	capim Branco 2	0,4018		Mucuri	Santa Clara- MG	0,4584
	itumbiara	0,6813	Doce	Salto Grande	0,7829	
	cach Dourada	0,2826		Baguari	0,1623	
	São simão	0,6241		Mascarenhas	0,1808	
	Espora	0,3995		Aimorés	0,2471	
	Corumba IV	0,619		Candong	0,4664	
	Miranda	0,6143		Guilman	1,0242	
	Capim Branco I	0,5036	Porto Estrela	0,4242		
	Corumba I	0,6106	Paraguai	Itiquira II	1,2441	
	Slt. Verdinho	0,3657		Itiquira I	0,7642	
	Caçu	0,2408		Manso	0,5145	
B. Coqueiros	0,3247	P. pedra		2,2012		
Serra Facao	0,6429	Jauru	0,9182			
Foz do Rio	0,248	Amazonas (SE)	Samuel	0,2711		
Claro			Rondon ii	0,5368		
Salto	0,4492	dardanelos	0,8689			
Paranapanema	Piraju	0,2296	São Francisco(SE)	Retiro Baixo	0,3261	
	Chavantes	0,6247		Três Marias	0,4301	
	Lucas Garcez	0,1497		Queimado	1,6039	
	canoas 2	0,1289	Tocatins(SE)	Cana Brava	0,399	
	canoas 1	0,1509		São Salvador	0,2035	
	capivara	0,3712		Peixe Angical	0,2414	
	Taquarucu	0,2207		Serra da Mesa	1,0315	
	Rosana	0,172		Lajeado	0,3248	
	Ourinhos	0,0944	Alto Paraná	Jequitinhonha(SE)	Irapé	1,4906
	Ilha Solteira	0,3901			Jupia	0,198

Fonte: ONS(2012)

Tabela 4- Produtividade do subsistema Sul-Oeste em MWmed/m³/s. Fonte: ONS(2012)

<i>Bacia</i>	<i>Postos</i>	<i>Prod.</i>
Iguaçu	STA CLARA PR	0,8133
	Fundão	0,8233
	Foz do Areia	1,1477
	Segredo	1,0242
	Slr Santiago	0,882
	Salto Osorio	0,6307
Jacuí	Salto Caxias	0,593
	Monte Claro	0,3601
	Castro Alves	0,7585
	Passo Real	0,3797
	Jacui	0,8282
	Itauba	0,8259
Uruguai	D. Francisca	0,3432
	14 de Julho	0,3061
	Itá	0,9186
	Passo Fundo	2,2427
	Foz Chapecó	0,4589
	São José	0,1985
	Passo São João	0,256
	Barra grande	1,3896
	Campos Novos	1,6244
	Machadinho	0,9187
Itajaí-Açu	Monjolinho	0,5597
	Quebra-Queixo	1,0522
	Salto Pilão	1,7836

Tabela 5- Produtividade do subsistema Nordeste em MWmed/m³/s. Fonte: ONS(2012)

<i>Bacia</i>	<i>Postos</i>	<i>Prod.</i>
São Francisco(NE)	Sobradinho	0,241
	Itaparica	0,4479
	Complexo	1,0201
	Xingó	1,0846
Jequitinhonha(NE)	Itapebi	0,7177
	B. Esperança	0,3719
Paraguaçu	Pedra do Cavalo	0,9204

Tabela 6- Produtividade do subsistema Norte em MWmed/m³/s. Fonte: ONS(2012)

<i>Bacia</i>		<i>Prod.</i>
Tocantins(N)	Estreito Toc	0,2004
	Tucurui	0,5482
Amazonas(N)	Curua-Uma	0,157

4. Resultados

Os modelos indicam anomalias negativas na ENA anual média do SIN para o período de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099, conforme Figura 10. Essa anomalia negativa é mais intensa para o cenário RCP 8.5, considerando ambos os modelos globais forçantes do modelo regional. Além disso, o modelo Eta forçado pelo HG2ES indica reduções da ENA superiores a 10% em qualquer que seja o cenário em cada período de 30 anos. Essa anomalia na ENA não é distribuída uniformemente em cada subsistema.

Os modelos mostram anomalia negativa na ENA anual dos setores Norte, Nordeste e Sudeste nos três períodos e para os dois cenários. Enquanto para o subsistema Sul o modelo MIROC, para ambos os cenários, mostra aumento nos três períodos, chegando a uma anomalia superior a 60% no período de 2071 a 2099. Conforme apresentado nas Figuras de 11 a 13.

Nas Tabelas 7 e 8 são mostradas as anomalias anuais da ENA para as bacias que compõem cada subsistema. As simulações sugerem redução em praticamente todas as bacias do setor Sudeste e Nordeste nos três períodos analisados (2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099). Porém, no subsistema Sudeste na bacia do Paraguai todas as simulações indicam sensível aumento na ENA.

No setor Sul o modelo regional forçado pelo MIROC aponta anomalia positiva em todas as bacias, enquanto as simulações forçadas pelo HG2ES indicam redução no período de 2011 a 2040 seguido de aumento superior a 10% em cada período de 30 anos.

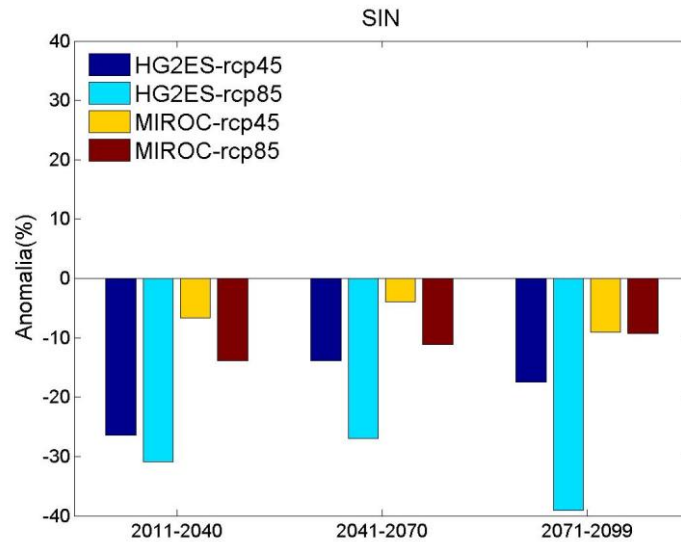


Figura 10- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para todo o SIN.

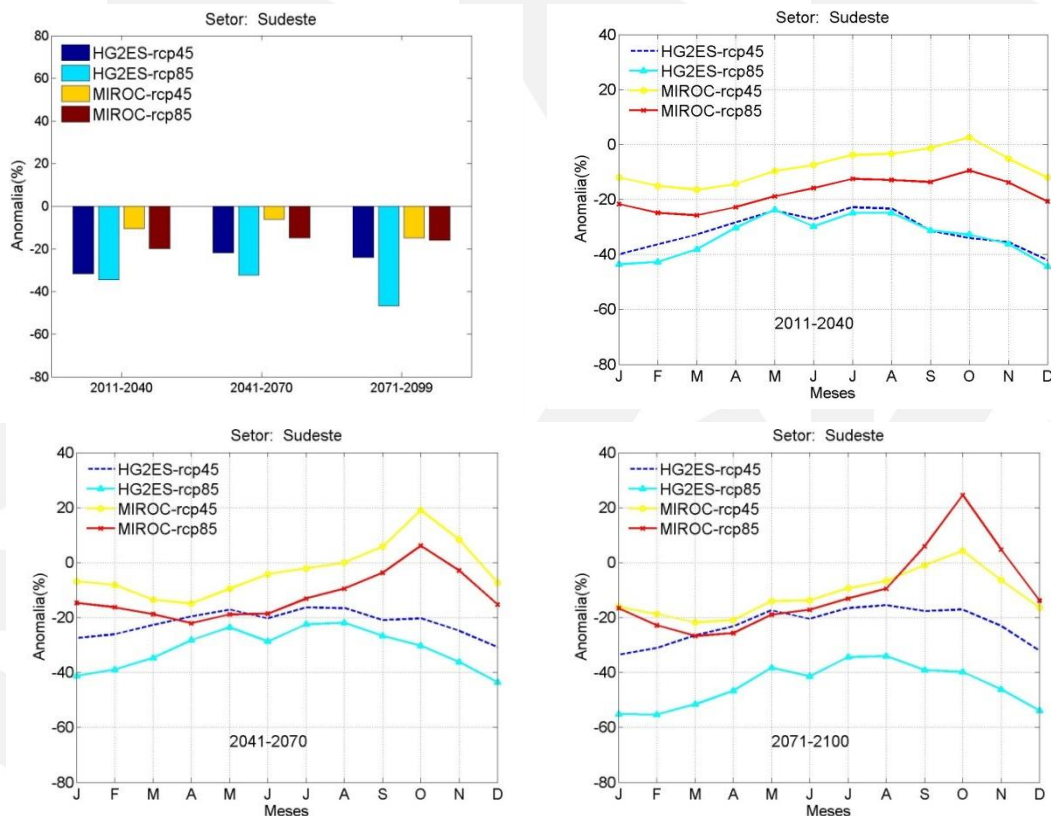


Figura 11- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor sudeste.

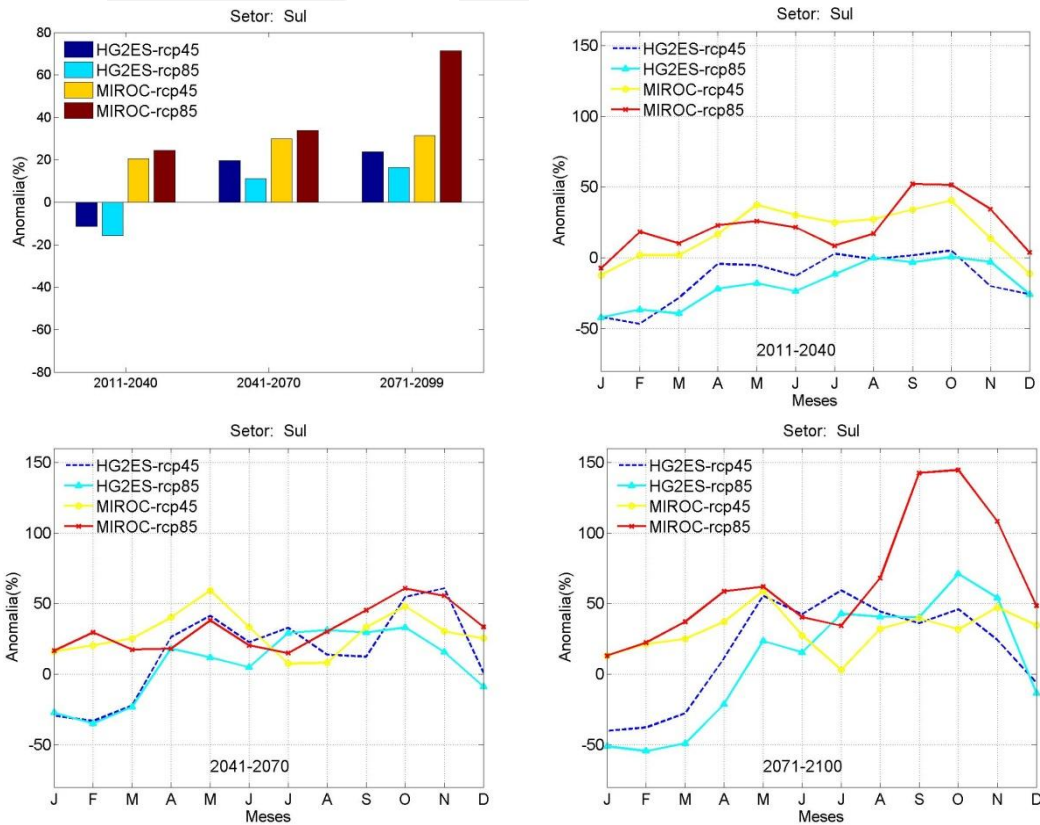
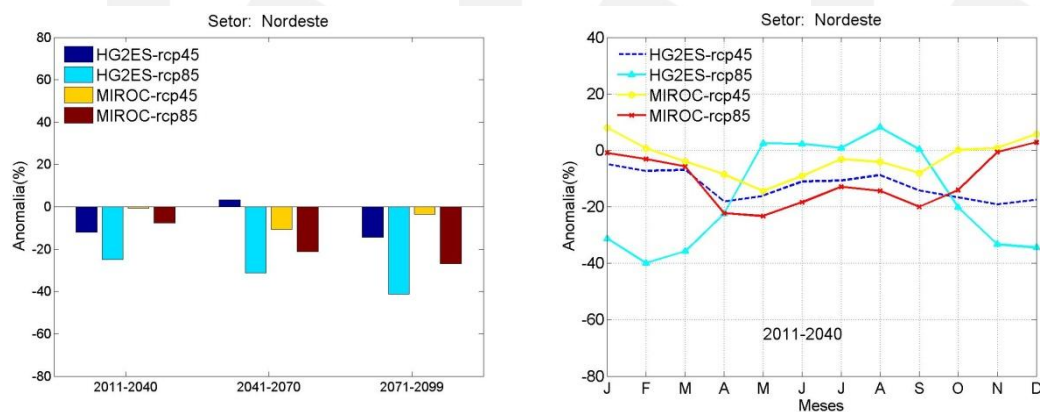


Figura 12-Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor sul.



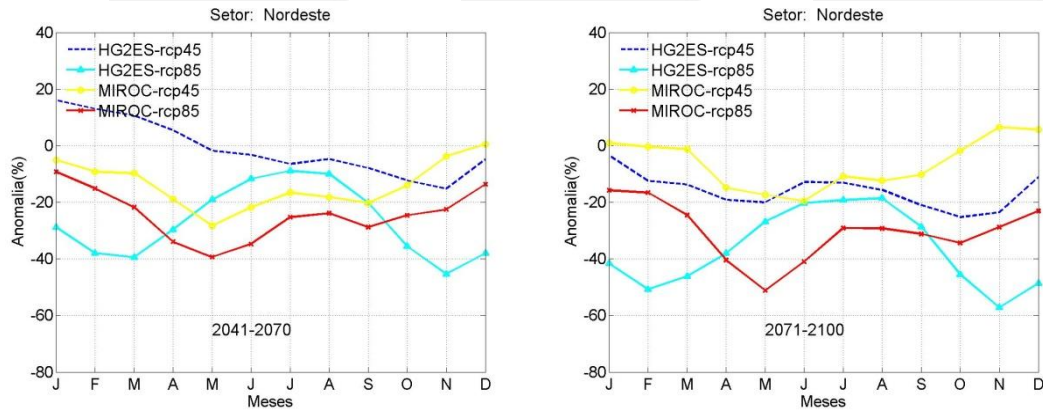



Figura 13-Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor Nordeste.

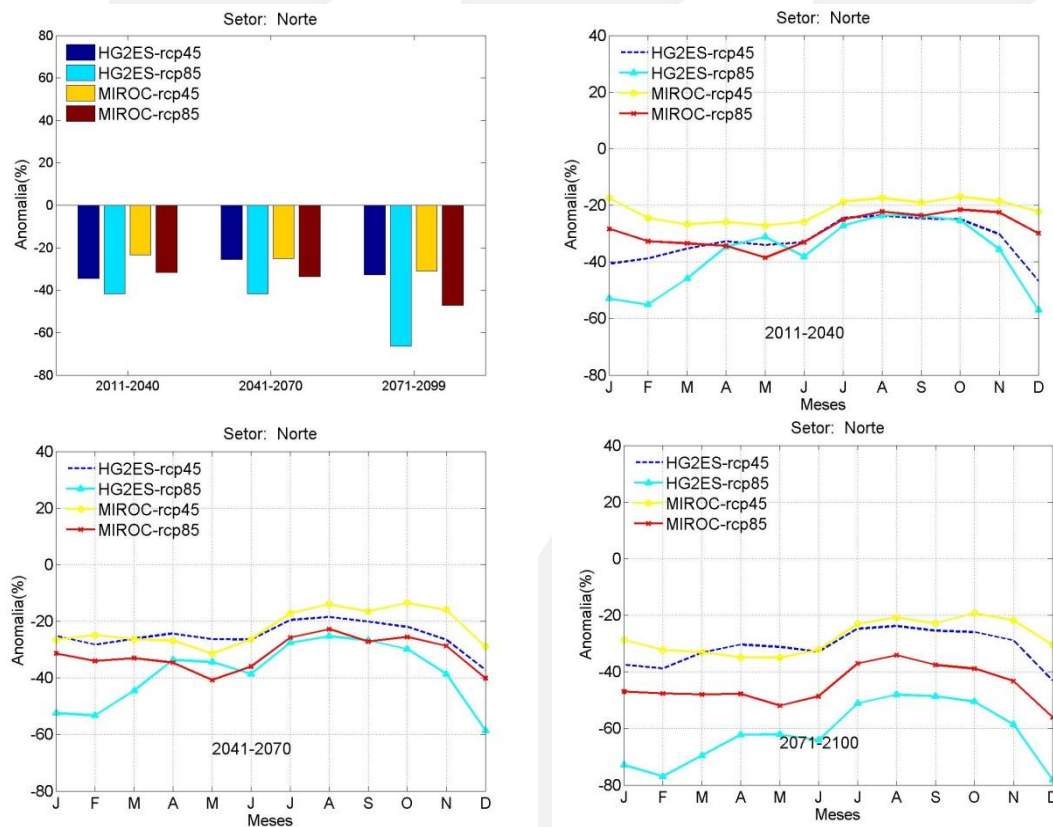


Figura 14-Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para o setor Norte.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Tabela 7- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para as bacias do subsistema Sudeste.

Bacias	HG2ES-RCP4.5			HG2ES-RCP8.5			Miroc-RCP4.5			Miroc-RCP8.5		
	2011-2040	2041-2070	2071-2099	2011-2040	2041-2070	2071-2099	2011-2040	2041-2070	2071-2099	2011-2040	2041-2070	2071-2099
Grande	-42,0	-29,3	-30,6	-40,0	-37,3	-54,5	-9,1	4,1	-15,8	-26,7	-4,5	-0,3
Paranaíba	-32,8	-23,4	-25,4	-34,7	-34,0	-45,7	-20,1	-18,7	-25,6	-30,0	-24,7	-32,7
Paranapanema	-53,1	-34,6	-36,3	-52,4	-48,2	-63,3	6,6	32,0	12,4	-10,4	8,2	38,4
Alto Paraná	-38,9	-27,6	-28,9	-39,8	-37,2	-52,1	-16,2	-12,1	-28,2	-35,2	-25,6	-32,5
Baixo Paraná	-32,3	-20,4	-17,8	-35,0	-28,5	-39,2	1,8	10,4	0,2	-7,3	-1,7	8,3
Alto Tietê	-35,0	-23,9	-27,6	-32,7	-30,4	-45,9	-1,7	13,4	1,2	-11,2	6,2	23,0
Tietê	-49,4	-34,6	-38,6	-46,3	-45,2	-61,4	-4,2	12,5	-14,0	-29,1	-9,2	2,6
Paraíba do Sul	-16,3	-11,6	-14,1	-15,0	-13,8	-23,1	-2,2	4,7	0,9	-5,3	5,9	12,3
Itabapoana	-21,3	-16,1	-16,7	-21,5	-22,9	-28,4	-11,7	-10,4	-14,7	-16,9	-11,6	-16,2
Mucuri	-23,3	-14,2	-21,5	-37,0	-39,4	-46,5	-17,0	-25,0	-21,1	-19,8	-34,7	-44,8
Doce	-11,6	-9,9	-11,7	-12,2	-14,0	-18,8	-10,6	-13,2	-11,3	-10,9	-11,2	-17,4
Paraguai	8,8	5,2	4,7	9,3	7,8	11,1	2,4	0,7	4,5	5,0	3,0	2,8
Amazonas (SE)	-9,8	-6,8	-8,7	-11,9	-11,9	-17,1	-6,0	-7,3	-9,0	-8,4	-11,0	-14,8
São Francisco (SE)	-45,1	-33,7	-36,0	-47,3	-47,4	-63,7	-25,6	-22,1	-30,2	-35,2	-25,2	-36,3
Tocantins (SE)	-38,7	-27,9	-36,0	-46,6	-46,3	-72,1	-25,7	-28,0	-33,9	-34,5	-37,1	-51,7
Jequitinhonha (SE)	-49,0	-34,9	-41,4	-59,8	-59,8	-72,8	-35,1	-43,9	-37,9	-34,4	-44,8	-62,1

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Tabela 8- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para as bacias dos subsistemas Sul, Norte e Nordeste.

Bacias	HG2ES-RCP4.5			HG2ES-RCP8.5			Miroc-RCP4.5			Miroc-RCP8.5		
	2011-2040	2041-2070	2071-2099	2011-2040	2041-2070	2071-2099	2011-2040	2041-2070	2071-2099	2011-2040	2041-2070	2071-2099
Iguaçu	-21,3	0,7	11,5	-21,6	-4,2	-6,3	18,1	28,6	28,1	17,9	25,8	67,0
Jacuí	-10,8	35,8	21,8	-26,3	10,4	21,7	29,2	34,2	40,2	36,0	41,2	79,6
Uruguai	-1,3	35,5	37,3	-7,2	27,2	39,0	21,3	30,3	33,1	28,9	40,4	74,2
Itajai-Açu	-7,0	22,1	28,3	-9,6	16,6	25,0	19,6	28,2	29,1	22,7	34,5	71,6
São Francisco(NE)	-11,4	4,3	-14,1	-24,6	-31,1	-41,1	0,5	-9,6	-2,2	-7,0	-20,5	-26,0
Jequitinhonha(NE)	-30,7	-19,8	-29,9	-42,0	-46,8	-58,9	-25,3	-37,7	-29,3	-26,5	-40,8	-55,3
Parnaíba	-5,8	-2,4	-7,4	-11,7	-12,3	-18,9	-5,0	-7,5	-7,7	-7,7	-13,8	-17,3
Paraguaçu	-12,2	-1,2	-16,8	-26,9	-25,8	-32,3	-15,8	-31,9	-17,1	-10,7	-33,2	-39,1
Tocantins(N)	9,6	5,8	5,4	10,2	8,6	12,4	2,9	1,1	5,3	5,8	3,7	3,7
Amazonas(N)	-37,5	-27,6	-35,3	-45,0	-44,9	-71,6	-25,1	-26,9	-33,3	-34,1	-36,0	-50,6

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

5. Conclusões

A variabilidade e a mudança climática exercem uma forte influência no desenvolvimento da sociedade, devido às enchentes, às secas, às catástrofes, dentre muitos outros fatores que interferem diretamente no meio ambiente, na agricultura, no setor energético, na qualidade do ar etc. A análise proposta neste trabalho visou gerar informações sobre o impacto do clima sobre as vazões e, conseqüentemente, na produção de energia no Brasil. Essas informações podem ser usadas pelos gestores na adoção de políticas energéticas e auxiliar medidas que minimizem os impactos de tais cenários.

O modelo regional forçado pelos modelos globais HG2ES e MIROC indica que a ENA do SIN deve reduzir em pelo menos 10% em cada um dos períodos de 30 anos em relação a climatologia (1961 a 2000). Essa redução é bastante significativa nos subsistemas Sudeste, Norte e Nordeste. Segundo as diferentes configurações do modelo regional, essa redução tem módulo superior a 20% no setor norte e superior a 5% subsistema Sudeste. Ocorrendo pequena divergência no subsistema Nordeste em relação ao sinal da anomalia percentual da ENA.

De todo modo é preciso avaliar os resultados com cautela, dado as incertezas decorrentes da modelagem climática global, regionalizada e hidrológica.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

6. Referências

ALBURQUERQUE, I. F.; FERREIRA, J. N.; SILVA, M. G.; DIAS, M. F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO-Irrigation and Drainage Paper. Roma, p. 297. 1998.

ALVES, B. C. C.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVEIRA, C. S. Análise de tendência e Padrões de Variação das séries históricas de vazões do Operador Nacional de Sistemas(ONS). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 19-34, 2013.

BOGGESS, A., NARCOWICH, F. J. *A first course in wavelets with fourier analysis*. 2nd.ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2009.

CAMPO, J. N. B.; 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**. 1. ed. Fortaleza: FUNCEME/IRD, 2010. v. 1.

COMPO, G.P.; WHITAKER, J. S.; SARDESHMUKH, P.D. Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data. *Bull. Amer. Met. Soc.*, v. 87, p. 175-190, 2006.

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.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

LOPES, J. E. G.; BRAGA JR., B. P. F.; CONEJO, J. G. L. A. **Simulação Hidrológica: Aplicações de um Modelo Simplificado.** Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Fortaleza: [s.n.]. 1981. p. 42-62.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend.. **Econometrica**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific Interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 78, p. 1069-1979, 1997.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v. 58, p. 35-44, 2002.

MACEIRA, M.E.P.; PENNA, D.D.J.; DAMÁZIO, J.M. Geração de Cenários Sintéticos de Energia e Vazão para o Planejamento da Operação Energética. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, João Pessoa, 2005.

MACEIRA, M.E.P.; MERCIO, C.M.V.B. Stochastic Sreamflow Model for Hydroelectric Systems. **5th International Conference PMAPS – Probabilistic Methods Applied to Power Systems**, Vancouver, Canada, 1997.

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, 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. No. 8 Maio 2007.

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

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.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

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.

NOBRE, C.A., SELLERS,P.J. AND SHUKLA,J. "Amazonian deforestation and regional climate change". **J. Clim.**, 4, 957-988.1991.

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.

ONS - **Atualização de Séries Históricas de Vazões – 1931 a 2010.** Operador Nacional do Sistema – ONS. Brasília. 36p, 2011.

ONS – **Relatório de Previsão de vazões e geração de cenários de afluência.** Operador Nacional de Sistemas-ONS. Brasília. 32p. 2012

ROCHA, V. B. Uma abordagem de Wavelets Aplicada à Combinação de previsões:

Uma análise teórica e experimental. 2008. 155f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Curitiba, 2008.

ROHN, M.C.; KAVISKI, E.; CUNHA, L.M. Estimativa de variáveis hidrológicas a partir de indicadores do fenômeno EL NIÑO. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, Curitiba, 2003.

RUCH, D.K.,FLEET, P. J.V.. Wavelet theory: an elementary approach with



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

applications. Segunda edição. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p480, 2009.

SALAS, J.D.; DELLEUR, J.W.; YEVJEVICH, V.; LANE, W.L. **Applied Modeling of Hydrologic Time Series**. Water Resources Publications, Colorado. 482p, 1997.

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.

SANTOS, C. A. C. et al. TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO CEARÁ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SARNAGLIA, A. J. Q.; REISEN, V. A. **Estimação robusta em processos periódicos auto-regressivos na presença de outliers aditivos**. 19o SINAPI - Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. São Pedro-SP: [s.n.]. 2010.

SEBER, G. A. F. Multivariate Observations. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 1984

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau.. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p. 1379-1389, 1968.

SILVEIRA, C.S. ; SOUZA FILHO, F. A; LÁZARO, Y. M. C.; COSTA, A. C.; SALES, D. C.; COUTINHO, M.M. Sazonalidade da Precipitação Sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro nas Simulações do IPCC-AR4. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.17, n.3, 125-134, 2012.

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.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

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

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.

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

APÊNDICE A – Aproveitamentos Hidrelétricos do SIN

Tabela 9- Características dos aproveitamentos hidrelétricos do SIN

CÓDIGOS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
269	BALBINA	Amazonas	Uatumã	Operação	Natural
288	BELO MONTE	Amazonas	Xingu	Expansão	Natural
302	BELO MONTE Complementar	Amazonas	Xingu	Expansão	Natural
293	BELO MONTE Jusante	Amazonas	Xingu	Expansão	Artificial
292	BELO MONTE Principal	Amazonas	Xingu	Expansão	Artificial
280	COARACY NUNES	Amazonas	Araguari	Operação	Natural
228	COLIDER	Amazonas	Teles Pires	Expansão	Natural
277	CURUA-UMA	Amazonas	Curua-Una	Operação	Natural
291	DARDANELOS	Amazonas	Aripuanã	Operação	Natural
297	FERREIRA GOMES	Amazonas	Araguari	Expansão	Natural
296	GUAPORE	Amazonas	Guaporé	Operação	Natural
285	JIRAU	Amazonas	Madeira	Expansão	Natural
145	RONDON II	Amazonas	Comemoração	Operação	Natural
279	SAMUEL	Amazonas	Jamari	Operação	Natural
287	SANTO ANTONIO	Amazonas	Madeira	Expansão	Natural
290	SANTO ANTONIO DO JARI	Amazonas	Jari	Expansão	Natural
229	TELES PIRES	Amazonas	Teles Pires	Expansão	Natural
255	IRAPE	Atlântico Leste	Jequitinhonha	Operação	Natural
188	ITAPEBI	Atlântico Leste	Jequitinhonha	Operação	Natural
254	PEDRA DO CAVALO	Atlântico Leste	Paraguaçu	Operação	Natural
283	SANTA CLARA MG	Atlântico Leste	Mucuri	Operação	Natural
115	CAPIVARI CACHOEIRA	Atlântico Sudeste	Capivari-Cachoeira	Operação	Natural
318	HENRY BORDEN	Atlântico Sudeste	Cubatão	Operação	Artificial
116	PEDRAS	Atlântico Sudeste	Rio das Pedras	Operação	Natural
196	ROSAL	Atlântico Sudeste	Itabapoana	Operação	Natural
101	SALTO PILAO	Atlântico Sudeste	Itajaí-Açu	Operação	Natural
148	AIMORES	Doce	Doce	Operação	Natural
183	ANTÔNIO DIAS+SÁ CARVALHO	Doce	Piracicaba e Severo	Operação	Natural
141	BAGUARI	Doce	Doce	Operação	Natural
149	CANDONGA	Doce	Doce	Operação	Natural
262	GUILMAN-AMORIM	Doce	Piracicaba	Operação	Natural
144	MASCARENHAS	Doce	Doce	Operação	Natural
263	PORTO ESTRELA	Doce	Santo Antônio	Operação	Natural
134	SALTO GRANDE	Doce	Doce	Operação	Natural
18	AGUAVERMELHA	Grande	Grande	Operação	Natural
14	CACONDE	Grande	Pardo	Operação	Natural
1	CAMARGOS	Grande	Grande	Operação	Natural
8	ESTREITO	Grande	Grande	Operação	Natural
15	EUC DA CUNHA	Grande	Pardo	Operação	Natural
211	FUNIL-GRANDE	Grande	Grande	Operação	Natural
6	FURNAS	Grande	Grande	Operação	Natural
10	IGARAPAVA	Grande	Grande	Operação	Natural
2	ITUTINGA	Grande	Grande	Operação	Natural
9	JAGUARA	Grande	Grande	Operação	Natural
16	LIMOEIRO	Grande	Pardo	Operação	Natural
17	MARIMBONDO	Grande	Grande	Operação	Natural
7	MASCARENHAS DE MORAES	Grande	Grande	Operação	Natural
12	PORTO COLOMBIA	Grande	Grande	Operação	Natural
11	VOLTA GRANDE	Grande	Grande	Operação	Natural



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

CÓDIGOS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
81	BAIXO IGUAÇU	Iguaçu	Iguaçu	Expansão	Natural
74	FOZ DO AREIA	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
72	FUNDAO	Iguaçu	Jordão/Iratim	Operação	Natural
73	JORDÃO	Iguaçu	Jordão e Iguaçu	Operação	Natural
70	JORDÃO	Iguaçu	Jordão e Iguaçu	Operação	Artificial
222	SALTO CAXIAS	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
78	SALTO OSORIO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
77	SALTO SANTIAGO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
71	SANTA CLARA PR	Iguaçu	Jordão	Operação	Natural
76	SEGREDO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
75	SEGREDO + DESVIO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Artificial
284	14 DE JULHO	Jacuí	Antas	Operação	Natural
98	CASTRO ALVES	Jacuí	Taquari-Antas	Operação	Natural
114	DONA FRANCISCA	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
110	ERNESTINA	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
113	ITAUBA	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
112	JACUI	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
97	MONTE CLARO	Jacuí	Taquari-Antas	Operação	Natural
111	PASSO REAL	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
259	ITIQUEIRA I E II	Paraguai	Itiquira	Operação	Natural
295	JAURO	Paraguai	Jauru	Operação	Natural
278	MANSO	Paraguai	Manso	Operação	Natural
281	PONTE DE PEDRA	Paraguai	Correntes	Operação	Natural
127	ANTA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Expansão	Artificial
129	ANTA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Expansão	Natural
303	FONTES	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
123	FUNIL	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
299	ILHA DOS POMBOS	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Artificial
130	ILHA POMBOS	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
120	JAGUARI	Paraíba do Sul	Jaguari	Operação	Natural
132	LAJES	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
202	LAJES / PEREIRA PASSOS / FONTES	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Natural
131	NILO PECANHA	Paraíba do Sul	Não definido	Operação	Artificial
121	PARAIBUNA	Paraíba do Sul	Paraibuna-Paraitinga	Operação	Natural
306	PEREIRA PASSOS	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
197	PICADA	Paraíba do Sul	Peixe	Operação	Natural
122	SANTA BRANCA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
125	SANTA CECILIA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
298	SANTA CECÍLIA Bombeamento	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Artificial
203	SANTANA	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Natural
315	SANTANA	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
304	SANTANA Vertimento	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Artificial
126	SIMPLICIO	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Expansão	Artificial
198	SOBRAGI	Paraíba do Sul	Paraibuna	Operação	Natural
201	TOCOS	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Natural
317	TOCOS Vertimento	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Artificial
316	VIGÁRIO	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
44	ILHA SOLTEIRA Equivalente	Paraná	Tietê e Paraná	Operação	Artificial
244	ILHA SOLTEIRA Equivalente	Paraná	Tietê e Paraná	Operação	Natural
34	ILHASOLTEIRA	Paraná	Paraná	Operação	Natural
66	ITAIPU	Paraná	Paraná	Operação	Artificial
266	ITAIPU	Paraná	Paraná	Operação	Natural
45	JUPIA	Paraná	Paraná	Operação	Artificial



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

CÓDIGOS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
245	JUPIA	Paraná	Paraná	Operação	Natural
46	PORTO PRIMAVERA	Paraná	Paraná	Operação	Artificial
246	PORTO PRIMAVERA	Paraná	Paraná	Operação	Natural
154	SÃO DOMINGOS	Paraná	Verde	Expansão	Natural
248	BARRA DOS COQUEIROS	Paranaíba	Claro	Operação	Natural
22	BATALHA	Paranaíba	São Marcos	Expansão	Natural
32	CACHOEIRA DOURADA	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
247	CAÇU	Paranaíba	Claro	Operação	Natural
207	CAPIM BRANCO 1	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
28	CAPIM BRANCO 2	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
209	CORUMBA 1	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
205	CORUMBÁ 4	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
23	CORUMBA III	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
24	EMBORCACAO	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
99	ESPORA	Paranaíba	Corrente	Operação	Natural
261	FOZ DO RIO CLARO	Paranaíba	Claro	Operação	Natural
31	ITUMBIARA	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
206	MIRANDA	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
25	NOVA PONTE	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
294	SALTO	Paranaíba	Verde	Operação	Natural
241	SALTO VERDINHO	Paranaíba	Verde	Operação	Natural
33	SAO SIMAO	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
251	SERRA FCAO	Paranaíba	São Marcos	Operação	Natural
52	CANOAS 1	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
51	CANOAS 2	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
61	CAPIVARA	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
49	CHAVANTES	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
47	JURUMIRIM	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
50	LUCAS GARCEZ	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
57	MAUÁ	Paranapanema	Tibagi	Expansão	Natural
249	OURINHOS	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
48	PIRAJU	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
63	ROSANA	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
62	TAQUARUCU	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
190	BOA ESPERANÇA	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
176	PAULO AFONSO -MOXOTÓ	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
172	ITAPARICA	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
171	ITAPARICA Incremental	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
173	MOXOTO	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
175	PAULO AFONSO	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
158	QUEIMADO	São Francisco	Preto	Operação	Natural
155	RETIRO BAIXO	São Francisco	Paraopeba	Operação	Natural
169	SOBRADINHO	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
168	SOBRADINHO Incremental	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
156	TRES MARIAS	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
178	XINGÓ	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
38	BARIRI	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
238	BARIRI	Tietê	Tietê	Operação	Natural
37	BARRA BONITA	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
237	BARRA BONITA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
118	BILLINGS	Tietê	Pinheiros	Operação	Natural
319	BILLINGS	Tietê	Pinheiros	Operação	Artificial
161	EDGARD DE SOUZA C/ Tributários	Tietê	Tietê	Operação	Natural



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

CÓDIGO ONS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
164	EDGARD DE SOUZA S/ Tributários	Tietê	Tietê	Operação	Natural
117	GUARAPIRANGA	Tietê	Guarapiranga	Operação	Natural
39	IBITINGA	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
239	IBITINGA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
42	NOVA AVANHANDAVA	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
242	NOVA AVANHANDAVA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
109	PEDREIRA	Tietê	Pinheiros	Operação	Natural
160	PONTE NOVA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
40	PROMISSAO	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
240	PROMISSAO	Tietê	Tietê	Operação	Natural
104	TRAIÇÃO	Tietê	Pinheiros	Operação	Natural
43	TRES IRMAOS	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
243	TRES IRMAOS	Tietê	Tietê	Operação	Natural
119	BILLINGS + PEDRAS	Tietê/Cubatão	Pinheiros/Pedras	Operação	Natural
191	CANA BRAVA	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
271	ESTREITO TOCANTINS	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
273	LAJEADO	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
257	PEIXE ANGICAL	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
253	SÃO SALVADOR	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
270	SERRA DA MESA	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
275	TUCURUI	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
215	BARRA GRANDE	Uruguai	Pelotas	Operação	Natural
216	CAMPOS NOVOS	Uruguai	Canoas	Operação	Natural
94	FOZ CHAPECÓ	Uruguai	Uruguai	Operação	Natural
89	GARIBALDI	Uruguai	Canoas	Expansão	Natural
92	ITÁ	Uruguai	Uruguai	Operação	Natural
217	MACHADINHO	Uruguai	Pelotas	Operação	Natural
220	MONJOLINHO	Uruguai	Passo Fundo	Operação	Natural
93	PASSO FUNDO	Uruguai	Passo Fundo	Operação	Natural
103	PASSO SÃO JOÃO	Uruguai	Ijuí	Expansão	Natural
286	QUEBRA QUEIXO	Uruguai	Chapecó	Operação	Natural
102	SÃO JOSÉ	Uruguai	Ijuí	Operação	Natural

Fonte: ONS, 2011b