

ESTIMATIVA DE IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS VAZÕES DO RIO SÃO FRANCISCO

Thiago Balisa Santana¹ & Benedito Cláudio da Silva²; Afonso Henriques Moreira Santos³

RESUMO – O presente trabalho tem por objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos na bacia do Rio São Francisco. Para isso, são utilizados cenários de mudanças climáticas gerados através do modelo regional Eta, a partir do downscaling dinâmico de cenários do modelo HadCM3, fornecido pelo CPTEC/INPE. Foram analisadas quais seriam os efeitos das precipitações futuras, simuladas pelo Eta, nas vazões do Rio São Francisco. Baseado nos dados hidrológicos observados no período de 1960 a 1990.

ABSTRACT – This study aims to assess the impacts of climate change on water resources in the basin of San Francisco. To do this, will be used climate change scenarios generated by the Eta model from the dynamic downscaling of scenarios from HadCM3 model, provided by CPTEC / INPE. We analyzed what the effects of future rainfall, simulated by the Eta, in the São Francisco river's flow. Based on hydrological data observed from 1960 to 1990.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, Rio São Francisco, Alteração na Vazão.

¹ Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG, 37500-903. (35) 3629 1411, thiagobalisa@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG, 37500-903. (35) 3629 1411, silvabenedito@gmail.com

³ Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG, 37500-903. (35) 3629 1455, afonsohms@gmail.com

1 – INTRODUÇÃO

Quase todas as decisões tomadas no planejamento dos recursos hídricos possuem forte dependência do conhecimento antecipado das condições atmosféricas e hidrológicas, para diferentes escalas de tempo e espaço.

Em escalas de décadas, ou mais, torna-se importante prever tendências regionais, tais como condições de maior calor, ou frio, e umidade, ou seca, que podem auxiliar no planejamento e estabelecimento de políticas sobre recursos hídricos, que criam impacto sobre diversas questões socioeconômicas.

Embora o clima tenha sempre variado de modo natural, os resultados de pesquisas e simulações sofisticadas, vêm evidenciando que as emissões excessivas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), podem provocar mudanças permanentes e irreversíveis no clima. IPCC (2001). Imprimindo novos padrões no regime de vento, temperatura, pluviosidade e circulação dos oceanos.

Segundo o IPCC-AR4 (Alley *et al.*, 2007), aponta com mais de 90% de confiabilidade, que a maior parte do aumento da temperatura observados na última metade do século passado foi provocada por emissões dos gases estufa, emitidos pelas atividades humanas.

O sistema de produção de energia elétrica brasileiro utiliza a combinação de usinas hidrelétricas, centrais térmicas e outras fontes alternativas de geração de energia. A potência instalada em usinas hidrelétricas representa cerca de 76% do total (ONS, 2010). Esta forte dependência das hidrelétricas para produção de energia envolve importantes riscos de oferta, pois o insumo das usinas hidrelétricas é a vazão dos rios, que por sua vez é dependente do clima e sua variabilidade temporal e espacial.

2 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS

2.1 - Definições

O Relatório de Avaliação do IPCC, que atualmente se encontra na sua quarta versão, descreve os avanços feitos na compreensão dos fatores humanos ou naturais que causam a mudança do clima, as observações da mudança do clima, processos climáticos e atribuição, e estimativas da mudança do clima projetada para o futuro. O termo *mudança do clima* usado pelo IPCC refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, devida à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana. Baseia-se em avaliações feitas em pesquisas anteriores do IPCC e incorpora novas descobertas dos últimos anos (IPCC, 2007). Os avanços científicos feitos desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação (TRA) baseiam-se em grandes quantidades de dados novos e

mais abrangentes, análises mais sofisticadas e melhor compreensão dos processos, com a sua simulação em diversos modelos, e uma importante análise mais ampla das faixas de incerteza.

As mudanças na quantidade de gases de efeito estufa e aerossóis da atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram o equilíbrio energético do sistema climático. Essas mudanças são expressas em termos do forçamento radiativo, que é usado para comparar a forma como os fatores humanos e naturais provocam o aquecimento ou o esfriamento do clima global. (QRA - IPCC, 2007).

Desde a publicação do TRA, novas observações e a respectiva modelagem dos gases de efeito estufa, atividade solar, propriedades da superfície terrestre e alguns aspectos dos aerossóis promoveram melhorias nas estimativas quantitativas do forçamento radiativo. As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram bastante em consequência das atividades humanas desde 1750 e agora ultrapassam em muito os valores pré-industriais determinados com base em testemunhos de gelo de milhares de anos, Figura 1. Os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso, estima-se que são devidos principalmente à agricultura. (QRA - IPCC, 2007).

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar. (QRA - IPCC, 2007).

Do Período de 1995 a 2006, um ano antes da publicação do QRA, estão entre os 12 anos mais quentes, desde o início do registro instrumental da temperatura da superfície global (1850). Esse período apresenta uma tendência linear de aumento em média de 0,74°C se for considerado os últimos 100 anos. No que significa, ser mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000, apresentada no TRA, de 0,6°C.

Tendências de longo prazo de 1900 a 2005 foram observadas na quantidade de precipitação em muitas das grandes regiões. Como por exemplo, a tendência de um aumento significativo de precipitação foi observado em algumas regiões, como na parte leste da América do Norte e da América do Sul. Em contra partida observou-se que o clima ficou mais seco na região do Sahel, no Mediterrâneo, no sul da África e em partes do sul da Ásia, área essa altamente populosa e dependente das monções. A precipitação apresenta grande variabilidade em termos espaciais e temporais, e os dados são muito limitados em algumas regiões. (QRA - IPCC, 2007).

Observa-se que há um aumento nos eventos extremos, tanto no período chuvoso quanto na estação da seca. A frequência dos eventos extrema aumentou sobre a maior parte das áreas terrestres, de forma condizente com o aquecimento e os aumentos observados do vapor d'água atmosférico. (IPCC, 2007).

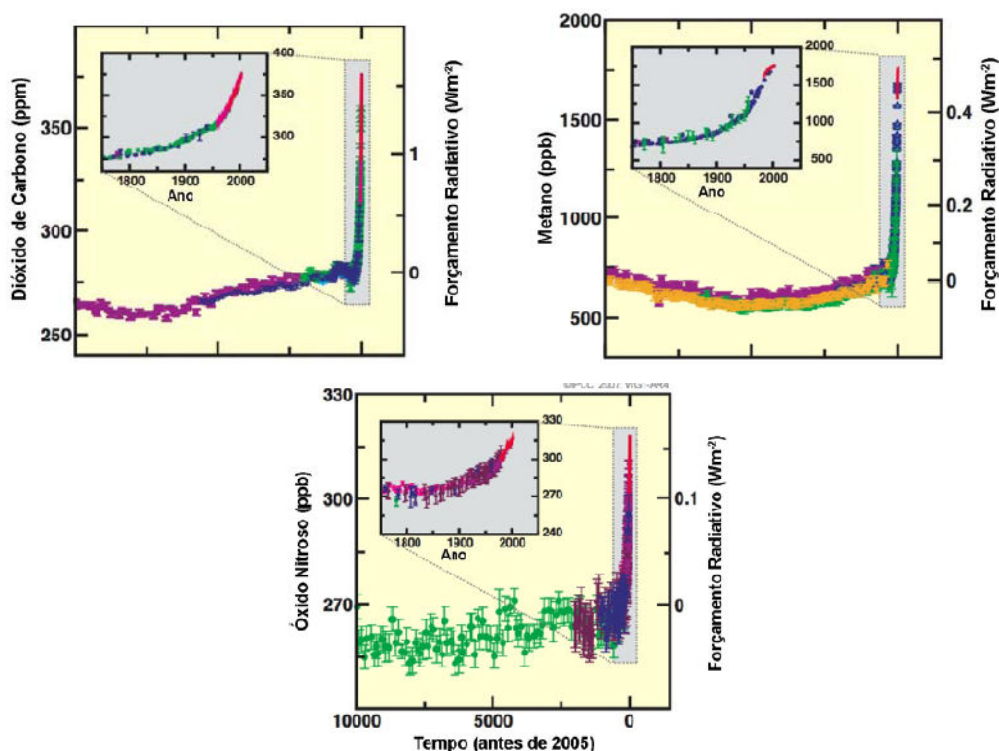


Figura 1. Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis inseridos). As medições são obtidas a partir de testemunhos de gelo. Fonte: (IPCC, 2007).

2.2 - Cenários de Emissões

Em 1996 o IPCC deu início ao desenvolvimento de um novo conjunto de cenários de emissões, mais eficaz e atual que o até então famoso cenário IS92. Quatro diferentes histórias ou enredos foram desenvolvidos para descrever de forma consistente e simplificadas as relações entre as forças motrizes de emissões e sua evolução ao longo do tempo. (RECE, 2000)

Como resultado final, foi à criação do RECE (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões) que contém 40 cenários diferentes, dentre os quais, 35 cenários contêm dados sobre toda uma gama gases necessários nos modelos climáticos, como os gases de efeito estufa e o enxofre, sempre levando em consideração os aspectos demográficos, econômicos e tecnológicos. (RECE, 2000)

Cada cenário representa uma quantificação específica de cada uma dos quatro enredos, os cenários que são baseados num mesmo enredo constituíram uma “família” de cenários (RECE, 2000). Os Cenários do RECE, não incluem ou consideram iniciativas globais ou regionais no controle de emissões de gases de efeito estufa ou controle do clima, como o protocolo de Kyoto ou uma política governamental de menores emissões por exemplo. (IPCC, 2011). As quatro famílias de cenários são: A1, B1, A2 e B2, que são brevemente descritos abaixo. (TRA – IPCC, 2001).

Cenários A1 - O contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do

século e declinando em seguida e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda per capita. A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1FI), fontes energéticas não-fósseis (A1T) ou um equilíbrio entre todas as fontes (A1B) (em que o equilíbrio é definido como não se depender muito de uma determinada fonte de energia, supondo-se que taxas similares de aperfeiçoamento apliquem-se a todas as tecnologias de oferta de energia e uso final).

Cenários A2 - O contexto e a família de cenários A2 descrevem um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a auto-suficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região, sendo que o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros contextos.

Cenários B1 - O contexto e a família de cenários B1 descrevem um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, como no contexto A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informações, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, inclusive a melhoria da equidade, mas sem iniciativas adicionais relacionadas com o clima.

Cenários B2 - O contexto e família de cenários B2 descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos contextos B1 e A1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco são os níveis local e regional.

Todos esses cenários foram usados como hipótese de trabalho nas projeções para o clima do planeta no futuro, e servem como base para a previsão do clima nos modelos computacionais acoplados.

3 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS

Tucci e Damiani (1994) realizaram um dos primeiros estudos sobre o impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no Brasil. Os autores utilizaram o modelo IPH2 e projeções de clima futuro obtidos de três modelos climáticos globais. O estudo foi realizado para a bacia do rio Uruguai, considerando cenários climáticos para o período de 2040 até 2060, e os resultados mostram que a vazão média, em diferentes partes da bacia, podem sofrer aumento de 25% até redução de 15%.

Recentemente, Tomasella *et al.* (2008) realizou um estudo para as bacias dos rios Araguaia e Tocantins, utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn e Tucci, 2001) para avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre as disponibilidades hídricas. Foram usadas as predições de clima do futuro obtidas do modelo global HadCM3, através de um downscaling realizado com o modelo regional ETA. Os resultados mostram que uma redução de 20% na vazão média do rio Tocantins em Tucuruí no período de 2080 até 2099, se comparado ao período de 1970 a 1999. O impacto ocorreria de forma mais intensa nos períodos de estiagem. A vazão com 90% de probabilidade de excedência (Q90), neste mesmo local, diminuiria em 58%.

Schaeffer *et al.* (2008) realizou um estudo abrangente, que analisou o impacto das mudanças climáticas especificamente sobre a produção de energia no sistema interligado brasileiro. Este trabalho considerou as mudanças climáticas de uma forma bastante simplificada, alterando as médias e os desvios padrões utilizados para gerar os cenários das vazões naturais utilizadas no planejamento do setor elétrico. Neste caso também as alterações nas séries hidrológicas foram baseadas em apenas um único modelo climático, o modelo regional PRECIS, a partir das previsões do modelo global HadCM3. A principal conclusão deste trabalho foi que a maioria das bacias brasileiras com aproveitamentos hidroelétricos sofreria redução das vazões.

Nóbrega *et al.* (2010), avaliou a questão da incerteza das predições de clima do futuro, que dependem fortemente dos modelos climáticos empregados, analisando a bacia do rio Grande, entre MG e SP. Neste estudo de caso foram utilizadas as predições de clima do futuro oriundas de seis modelos climáticos globais para alimentar o modelo hidrológico MGB-IPH. Os resultados mostram que os impactos das mudanças climáticas sobre as vazões podem ser contraditórios, variando entre aumentos e reduções de vazão, dependendo do modelo climático global adotado. Considerando o cenário de emissões de gases A1B, os resultados obtidos para o reservatório de Água Vermelha, localizado próximo a foz da bacia, são os seguintes, de acordo com o modelo utilizado como base: CCMA (Canadá) indica redução de 14%; CSIRO (Austrália) indica redução de 2%; ECHAM5 (Europa) indica aumento de 13%; HadCM3 (Reino Unido) indica aumento de 9%; IPSL (Japão) indica redução de 28%; HadGEM1 (Reino Unido) indica redução de 10%. Ou seja, dois modelos

sugerem que a vazão irá aumentar; três modelos indicam aumento de vazão; e um modelo (CSIRO) sugere que a alteração da vazão será muito pequena (-2%) (Nóbrega *et al.*, 2010). Outros autores também analisaram a dependência dos resultados aos modelos climáticos utilizados, como Bates *et al.* (2008) e Paiva *et al.* (2010).

É possível que as mudanças climáticas geradas pelos modelos de clima globais já estejam acontecendo e que seus efeitos já estejam ocorrendo nas séries de vazões dos rios no Brasil e em toda a América do Sul. Alguns rios mostram períodos recentes mais úmidos ou mais secos do que as médias de longo prazo (Barros *et al.*, 2006). Entretanto, a identificação dos impactos das mudanças climáticas nas séries de vazão dos rios é complicada, devido a outros fatores, como as mudanças do uso da terra e da água, podem ocorrer ao mesmo tempo. Em algumas bacias brasileiras foram verificadas mudanças nas vazões médias em um período recente, que podem estar relacionadas tanto às mudanças no regime pluviométrico como às alterações no tipo de vegetação existente na bacia hidrográfica (Tucci *et al.*, 2003; Rodrigues *et al.*, 2010).

Paralelamente a isso vem ocorrendo um aumento dos usos consuntivos da água, o que contribui para a redução da vazão observada em postos fluviométricos ou afluente aos reservatórios de usinas hidroelétricas.

4 – METODOLOGIA

A metodologia empregada por esse trabalho consiste em gerar cenários de vazões para a bacia do rio São Francisco a partir de cenários de mudanças climáticas gerados pelo modelo regional Eta, operado pelo CPTEC/INPE, a partir do downscaling dinâmico de cenários do modelo HadCM3, com uma resolução de 40 km, gerando previsões climáticas para até o ano de 2100 (Chou *et al.*, 2011; Marengo *et al.*, 2011). Os cenários futuros foram divididos em períodos de 30 anos: 2010-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Além disso, foi gerado para um cenário passado, 1960-1990, para comparação e validação com dados observados.

O modelo Hidrológico utilizado para simulação da bacia é o MGB-IPH, desenvolvido para a simulação de grandes bacias. O modelo é composto dos seguintes módulos: balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula, e escoamento na rede de drenagem. (Collichonn, 2001).

A bacia do São Francisco possui uma área de aproximadamente 639.000 km² e seu curso principal tem uma extensão de 2.700 km entre as cabeceiras, na Serra da Canastra, em terras do município de São Roque de Minas (MG), e a foz, no Oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas. A área da bacia corresponde a, aproximadamente, 8% do território nacional e abrange parte de seis Estados e do Distrito Federal. Destaca-se que a bacia compreende uma parte

significativa do Polígono das Secas, que constitui um território reconhecido como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens e situa-se, majoritariamente, na região Nordeste, porém estende-se até o norte de Minas Gerais.

Foi utilizada a calibração para a bacia do Rio São Francisco feita por Silva (2005). A bacia é sub-dividida em células quadradas, de aproximadamente 10 x 10 km, ligadas entre si por canais de drenagem retilíneos, totalizando em 2502 células quadradas, delimitando 27 sub-bacias. Em cada célula as características de uso de solo, cobertura vegetal e tipo de solo são sintetizadas em blocos. Cada tipo de informação é contido em um bloco para cada célula, podendo ter inúmeros blocos cada célula (Silva, 2005). A Figura 2 apresenta a discretização feita para a bacia do rio São Francisco. Até o posto São Francisco, foi utilizada a resolução de 10km e no restante 20km.

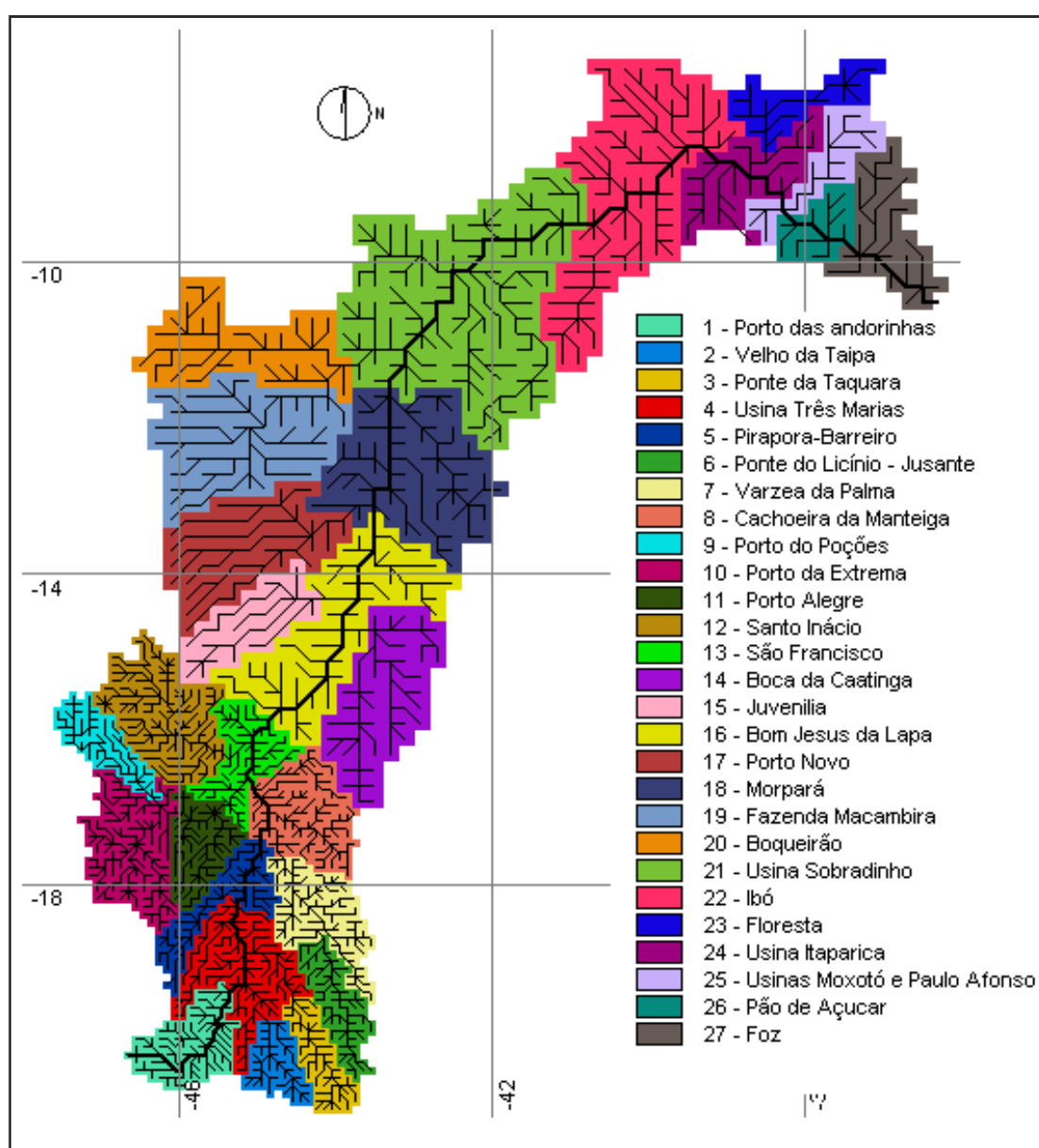


Figura 2. Bacia hidrográfica do rio São Francisco dividida em células regulares para aplicação do modelo MGB-IPH (Silva, 2005).

5 – RESULTADOS

5.1 - Verificação dos cenários do Eta

Com objetivo de facilitar as análises, pra esse trabalho foram escolhidos analisar apenas dois dos quatro cenários do modelo Eta. Os cenários escolhido foram os extremos, ou seja, o cenário mais otimista e o mais pessimista, que correspondem os cenários B2 e A2 do RECE (2000), respectivamente.

Como a grade do modelo Eta, resolução menor do que a utilizada no modelo MGB-IPH, foi feita uma interpolação da precipitação do Modelo Eta na bacia, ou seja. Essa interpolação foi feita por uma rotina computacional específica, que calcula a precipitação média diária pelo método do inverso da distância ao quadrado (Collischonn, 2001), para todas as 2502 células do modelo MGB na bacia do São Francisco. Como resultado a rotina fornece um arquivo binário contendo todos os dados de chuva para todos os dias do período para cada célula da bacia.

Para uma primeira análise foram feitos gráficos comparando a precipitação média mensal gerada pelo Eta, para os períodos do passado de 1960 a 1990, com a precipitação média mensal observada no mesmo período, para verificar se as predições dos cenários do modelo Eta têm uma boa representação da sazonalidade observada. Conforme mostrado na Figura 3, onde se verifica que o Eta representa muito bem a sazonalidade da precipitação na bacia, para os dois cenários considerados.

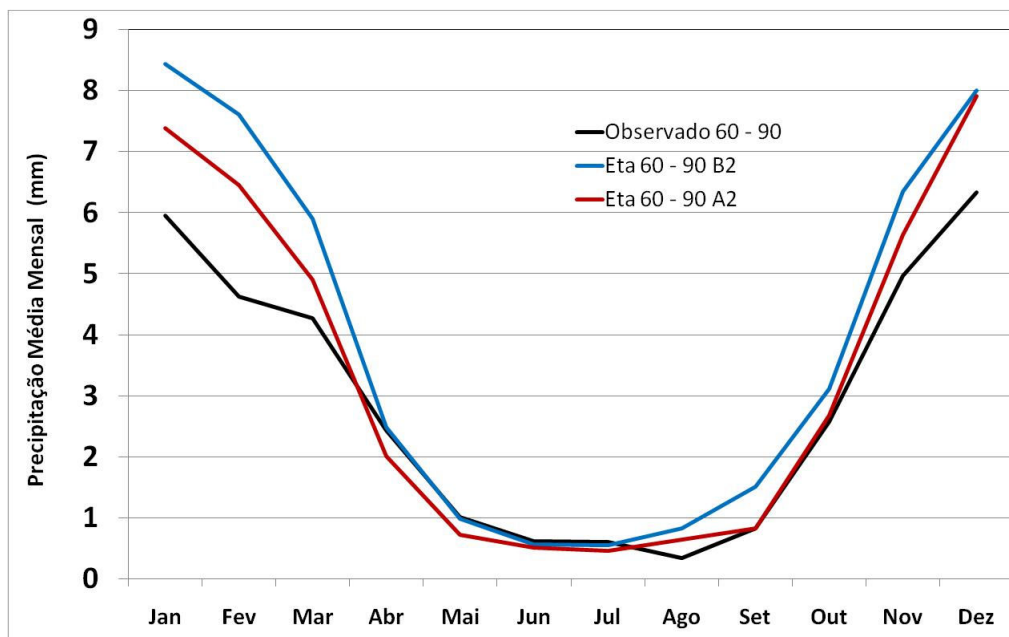


Figura 3. Precipitação média mensal, da bacia do Rio São Francisco, gerada pelos cenários do modelo Eta para o período de 1960 a 1990.

5.2 - Análise das curvas de probabilidade

Depois de verificar que, de modo geral, a sazonalidade da precipitação do Eta é a mesma que a precipitação observada. O próximo passo é construir curvas de probabilidade da precipitação para então verificar quais seriam as diferenças da precipitação futura e a do período passado. As curvas foram feitas para a precipitação média mensal para cada um dos 12 meses do ano, ou seja, uma curva para todos os janeiros, todos os fevereiros, etc.

Nas análises das diferenças da precipitação entre o período de 60-90 e para os períodos do futuro, foram feitos comparações do Eta passado com Eta futuro, ou seja, comparou-se a precipitação do Eta do período de 1960 a 1990 com a precipitação do Eta dos demais períodos futuros. Para verificar se em uma dada probabilidade de ocorrência a precipitação terá um aumento ou declínio no período futuro. Tudo isso, considerando um mesmo cenário. A Figura 4 ilustra essa comparação das precipitações, ocorridas sobre a sub-bacia São Francisco.

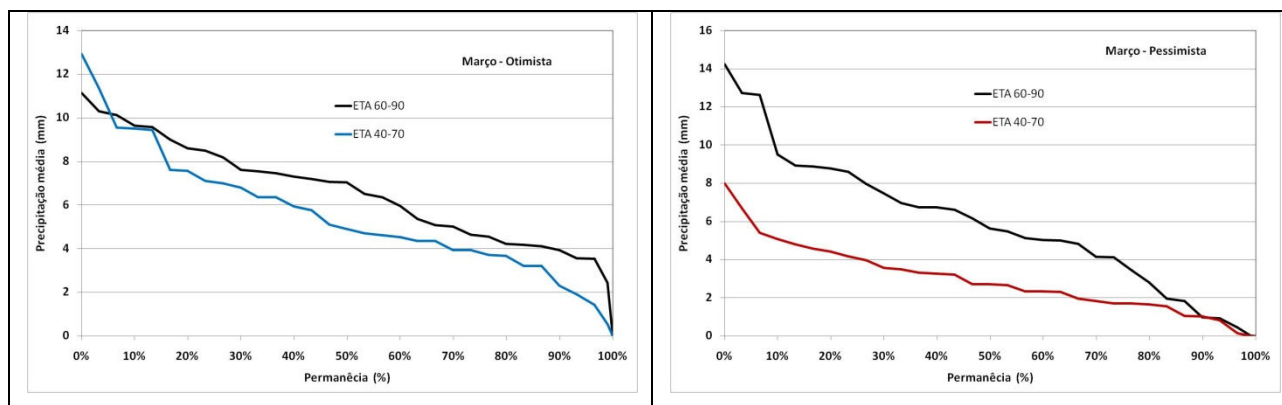


Figura 4. Comparação da permanência das precipitações médias do Eta, na sub-bacia São Francisco, para o mes de março entre os periodos de 1960-1990 e 2040-2070, para ambos os cenários.

Percebe-se que para um mesmo mês, a precipitação no período futuro se alterou bastante em relação ao período passado, mesmo para o cenário mais otimista. A precipitação apresenta uma redução na média mensal em torno de 20 a 25% para o cenário A2 e de uma redução de 10 a 15% para o cenário B2, até o final do século XXI. Indicando uma possível redução da vazão também, já que a precipitação é a principal fonte de entrada no ciclo hidrológico da bacia.

5.3 - Perturbando a precipitação observada

A partir das diferenças das precipitações entre os períodos passado e futuro, mostradas na Figura 4, fez-se uma perturbação da série observada, ou seja, as diferenças foram aplicadas na precipitação observada em termos porcentuais. Para verificar como se comportaria a série observada nas condições climáticas do futuro. A Figura 5 ilustra essa perturbação da precipitação, ocorrida na sub-bacia São Francisco.

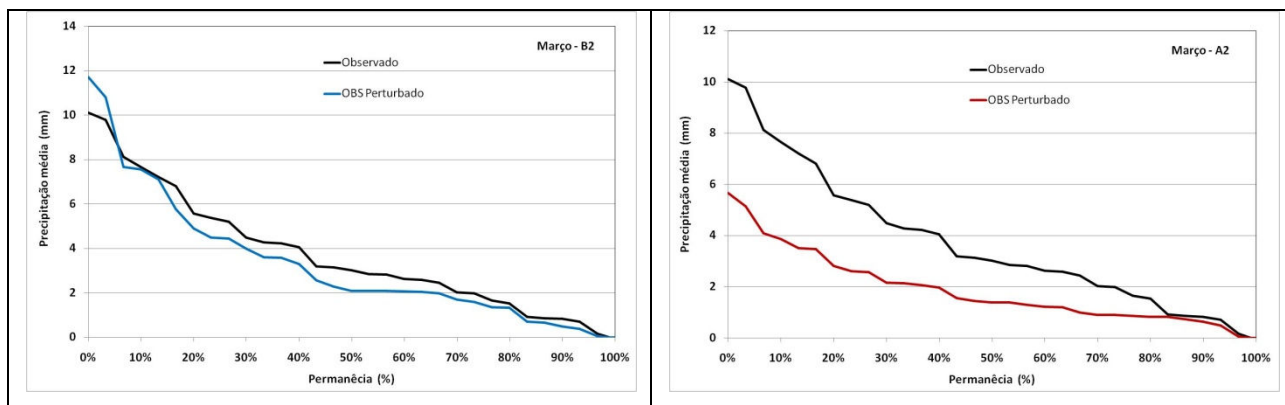


Figura 5. Comparação entre a precipitação média observada com a precipitação média perturbada, para o mês de março na sub-bacia São Francisco.

Esse procedimento foi repetido para todas as sub-bacias e para todos os períodos, cada um com suas curvas e faixas de perturbação. Ao corrigir todas as precipitações mensais, o próximo passo foi expandir essa precipitação média mensal, para uma série diária, de forma que a média da série fosse igual à da média perturbada. Tendo como base a série diária observada, aplicando a mesma metodologia para a série diária, sendo feita para cada sub-bacia e posteriormente para cada célula do modelo hidrológico.

5.4 – Geração dos cenários de vazões

A partir da série observada diária, com as perturbações futuras simuladas pelo Eta, foi possível inserir os dados no modelo MGB. Finalmente, possibilitando a simulação da vazão da bacia do Rio São Francisco, com as variações da climatologia futura. A Figura 6 ilustra a forma que a vazão futura simulada na Foz do Rio São Francisco se comporta em relação à vazão observada, do período de 1960 a 1990.

Foram analisados os períodos de 2010 a 2040 (a) e (b), de 2040 a 2070 (c) e (d) e por último o período de 2070 a 2099 (e) e (f). Para facilitar a visualização do comportamento das vazões, foram feitos gráficos com as curvas de permanência (b), (d), e (f).

Ao observar a Figura 6, percebe-se que as vazões estão diminuindo em relação ao observado, porém essa diminuição é mais expressiva no cenário mais pessimista (A2), se compara a previsão para os últimos 30 anos do século essa redução é em média de 35%. Já para o cenário B2 as previsões mostram que a vazão na média se manterá praticamente a mesma, porém se observarmos a curva de permanência, nota-se que há uma disparidade nas vazões extremas (máximas e mínimas). Para esse cenário a diminuição da vazão é mais visível somente no fim do século, que é um período mais preocupante, que em média ocorrerá uma redução de 12% a 17% na vazão média.

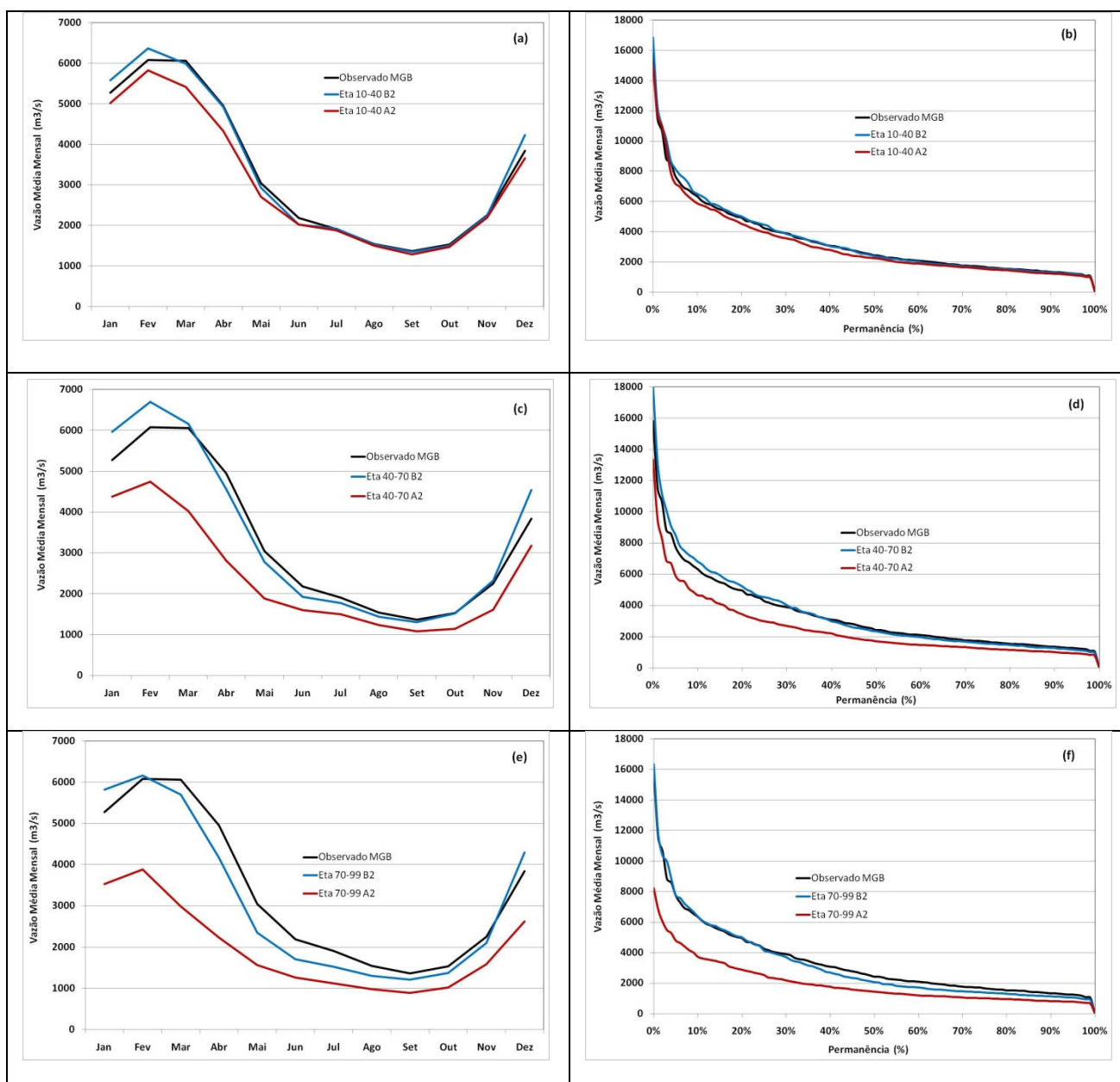


Figura 6. Vazões médias mensais na Foz do rio São Francisco, considerando todo o período futuro simulado pelo Eta. 2010 a 2040 (a) e (b), 2040 a 2070 (c) e (d), finalmente 2070 a 2099 (e) e (f).

Nas tabelas 1 a 3 apresentam, em sua grande maioria, os percentuais das reduções nas vazões médias mensais, em distintas sub-bacias nos dois cenários futuros, se comparados com as vazões observadas. São apresentados as comparações das curvas de permanência para os valores de vazão para os percentuais de 10, 50 e 90%, respectivamente, que são valores largamente utilizados em análises hidrológicas.

No caso do percentil de 10%, Tabela 1, os valores do cenário B2 apresentam diferenças para cada sub-bacia, mas em média, para o período de 2010 a 2040 as vazões de cheia apresentam um ligeiro aumento, que se acentua no período de 2040 a 2070 e torna a se declinar no final, período de

2070 a 2099. Para o cenário A2, as vazões apresentam um declínio, que se acentuam mais a cada período, com o auge no final do século.

Tabela 1. Variação percentual da vazão média mensal, no percentil 10%, em diferentes sub-bacias do Rio São Francisco.

Sub-bacia	B2			A2		
	2010-2040	2040-2070	2070-2099	2010-2040	2040-2070	2070-2099
Três Marias	2.00	1.88	7.01	0.47	-8.61	-21.00
São Francisco	-3.25	-1.94	-3.83	0.75	-15.33	-32.12
Sobradinho	-0.89	-2.26	-5.70	-5.25	-22.94	-37.50
Itaparica	2.62	5.84	0.79	-5.12	-25.24	-39.12
Paulo Afonso	2.64	7.86	1.35	-5.49	-25.72	-39.55
Foz	2.59	7.74	0.72	-7.29	-26.48	-41.03

No caso do percentil de 50%, na Tabela 2, no cenário B2, diferente dos valores apresentados na Tabela 1, para esse percentil as vazões apresentam um declínio no período de 2010 a 2040 e que se acentuam ligeiramente para o período seguinte (2040 a 2070), que por sua vez no período de 2070 a 2099 a vazão apresenta um declínio maior se comparado com os períodos passados. Para o cenário A2, as vazões apresentam a mesma tendência observada para o percentil de 10%, ou seja, um declínio, que se acentuam mais a cada período, com o auge no final do século.

Tabela 2. Variação percentual da vazão média mensal, no percentil 50%, em diferentes sub-bacias do Rio São Francisco.

Sub-bacia	B2			A2		
	2010-2040	2040-2070	2070-2099	2010-2040	2040-2070	2070-2099
Três Marias	8.61	10.24	12.16	2.72	-12.57	-22.99
São Francisco	0.95	-4.52	-2.64	-4.18	-25.48	-32.38
Sobradinho	-1.74	-3.11	-9.70	-5.44	-27.38	-36.33
Itaparica	-2.37	-3.48	-11.64	-6.76	-29.37	-38.15
Paulo Afonso	-2.53	-3.06	-11.80	-7.20	-28.86	-38.19
Foz	-1.86	-3.43	-14.87	-7.18	-29.90	-40.60

No caso do percentil de 90%, na Tabela 3, no cenário B2, a análise é análoga ao da Tabela 2, pois para esse percentil as vazões apresentam um declínio no período de 2010 a 2040 e que se acentuam ligeiramente para o período seguinte (2040 a 2070), que por sua vez no período de 2070 a 2099 a vazão apresenta um declínio maior se comparado com os períodos passados. O cenário A2 é mais constante nas suas previsões, pois as vazões de 90% apresentam a mesma tendência observada

para as tabelas anteriores, ou seja, um declínio, que se acentuam mais a cada período, com o auge no final do século.

Tabela 3. Variação percentual da vazão média mensal, no percentil 90%, em diferentes sub-bacias do Rio São Francisco.

Sub-bacia	B2			A2		
	2010-2040	2040-2070	2070-2099	2010-2040	2040-2070	2070-2099
Três Marias	2.05	-0.71	2.32	-4.98	-16.23	-25.91
São Francisco	-1.20	-2.66	-6.17	-7.20	-19.51	-31.80
Sobradinho	-3.30	-4.09	-11.83	-8.90	-23.59	-34.71
Itaparica	-2.12	-4.57	-12.63	-8.68	-24.69	-36.25
Paulo Afonso	-2.30	-4.56	-13.16	-8.62	-24.03	-36.43
Foz	-3.15	-6.41	-15.56	-9.17	-25.42	-38.44

6 – CONCLUSÕES

As mudanças climáticas acarretadas pelo homem não só são de enorme importância, mas também de tremenda complexidade. A teoria básica sobre como a sociedade está aquecendo o ambiente por meio da queima de combustíveis fósseis, foi delineada há mais de trinta anos. Mas os modelos teóricos do ambiente terrestre existem são relativamente recentes e permanecem imperfeitos.

As previsões climáticas em sua grande maioria são muito preocupantes, pois tudo indica que com o aumento do aquecimento global, as precipitações em certas regiões, como no caso da bacia do Rio São Francisco, irão diminuir, bem como sua vazão. Causando grandes prejuízos a sociedade, como doenças, falta de água e alimentos e prejudicando o setor hidroelétrico, que atualmente é a base do nosso sistema elétrico.

Os resultados apresentados são preliminares e ainda serão realizadas análises complementares e também serão consideradas alterações em outras variáveis, como a temperatura por exemplo. Porém os resultados já obtidos são preocupantes, pois mesmo para um cenário otimista (B2) o modelo Eta prevê uma redução nas precipitações (10 a 15%), no que acarreta numa redução das vazões médias, cerca de 12 a 17%. Os valores de redução são ainda maiores para o cenário pessimista (A2) de 20 a 25% na precipitação e de 35% de redução nas vazões médias da bacia no final do século.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CPTEC/INPE pela disponibilização dos dados dos cenários climáticos do modelo Eta e ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa para o primeiro autor, dentro do projeto INCT para Mudanças Climáticas.

BIBLIOGRAFIA

ALLEY, R. *et al.* (2007). Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima: Sumário para os Formuladores de Políticas. 25 p.

BARROS, V.; CLARKE, R. T.; SILVA DIAS, P. L. (2006). “*El cambio climático en la cuenca del Plata*”. CIMA CONICET. Buenos Aires. pp. 81-92.

BATES, B. C., KUNDZEWICZ, Z. W., WU, S., AND PALUTIKOF, J. P. (2008). Climate Change and Water, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L.; KAY G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. (2011). “*Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs*”. Climate Dynamics. 2011. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.

COLLISCHONN, W. (2001). Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. UFRGS, IPH, Porto Alegre. 194 p.

COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. (2001). “*Simulação hidrológica de grandes bacias*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (2001): Climate Change 2001: the scientific basis IPCC WG I, TAR. Cambridge Univ. Press, 881 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis- Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report. Brussels, February. pp. 93 - 128.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (2011). www.ipcc.ch, consultado em 14/2/2011.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY G.; ALVES, L.; PESQUERO, J. F. SOARES, W.R.; SANTOS, D.C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. (2011). *“Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins”*. Climate Dynamics. 2011. Submetido.

NÓBREGA, M. T.; COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M.; PAZ, A. R. (2010). *“Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil”*. Hydrol. Earth Syst. Sci, 15, pp. 585 – 595.

OPERDOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS (2010). www.ons.org.br, consultado em 14/12/2010

PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; SCHETTINI, E. B. C. (2010) *“Climate change impacts on river Quarai flow”*, in: Climate and Water Resources Modelling, edited by: Fung, C. F., Lopez, A., and New, M., Blackwell Publishing. V., p. -.

QUARTO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – QRA-IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report, Valencia, November. pp. 23-74.

RELATORIO ESPECIAL SOBRE CENÁRIOS DE EMISSÕES – RECE (2000). Working Group III Contribution to the Third Assessment Report, IPCC. 27 p.

RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.; LINHARES, C. (2010). *“Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná Basin”*. Hydrological Processes, Vol. 24, 1254–1269 (2010).

SCHAEFFER, R., SZKLO, A. S., LUCENA, A. F. P., SOUZA, R. P., BORBA, B. S. M. C., COSTA, I. V. L., PEREIRA, A., AND CUNHA, S. H. F. (2008) Climate change: energy security, Final Report, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 67 p.

SILVA, B. C. (2005). Previsão Hidroclimática de Vazão para a Bacia do Rio São Francisco. UFRGS, IPH, Porto Alegre. pp. 72 - 87.

TERCEIRO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – TRA-IPCC (2001). Climate Change 2001: Synthesis Report, Cambridge Univ. Press. pp. 1 – 34.

TOMASELLA, J., RODRIGUEZ, D. A., CUARTAS, L. A., FERREIRA, M., FERREIRA, J. C., AND MARENGO, J.B. (2008). Study of the climate change impacts on surface water resources and groundwater levels in the Tocantins river basin. CCST/INPE, 71 p.

TUCCI, C. E. M.; DAMIANI, A. (1994). “*Potential impacts of climate change on the Uruguay river*”, Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos, ABRH, 12, 2.

TUCCI, C. E. M., CLARKE, R. T., COLLISCHONN, W., DIAS, P. L. S., AND SAMPAIO, G. (2003). “*Long term flow forecast based on climate and hydrological modeling: Uruguay River basin*”. *Water Resources Research*. v. 39, n. 7, p. 1 – 2.