



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDOS DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS NA BACIA DO RIO MADEIRA.

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPQ/INPE)

Anderson Sene Gonçalves (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: anderson.goncalves@inpe.br

Dr. Javier Tomasella (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: javier.tomasella@inpe.br

COLABORADOR

Daniel Andres Rodriguez (CCST/INPE)

JULHO DE 2011

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Anderson Sene Gonçalves**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Estudos dos efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Madeira.**

Tipo de bolsa: **Bolsa PIBIC-IC**

Período: **Agosto/2010 – Agosto/ 2011**

ESTUDOS DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS NA BACIA DO RIO MADEIRA.

Anderson Sene Gonçalves¹ (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)
Javier Tomasella² (CCST/INPE, Orientador)
Daniel Andres Rodriguez³ (CCST/INPE, Colaborador)

RESUMO

Cada vez mais, as pesquisas realizadas na Amazônia têm demonstrado a importância dessa região para o equilíbrio do meio ambiente na América do Sul. Nessa linha, este trabalho tem por objetivo o estudo dos efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Madeira. Para isso, foi utilizado o *downscaling* dinâmico de cenários de mudanças climáticas desenvolvidos no CPTEC-INPE, juntamente com cenários futuros de uso do solo, para obter cenários hidrológicos na bacia com o uso do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias do INPE. Realizou-se a correção do *bias* nos campos de precipitação simulados, utilizando informações pluviométricas existentes no CPTEC-INPE, previamente consistidas. Efetuaram-se simulações do tempo presente e projeções do futuro, com cada um dos 4 cenários regionais do CPTEC-INPE. Com a utilização do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MGB-INPE), foram realizadas as projeções hidrológicas nos períodos de 1961 a 1990 e 2011 a 2099, comparando-as a partir de seus valores de Precipitação, Evapotranspiração e Vazão. Assim, pode-se identificar as alterações nas sazonalidades e ocorrências de valores extremos. Fez-se uso das curvas de permanência, para relacionar a Precipitação e Vazão com a probabilidade de ocorrerem ao longo do tempo. Ainda com esses dados, trabalhou-se com a climatologia de cada sub-bacia (11 no total) do Rio Madeira. Nas análises elaboradas, pode-se perceber o aumento dos valores de Evapotranspiração e, em geral, a diminuição da Precipitação e da Vazão nos cenários futuros.

¹ Aluno do Curso de Tecnologia da Informação - **E-mail: anderson.goncalves@inpe.br**

² Pesquisador do Centro de Ciência do Sistema Terra - **E-mail: javier.tomasella@inpe.br**

³ Pesquisador do Centro de Ciência do Sistema Terra - **E-mail: daniel.andres@inpe.br**

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. | OBJETIVO | 3 |
| 1.1.1. | OBJETIVO GERAL | 3 |
| 1.1.2. | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 2. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 4 |
| 2.1. | BACIA DO RIO MADEIRA | 4 |
| 2.2. | CICLO HIDROLÓGICO | 5 |
| 2.3. | MODELO HIDROLÓGICO | 6 |
| 2.4. | EFEITOS DAS MUDANÇAS DA COBERTURA DA TERRA E CAMBIO CLIMÁTICO | 7 |
| 2.5. | DOWNSCALING DINÂMICO DE CENARIOS DE MUDANÇAS CLIMATICAS DO CPTEC-INPE | 9 |
| 3. | RESULTADOS E ANÁLISES | 11 |
| 3.1 | Correção de erros nos campos de precipitação observados | 11 |
| 3.2 | Correção de erros sistemáticos nos campos de precipitação simulados | 13 |
| 3.3 | Simulações hidrológicas do tempo presente (1961-1990) | 15 |
| 3.3.1 | Calibração do modelo | 15 |
| 3.3.2 | Comparações das simulações hidrológicas com observações e com saídas do modelo Eta | 17 |
| 3.4 | Simulações hidrológicas do tempo futuro (2011-2099) | 23 |
| 4. | CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS | 39 |
| 5. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Busca das estações utilizadas na interpolação para regiões com valores extremos | 12 |
| Tabela 2 - Postos fluviométricos utilizados e avaliações estatísticas da calibração do MGB-INPE..... | 16 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Madeira | 4 |
| Figura 2 - Rio Madeira e seus principais rios formadores..... | 4 |
| Figura 3 - Representação do Ciclo Hidrológico | 6 |
| Figura 4 - Comparação da Precipitação entre o Presente, Futuro e HADCM3..... | 10 |
| Figura 5 - Mapa de chuva acumulada anual antes da retirada das estações com valores extremos | 11 |
| Figura 6 - Mapa de chuva acumulada anual após a retirada das estações com valores extremos | 13 |
| Figura 7 - Valor médio anual de precipitação do Presente na Bacia do Rio Madeira, obtido dos dados previstos pelo modelo Eta, dados observados, diferença entre as previsões do modelo atmosférico e as observações. | 14 |
| Figura 8 - Curvas de distribuição de probabilidade de precipitação, cenário atual..... | 15 |
| Figura 9 - Curvas de distribuição de probabilidade de precipitação, cenários futuros.. | 15 |
| Figura 10 - Comparação entre a climatologia anual do Presente dos dados observados e as chuvas geradas pelo modelo Eta após correção dos erros sistemáticos. | 15 |
| Figura 11 - Resultados da calibração do MGB-INPE utilizando dados observados..... | 17 |
| Figura 12 - Análises de Precipitação, Evapotranspiração e Vazão entre o Passado e Presente..... | 19 |
| Figura 13 - Comparação das climatologias com e sem uso de solo | 21 |
| Figura 14 - Comparações da Precipitação do tempo Futuro | 24 |
| Figura 15 - Comparações da Evapotranspiração do tempo Futuro | 26 |
| Figura 16 - Comparações da Vazão do tempo Futuro..... | 27 |
| Figura 17 - Representação das Médias das Vazões do Passado e Presente..... | 29 |
| Figura 18 - Representação de 50% das Vazões do Passado e Presente..... | 30 |
| Figura 19 - Representação de 10% das Vazões do Passado e Presente..... | 31 |
| Figura 20 - Representação de 90% das Vazões do Passado e Presente..... | 31 |
| Figura 21 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Máxima de Evapotranspiração | 33 |
| Figura 22 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Mínima de Evapotranspiração | 34 |
| Figura 23 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Máxima de Precipitação | 35 |
| Figura 24 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Mínima de Precipitação | 36 |
| Figura 25 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Máxima de Vazão .. | 37 |
| Figura 26 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Mínima de Vazão ... | 38 |

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANA - Agência Nacional de Águas
- CPC - Centro de Previsão Climática (*Climate Prediction Center*)
- CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- HadCM3 - *Hadley Center Coupled Model*
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MGB - Modelo de Grandes Bacias
- NOAA - Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)
- NCEP - Centros Nacionais de Previsão Ambiental (*National Centers for Environmental Prediction*)
- SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

1. INTRODUÇÃO

Desde a primeira metade do século XIX, têm-se feito estudos hidrológicos na bacia do rio Amazonas para se tentar compreender, quanti e qualitativamente, os processos envolvidos no ciclo hidrológico. Uma forma de se obter a variação temporal e espacial dos processos hidrológicos em grandes bacias é por meio do uso de modelos matemáticos, que utilizam equações físicas e empíricas para a representação desses processos. No caso da Hidrologia, o modelo matemático utiliza informações de precipitação, variáveis climatológicas, vazão, cobertura vegetal e tipo de solo para a representação das fases que compõem o ciclo hidrológico.

A bacia amazônica, em virtude de suas dimensões e características próprias, necessita de maior atenção em alguns aspectos da modelagem matemática. Um aspecto importante é o conjunto de elementos próprios de grandes bacias e que devem ser representados no modelo hidrológico. Alguns desses elementos são a variabilidade espacial das características físicas da bacia e dos parâmetros do modelo, o balanço de água no solo e a interceptação da precipitação. Os dois últimos elementos possuem importância maior em regiões florestadas como a Amazônia.

Cada vez mais, as pesquisas realizadas na Amazônia têm demonstrado a importância dessa região para o equilíbrio do meio ambiente na América do Sul. Particularmente, no que diz respeito aos seus recursos hídricos, os rios e a hidrologia da Amazônia são responsáveis por processos de interesse de várias pesquisas desenvolvidas por diversos grupos nacionais e internacionais.

Visto que nas últimas décadas, a região Amazônica vem sofrendo muitas influências e modificações em seu ecossistema, como o aumento da temperatura global, da mesma forma que a tendência de aumento de temperatura à superfície causada pelo desmatamento (NOBRE, 2001) e as queimadas; mudanças no uso da terra e nos regimes de chuva, ocasionando eventos climáticos extremos, como as secas de 2005 e 2010, consideradas as piores dos últimos cem anos (MARENGO *et al.*, 2008; 2010), além do aumento da suscetibilidade dos ecossistemas amazônicos ao fogo causando a redução das espécies menos tolerantes à seca, podendo até induzir uma “savanização” de partes

da Amazônia (NOBRE, 2007); sendo esses acontecimentos responsáveis pelas alterações nos recursos hídricos.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho de pesquisa tem por objetivo estudar os efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Madeira.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os processos hidrológicos em macro-bacias na região Amazônica, em particular na bacia do Rio Madeira;
- Aplicar um modelo hidrológico de grande escala na bacia do Rio Madeira, para uso em estudos de mudanças da cobertura da Terra e cambio climático;
- Mensurar os efeitos das mudanças climáticas e no uso e cobertura da terra na resposta hidrológica da bacia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. BACIA DO RIO MADEIRA

A bacia do rio Madeira se estende por Bolívia (51%), Brasil (42%) e Peru (7%) e possui superfície de 1.420.000 km². A figura 1 mostra a localização da bacia do rio Madeira dentro da bacia Amazônica. A figura 2 demonstra, em detalhes, a bacia do Madeira juntamente com os principais rios formadores da bacia. O Rio Madeira recebe esse nome após o encontro dos rios Beni e Mamoré na fronteira entre Brasil e Bolívia.

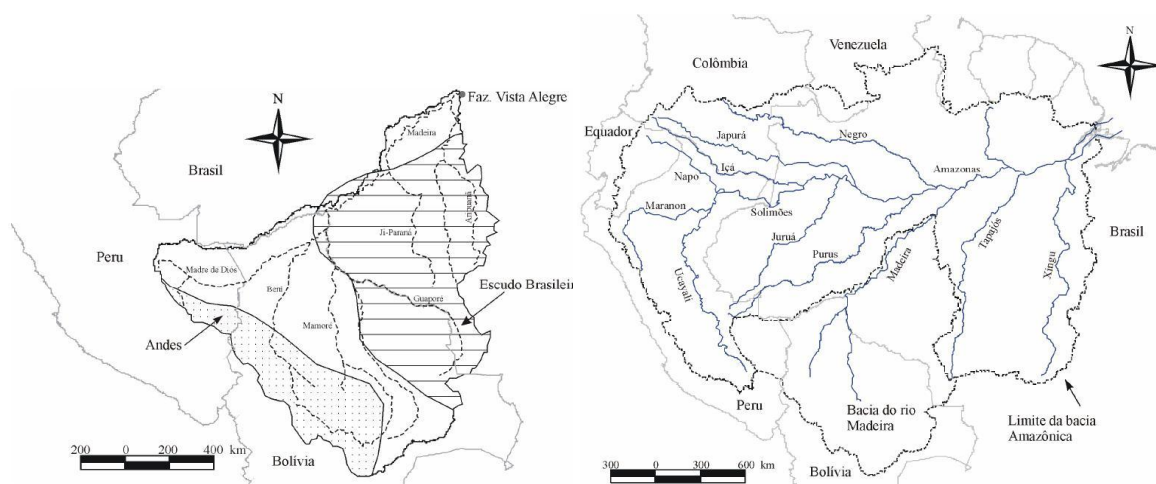


Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Madeira **Figura 2** - Rio Madeira e seus principais rios formadores

A região do Madeira apresenta clima e relevo variados com elevadas altitudes na região Andina (Bolívia) aproximando-se de 6400 metros, até profundos vales atingindo a planície amazônica com quase 500 metros; além das zonas de instabilidade climática, influenciados por fenômenos de circulação atmosférica e chuvas intensas determinando um alto índice de vazão, e umidade da esfera gasosa que envolve a terra.

Devido a sua característica estrutural, verificam-se grandes altitudes na parte montante da bacia, vastas zonas de inundação na planície e a presença de

cachoeiras no Escudo Brasileiro, principalmente próximo a Porto Velho (RIBEIRO, 2006), além das zonas de instabilidade climática, influenciados por fenômenos de circulação atmosférica e chuvas intensas determinando um alto índice de vazão, e umidade da esfera gasosa que envolve a terra. As condições climáticas da região são características do clima equatorial (quente e úmido).

2.2. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é definido como um fenômeno de circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre. Rutkowski (1999) afirma que “a capacidade de cada localidade de sustentar as atividades antrópicas que são dependentes hídricas, é determinada pelo comportamento local do ciclo hidrológico”.

O ciclo hidrológico é o começo fundamental de tudo o que se refere à água no planeta (TUCCI, 2005), sendo este o modelo pelo qual se representam a interdependência e o movimento ininterrupto da água nas fases sólida, líquida e gasosa. Evidentemente, a fase de maior interesse é a líquida, essencial para o uso e para satisfazer as necessidades do homem e de todos os outros organismos, animais e vegetais (TUNDISI, 2003; SPEIDEL et Al., 1988).

Embora, o movimento cíclico da água não tenha princípio nem fim, costuma-se iniciar seu estudo descritivo pela evaporação da água dos oceanos e da superfície continental, onde se torna parte da atmosfera. A umidade atmosférica precipita-se tanto nos oceanos como nos continentes. Nestes, a água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, pode escoar pela superfície dos terrenos, cair diretamente sobre os cursos d'água ou oceano, ou pode infiltrar-se no solo, como pode ser visualizado na figura 3. Assim, o ciclo da água envolve vários e complexos processos hidrológicos.

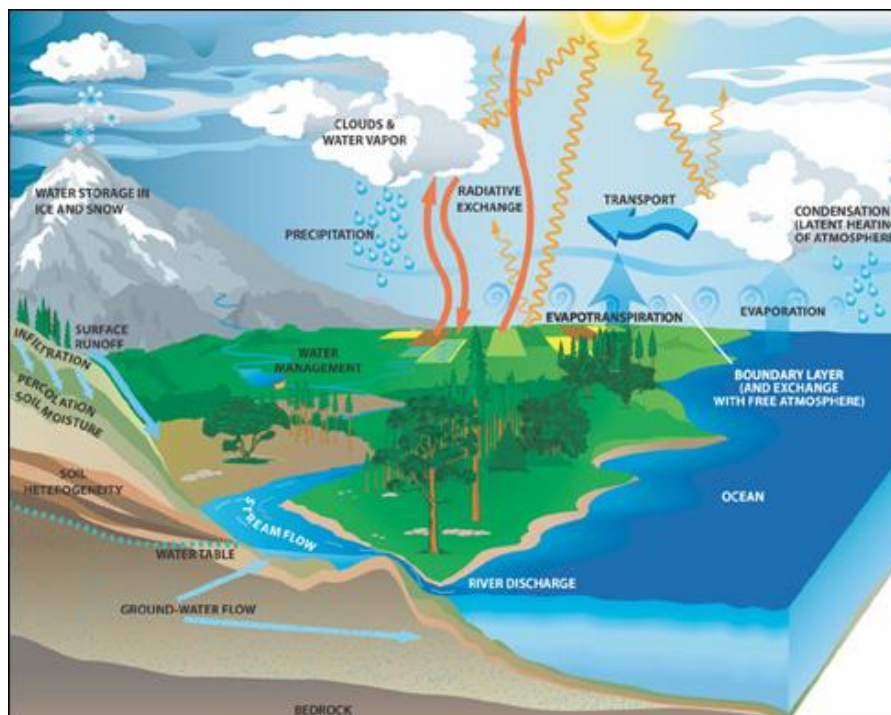


Figura 3 - Representação do Ciclo Hidrológico

Fonte: <http://science.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle/>

2.3. MODELO HIDROLÓGICO

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Há uma estreita relação entre a modelagem hidrológica, a biológica e a ecológica, pois o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime do fluxo de água pode afetar diversos habitats. Além disso, a hidrologia está estreitamente relacionada às condições climáticas e, portanto, modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam estar acoplados, sendo que, na prática, um estreito acoplamento torna-se bastante dificultado, uma vez que modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais muito maiores que as utilizadas na modelagem hidrológica (MAIDMENT, 1993). Em Recursos Hídricos existem três tipos principais de modelos matemáticos: Modelos de Decisão, Modelos de Otimização e Modelos de

Simulação – que está sendo utilizado nesse trabalho de pesquisa. Esse representa processos e permite antecipar as ocorrências e tomar decisões.

Nesse trabalho utilizou-se o Modelo de Grandes Bacias do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MGB-INPE), com o intuito de mensurar o impacto das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia do Rio Madeira. Para isso, para a entrada dos dados do modelo, são utilizados os cenários regionais de mudanças climáticas – os quais são elaborados com o modelo regional atmosférico Eta, o qual utiliza condições de contorno geradas pelo modelo global do *Hadley Center* (CHOU *et al.*, 2011). O Modelo Hidrológico é uma versão desenvolvida a partir do Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) (COLLISCHONN, 2007), que modificou as rotinas de estimativa de evaporação e de separação de fluxos (TOMASELLA *et al.*, em fase de elaboração). O modelo utiliza a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo Xinanjiang (ZHAO, 1992; ZHAO; LIU, 1995) combinada com os princípios utilizados no TOPMODEL (BEVEN; KIRKBY, 1979) para simular a resposta hidrológica. A resposta hidrológica é representada dentro de cada célula utilizando uma distribuição probabilística de reservatórios de diferentes capacidades. A posição do nível freático é calculada no modelo como uma proporção da quantidade d'água em excesso sobre a capacidade de campo em cada reservatório, seguindo a formulação do modelo DHSVM (WIGMOSTA *et al.*, 2002).

2.4. EFEITOS DAS MUDANÇAS DA COBERTURA DA TERRA E CAMBIO CLIMÁTICO

As mudanças no uso e cobertura da terra estão entre as mudanças ambientais globais mais significativas, com um ritmo e alcance geográfico das alterações humanas na superfície terrestre sem precedentes. Em particular, a magnitude e velocidade do desmatamento das florestas tropicais, nas últimas décadas, não têm paralelo na história recente (TURNER, 1998; LAMBIN *et al.*, 2001). Uma das grandes

questões que permanece em aberto, no entanto, diz respeito às causas e vetores dos processos de mudanças no uso e cobertura da terra e desmatamento nos trópicos. Nesse sentido, tem havido um enorme esforço de pesquisa para tentar identificar e explicar os fatores que causam o desmatamento, principalmente em regiões tropicais (GEIST e LAMBIN, 2001; 2002). Nos últimos anos, tem existido um crescente interesse na promoção de pesquisa interdisciplinar sobre as dimensões humanas das mudanças ambientais, com a integração de metodologias, bases de dados e grupos de pesquisa das ciências naturais e das ciências sociais (LIVERMAN *et al.*, 1998). As mudanças na superfície terrestre, como os processos de desmatamento, desertificação, expansão agropecuária e urbanização, têm sido um dos principais temas de pesquisa, na qual está ocorrendo esta integração, com a incorporação de análises de dados sócio-econômicos e demográficos à agenda de pesquisa sobre as mudanças no uso e cobertura da terra (Projeto LUCC - IGBP-IHDP *Land Use Cover Change Project*).

Segundo Nobre *et al.* (2007) as mudanças climáticas sobre o ecossistema Amazônia podem ser analisadas por diferentes perspectivas: variações climáticas decorrentes de causas ou fenômenos naturais, como por exemplo, o *El Niño* e *La Niña*; e, as mudanças climáticas por interferências e ações antrópicas, resultantes das alterações no uso do solo, ligadas diretamente ao desmatamento, as queimadas, a expansão da agricultura e pecuária, que por sua vez contribuem fortemente no aquecimento global devido às altas taxas de emissão de aerossóis. Estas mudanças representam um grande risco para o ciclo hidrológico na Amazônia, uma vez que o aumento de temperatura provocará uma maior evaporação e maior transpiração das plantas, o que levará a uma aceleração do ciclo hidrológico (NOBRE *apud* CASE, 2006), e conseqüentemente alterações nas características das estações secas e chuvosas, mitigando a incidência de eventos climáticos extremos.

2.5. DOWNSCALING DINÂMICO DE CENARIOS DE MUDANÇAS CLIMATICAS DO CPTEC-INPE

O modelo Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, e se tornou operacional no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) (MESINGER *et al.*, 1988; BLACK, 1994). Esse modelo foi instalado no CPTEC em 1996 com o fim de complementar a previsão numérica de tempo que vem sendo realizada desde o início de 1995 com o modelo de circulação geral atmosférica. O modelo Eta utiliza o esquema de Mellor-Yamada (1982) para a representação das trocas turbulentas na vertical, e a teoria de Monin-Obukhov na simulação das trocas de energia na camada limite superficial. O modelo de superfície utilizado é o NOAH, originalmente desenvolvido por Pan e Mahrt (1987), e modificado por Chen *et al.* (1997) e Ek *et al.*, (2003). A simulação de chuva convectiva segue o esquema de Betts-Miller-Janjic (JANJIC, 1994).

As simulações do modelo Eta para aex (Presente) e aey (Futuro), realizaram-se a partir dos quatros membros jb (*low*), jj (*medium*), jo (*high*), aenwh (*ctl*) do *Hadley Center Coupled Model*. De acordo com Chou *et al.* (2011), cada membro do modelo global tem uma sensibilidade climática diferente, e os quatro membros foram selecionados para ocupar o intervalo de incerteza englobado pelo ensemble, para que a partir desses fosse possível mensurar as incertezas a respeito de seus resultados. A figura 4 mostra as projeções da Precipitação diária em milímetros feitas para o Presente e Futuro, sendo a primeira linha as projeções dos meses Dezembro, Janeiro e Fevereiro e a segunda linha Junho, Julho e Agosto.

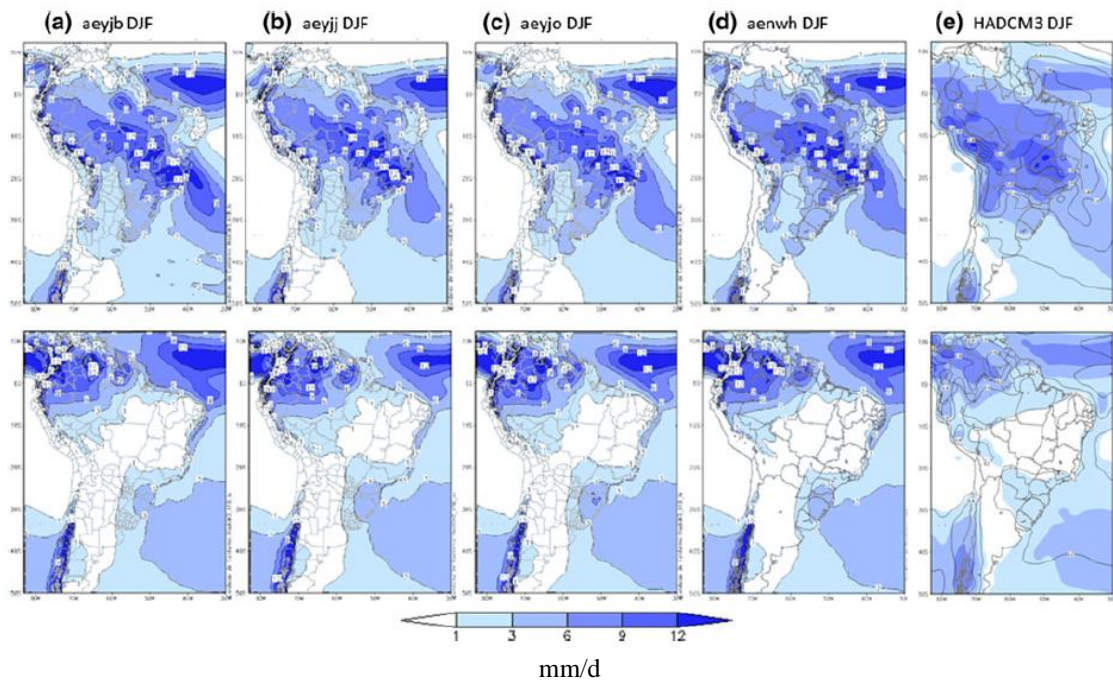


Figura 4 - Comparação da Precipitação entre o Presente, Futuro e HADCM3

Fonte: Chou *et al.* (2011)

3. RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Correção de erros nos campos de precipitação observados

Para a correção dos erros nos campos de precipitação observados, foram verificados os valores de precipitação acumulada anual acima de 2000 mm e abaixo de 250 mm em todo o Brasil, principalmente na região Nordeste. Na figura 5, pode-se visualizar o mapa antes de ser corrigido. Valores pontuais com desvios significativos em cada região foram identificados como problemáticos, procurando associá-los com estações pluviométricas nas redondezas. Nas series históricas das estações foram identificados e eliminados os períodos com erros no valor de precipitação observada.

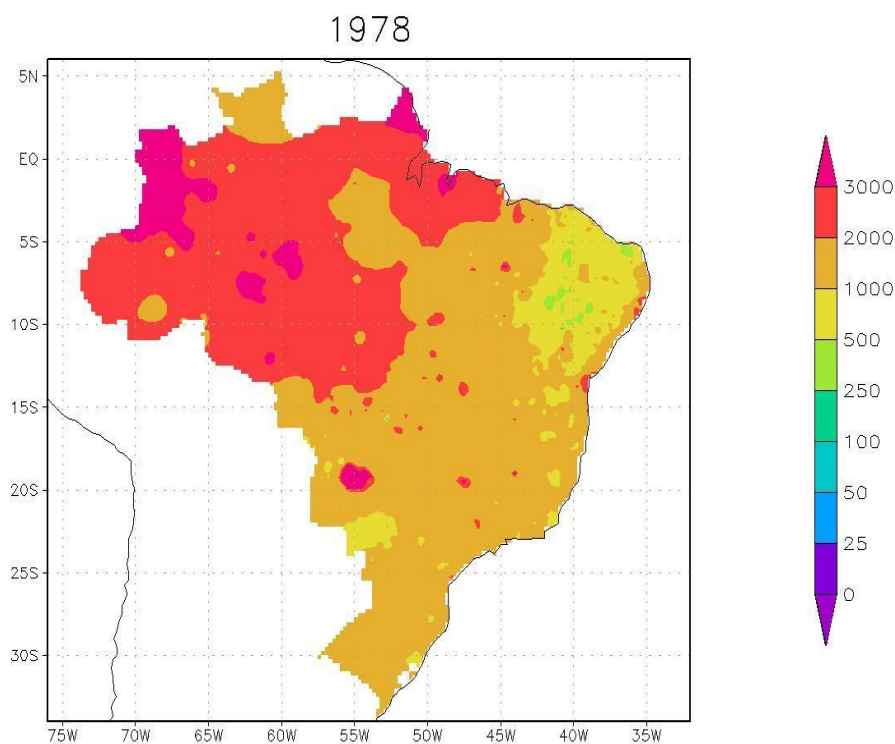


Figura 5 - Mapa de chuva acumulada anual antes da retirada das estações com valores extremos

A cada busca pelas estações com valores extremos, resultava-se em possíveis estações a serem corrigidas, como se pode visualizar na Tabela I.

Tabela 1 - Busca das estações utilizadas na interpolação para regiões com valores extremos

| CÓDIGO | LONGITUDE | LATITUDE | PREC. ACUMULADA |
|---------|-----------|----------|-----------------|
| 3790164 | -44,6833 | -9,5500 | 2666,7 |
| 4738045 | -40,7833 | -11,5167 | 3355,5 |
| 5711593 | -44,0500 | -15,7833 | 2682,4 |
| 1944020 | -44,0300 | -19,0100 | 3983,2 |
| 1947009 | -47,4500 | -19,5300 | 4700,3 |

Foram utilizadas fontes de informações pluviométricas anuais fornecidas pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e Agência Nacional de Águas (ANA), para verificação do valor anual esperado de precipitação acumulada para cada estação. Também se verificou a influência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, por meio dos índices fornecidos pelo *Climate Prediction Center (CPC) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Após as correções, o resultado alcançado está disposto na figura 6.

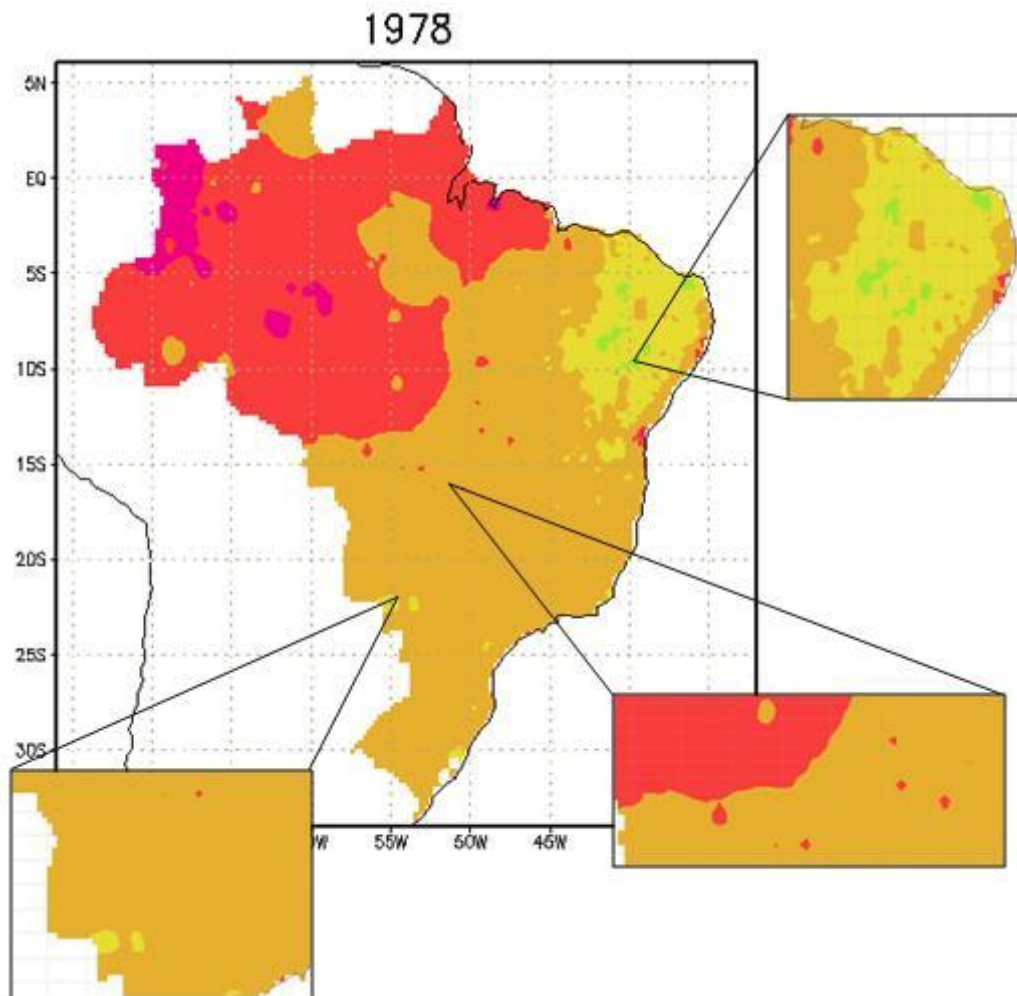


Figura 6 - Mapa de chuva acumulada anual após a retirada das estações com valores extremos

3.2 Correção de erros sistemáticos nos campos de precipitação simulados

Os dados de precipitação simulados no *downscaling* dinâmico com o modelo Eta foram corrigidos com o uso dos dados observados. Dessa forma, houve a geração dos campos de precipitação corrigidos para o Presente e o Futuro. A figura 7 exhibe o valor médio anual da precipitação simulada pelo modelo e a observada na bacia, assim como o erro nos volumes acumulados anuais.

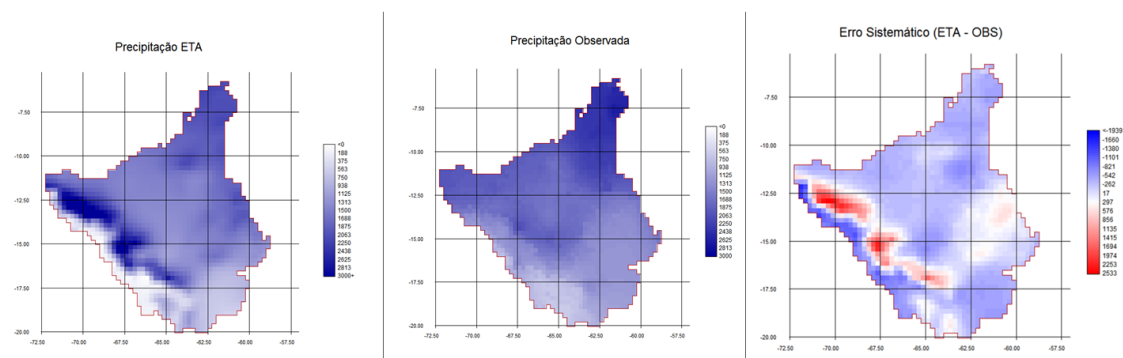


Figura 7 - Valor médio anual de precipitação do Presente na Bacia do Rio Madeira, obtido dos dados previstos pelo modelo Eta, dados observados, diferença entre as previsões do modelo atmosférico e as observações.

Fica evidente que, para utilizar a precipitação prevista pelo modelo Eta como entrada no modelo hidrológico é necessário minimizar os erros sistemáticos. Sendo assim, realizou-se a correção dos dados de Precipitação do Presente e Futuro seguindo a metodologia proposta por Siqueira *et al.* (2011). A técnica baseia-se na construção de duas curvas de distribuição probabilísticas para cada ponto da grade, a dos dados observados e a das estimativas de precipitação do modelo Eta-CPTEC. Para cada valor de chuva previsto é atribuída uma probabilidade, e o valor de chuva corrigido é obtido da curva de distribuição de probabilidade das precipitações observadas de mesma probabilidade associada (BURGUEÑO; LANA; SERRA, 2004; BURGUEÑO *et al.* 2010).

Já para os cenários futuros, adotou-se a distribuição probabilística teórica do tipo *Weibull* – a qual o método de correção está associado à diferença de precipitação entre a chuva observada e chuva prevista pelo modelo Eta-CPTEC. Em outras palavras, a precipitação corrigida será a chuva prevista pelo modelo somado a diferença entre os volumes de observado e estimado. Como pode ser visto na figura 8 - a curva de distribuição de probabilidade do Presente e figura 9 – a curva de distribuição de probabilidade do Futuro.

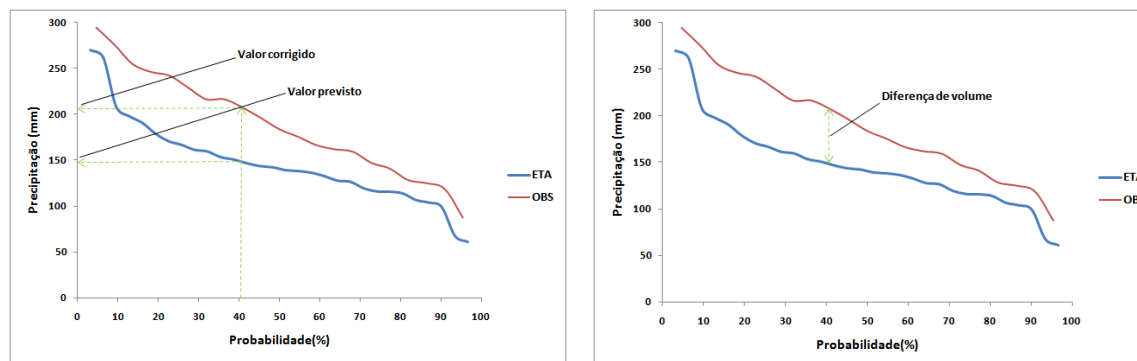


Figura 8 - Curvas de distribuição de probabilidade de precipitação, cenário atual. **Figura 9** - Curvas de distribuição de probabilidade de precipitação, cenários futuros.

Após as devidas correções, os resultados, dispostos na figura 10, apresentam uma importante redução nas diferenças entre volumes de precipitação simulados e observados na bacia.

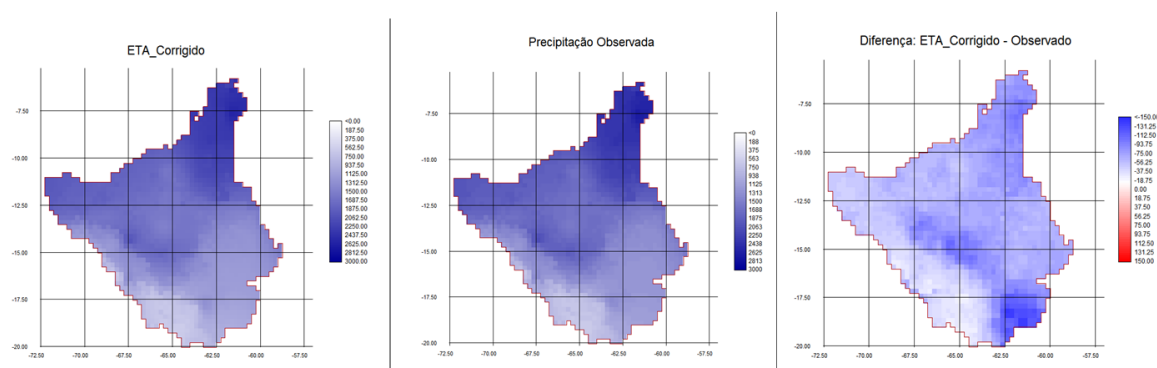


Figura 10 - Comparação entre a climatologia anual do Presente dos dados observados e as chuvas geradas pelo modelo Eta após correção dos erros sistemáticos.

3.3 Simulações hidrológicas do tempo presente (1961-1990)

3.3.1 Calibração do modelo

A calibração do modelo hidrológico realizou-se para alcançar valores de Vazão Simulada próximos à Vazão Observada. Para isso, a calibração foi obtida do trabalho realizado por Siqueira *et al.* (2011) sobre a bacia do Rio Madeira. A calibração

do MGB-INPE foi realizada de acordo com os postos fluviométricos selecionados para o estudo. As funções objetivo consideradas foram: o coeficiente de *Nash Sutcliffe* das vazões diárias (NSE), o coeficiente de correlação das vazões diárias (R^2), o coeficiente de correlação dos logaritmos das vazões diárias (R_{\log}) e o erro relativo de volume baseado na integração das vazões diárias (ΔV), como pode ser visto na Tabela 2 os pontos fluviométricos e na figura 11 a rede de drenagem discretizada em células de 0.25 (25 x 25 km) e os hidrogramas diários resultantes da calibração em algumas sub-bacias.

Tabela 2 - Postos fluviométricos utilizados e avaliações estatísticas da calibração do MGB-INPE

| SB | Estação | ID-ANA | Rio | Lat. | Lon. | Área drenagem (km ²) | NSE | R^2 | R_{\log} | ΔV |
|----|---------------|----------|---------------|--------|--------|----------------------------------|------|-------|------------|------------|
| 1 | Mato Grosso | 15120001 | Rio Guaporé | -15.01 | -59.96 | 23814 | 0.58 | 0.62 | 0.48 | 0.17 |
| 2 | Guajará-mirim | 15250000 | Rio Mamoré | -10.79 | -65.35 | 589497 | 0.66 | 0.78 | 0.78 | -0.20 |
| 3 | Abunã | 15320002 | Rio Madeira | -9.70 | -65.36 | 899761 | 0.74 | 0.88 | 0.89 | -0.21 |
| 4 | Porto Velho | 15400000 | Rio Madeira | -8.75 | -63.92 | 954285 | 0.55 | 0.89 | 0.89 | -0.23 |
| 5 | Santa Isabel | 15550000 | Rio Candeias | -8.80 | -63.71 | 12640 | 0.87 | 0.91 | 0.76 | 0.18 |
| 6 | Ariquemes | 15430000 | Rio Jamari | -9.93 | -63.07 | 7795 | 0.67 | 0.80 | 0.50 | 0.57 |
| 7 | São Carlos | 15440000 | Rio Jamari | -9.70 | -63.13 | 9884 | 0.76 | 0.84 | 0.62 | 0.35 |
| 8 | Ji-Paraná | 15560000 | Rio Ji-Paraná | -10.87 | -61.94 | 33012 | 0.55 | 0.69 | 0.64 | 0.58 |
| 9 | Tabajara | 15580000 | Rio Ji-Paraná | -8.93 | -62.06 | 60212 | 0.68 | 0.83 | 0.73 | 0.47 |
| 10 | Humaitá | 15630000 | Rio Madeira | -7.50 | -63.02 | 1066240 | 0.76 | 0.88 | 0.90 | -0.16 |
| 11 | Manicoré | 15700000 | Rio Madeira | -5.82 | -61.30 | 1157516 | 0.69 | 0.83 | 0.85 | -0.19 |

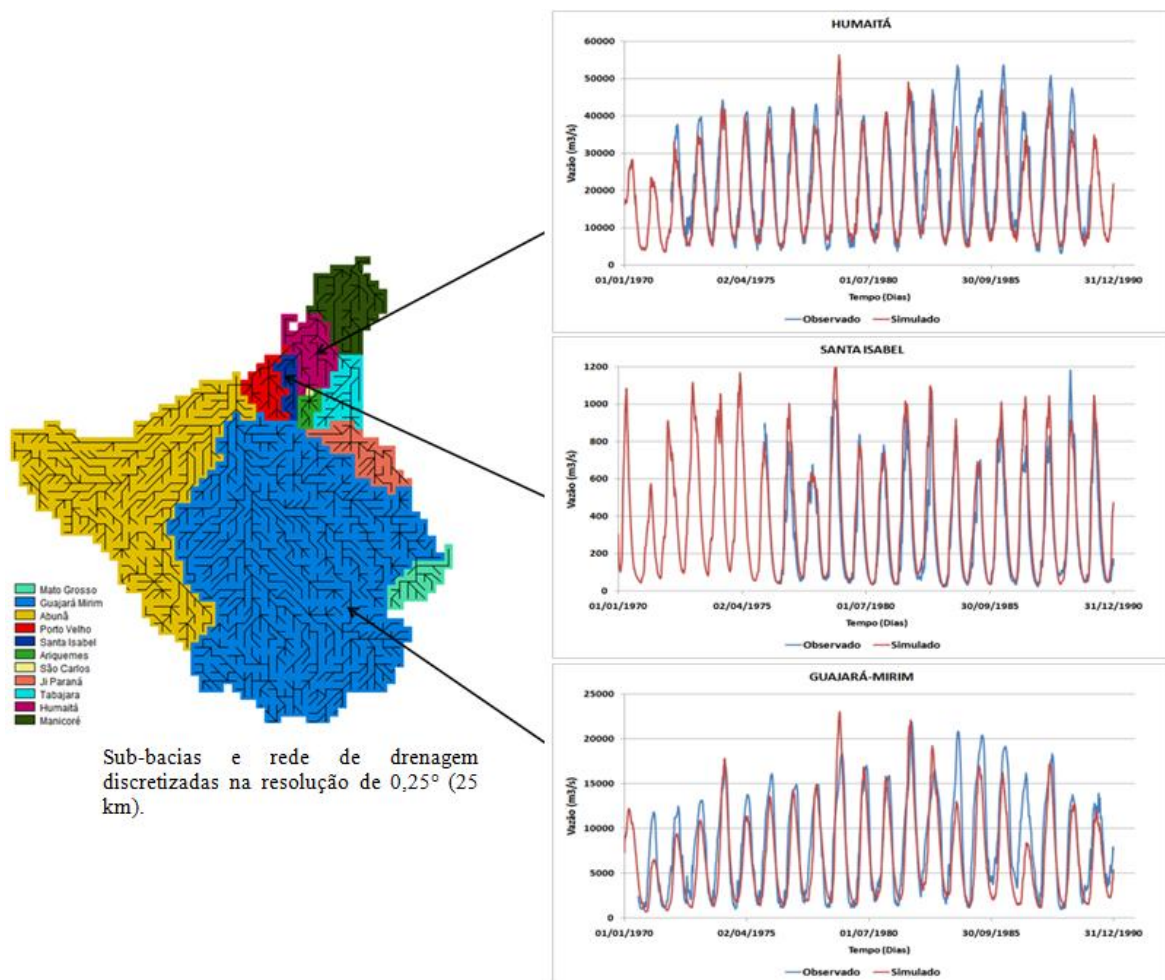


Figura 11 - Resultados da calibração do MGB-INPE utilizando dados observados

De acordo com estes resultados, pode-se afirmar que a calibração resultou num bom desempenho do modelo na projeção das vazões diárias, embora, devam-se considerar algumas deficiências nos ajustes dos picos de Vazão.

3.3.2 Comparações das simulações hidrológicas com observações e com saídas do modelo Eta

As simulações do modelo hidrológico MGB-INPE do tempo presente (1961-1990), alimentado com dados do *downscaling* dinâmico do modelo Eta, foram

comparadas com as simulações realizadas com o mesmo modelo hidrológico alimentado com dados observados (1970-1990).

As análises realizaram-se a partir dos valores de Precipitação, Evapotranspiração e Vazão, das 11 sub-bacias consideradas na bacia do Rio Madeira. Para as comparações dos gráficos, foram adotadas as seguintes nomenclaturas:

- ET-MC: Evapotranspiração Simulada com o MGB-INPE a partir da utilização dos dados Observados;
- ET-ME: Evapotranspiração Simulada com o MGB-INPE utilizando dados do *downscaling* dinâmico com o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990;
- Prec-Obs: Precipitação Observada - Precipitação Medida;
- Prec-Eta: Precipitação Simulada utilizando o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990;
- Vazão-MC: Vazão Simulada com o modelo MGB-INPE utilizando dados Observados;
- Vazão-ME: Vazão Simulada utilizando dados do *downscaling* dinâmico com o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990;

Com o intuito de mensurar os erros ocorridos nas simulações do Presente, se utilizaram os dados Observados e Simulados para fazer as comparações. Como Simulação do tempo presente, utilizou-se a média dos 4 membros do Modelo Eta. A figura 12 demonstra as comparações da precipitação, evapotranspiração e vazão em cada sub-bacia do Rio Madeira.

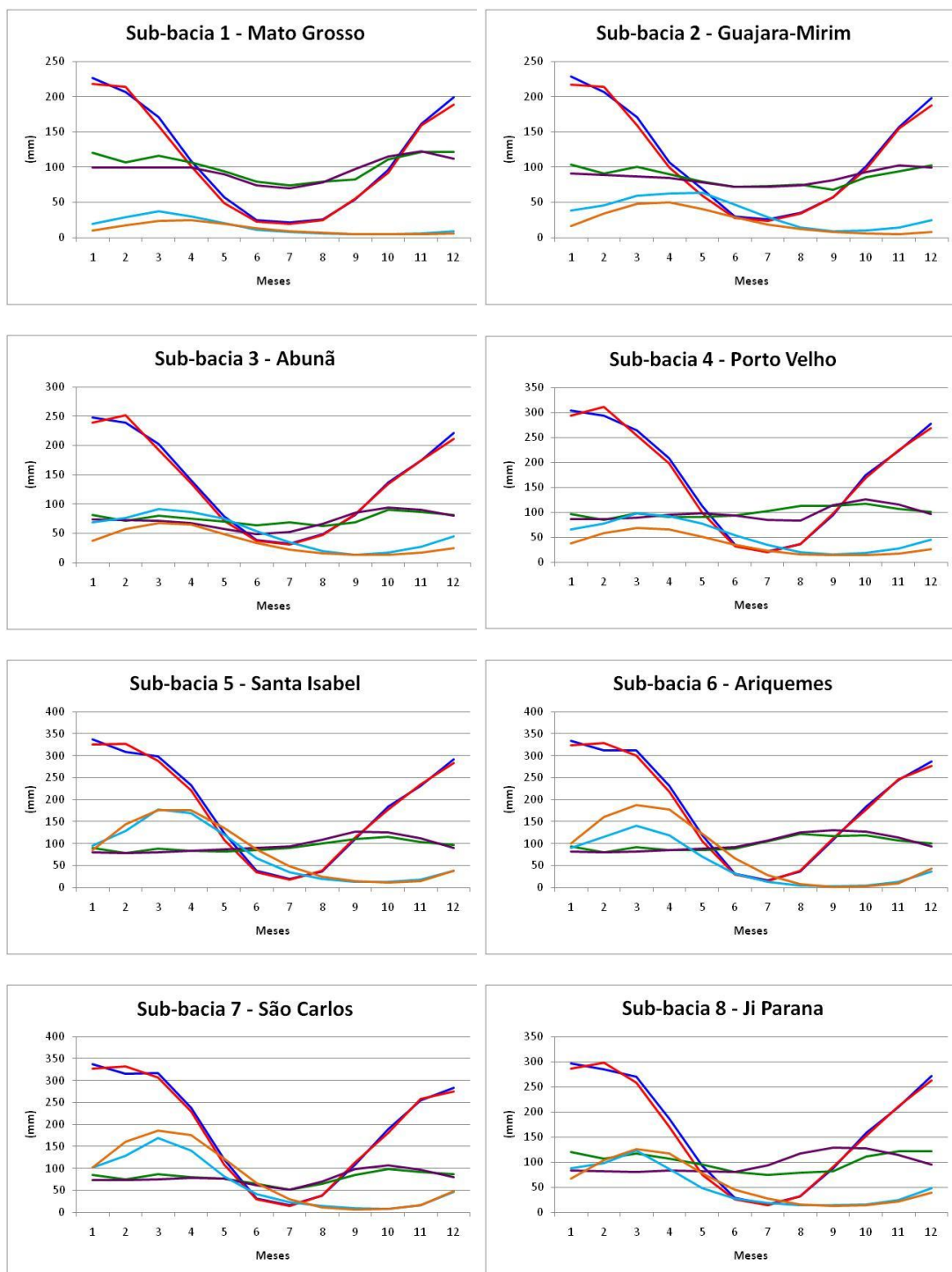


Figura 12 - Análises de Precipitação, Evapotranspiração e Vazão entre o Passado e Presente

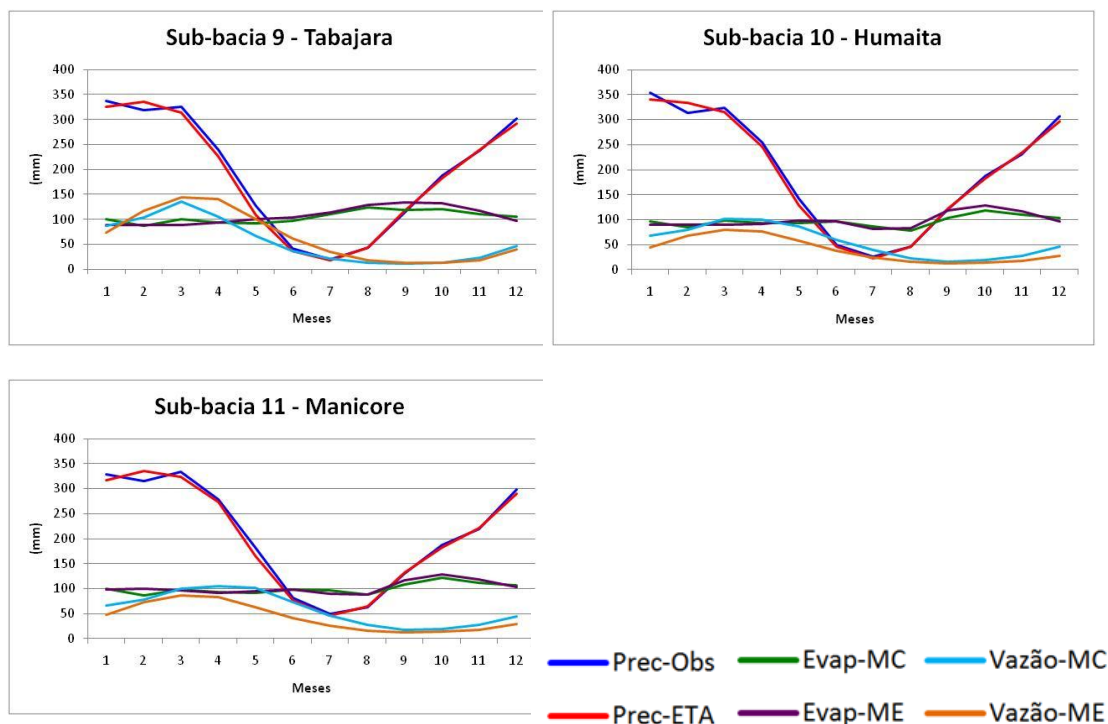


Figura 12 (continuação) - Análises de Precipitação, Evapotranspiração e Vazão entre o Passado e Presente

A climatologia mensal da precipitação simulada pelo modelo Eta para o tempo presente se ajusta à obtida dos valores observados de precipitação após a correção dos erros sistemáticos (figura 12). Também a evapotranspiração simulada pelo modelo hidrológico com as informações do *downscaling* dinâmico se ajustam às obtidas pelo mesmo modelo com dados observados na maioria das sub-bacias. Maiores diferenças são encontradas nas sub-bacias de Abunã, Porto Velho e Ji-Paraná, sendo que nesta última existem diferenças na sazonalidade de ambas as simulações (figura 12). As vazões apresentam diferenças principalmente durante a época úmida (figura 12). Nas sub-bacias Santa Isabel, Ariquemes, São Carlos, Ji-Paraná e Tabajara as vazões simuladas com informações do *downscaling* dinâmico apresentam valores superiores às simuladas utilizando observações, enquanto que nas sub-bacias Mato Grosso, Guajará-Mirim, Abunã, Porto Velho, Humaitá e Manicore o comportamento é invertido (figura 12). No entanto, a sazonalidade está igualmente representada em ambas às simulações em todas as sub-bacias.

Em suma, as simulações utilizando informações do modelo Eta apresentaram algumas diferenças com as obtidas com o mesmo modelo hidrológico alimentado com valores observados. Uma vez que a variação sazonal da climatologia é mantida nas simulações, estas diferenças não impedem de se obter uma avaliação do impacto das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia através da comparação de cenários do tempo presente e do futuro obtidos com as informações do mesmo modelo Eta. Não obstante, um estudo mais detalhado é necessário a fim de reconhecer e corrigir a fonte destas diferenças entre simulações, focando principalmente os processos relacionados com a evapotranspiração na bacia.

Para mensurar as alterações climatológicas em razão do uso do solo, a figura 13 exibe as simulações elaboradas com as mudanças no uso do solo.

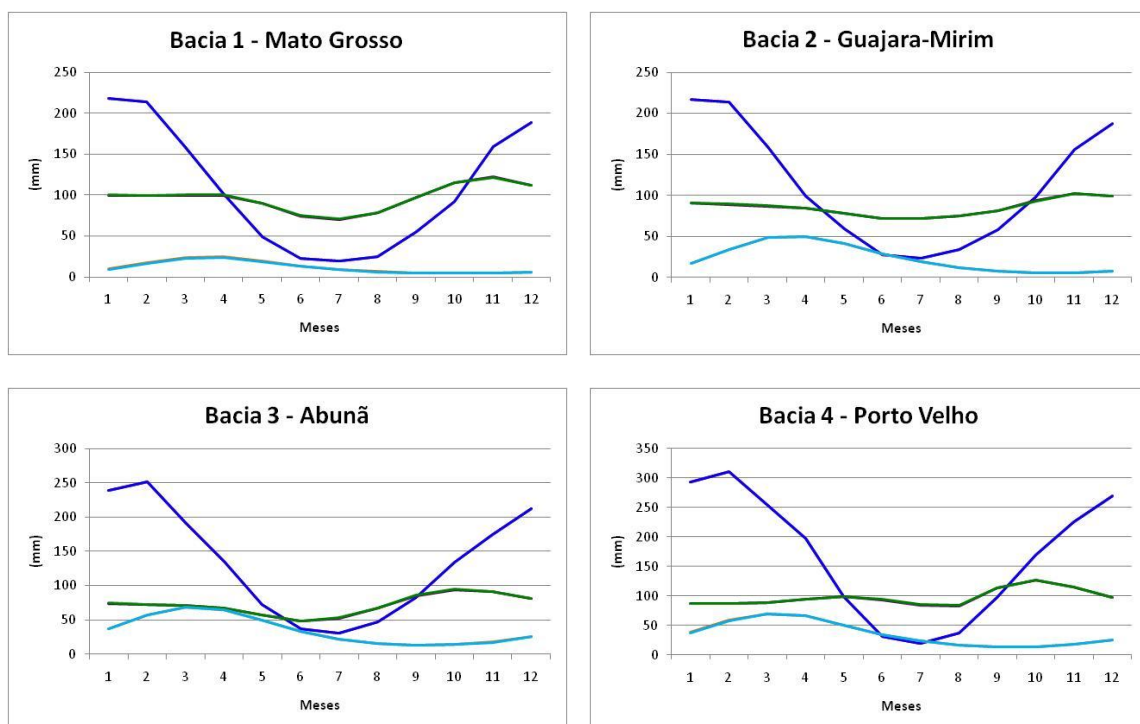


Figura 13 - Comparação das climatologias com e sem uso de solo

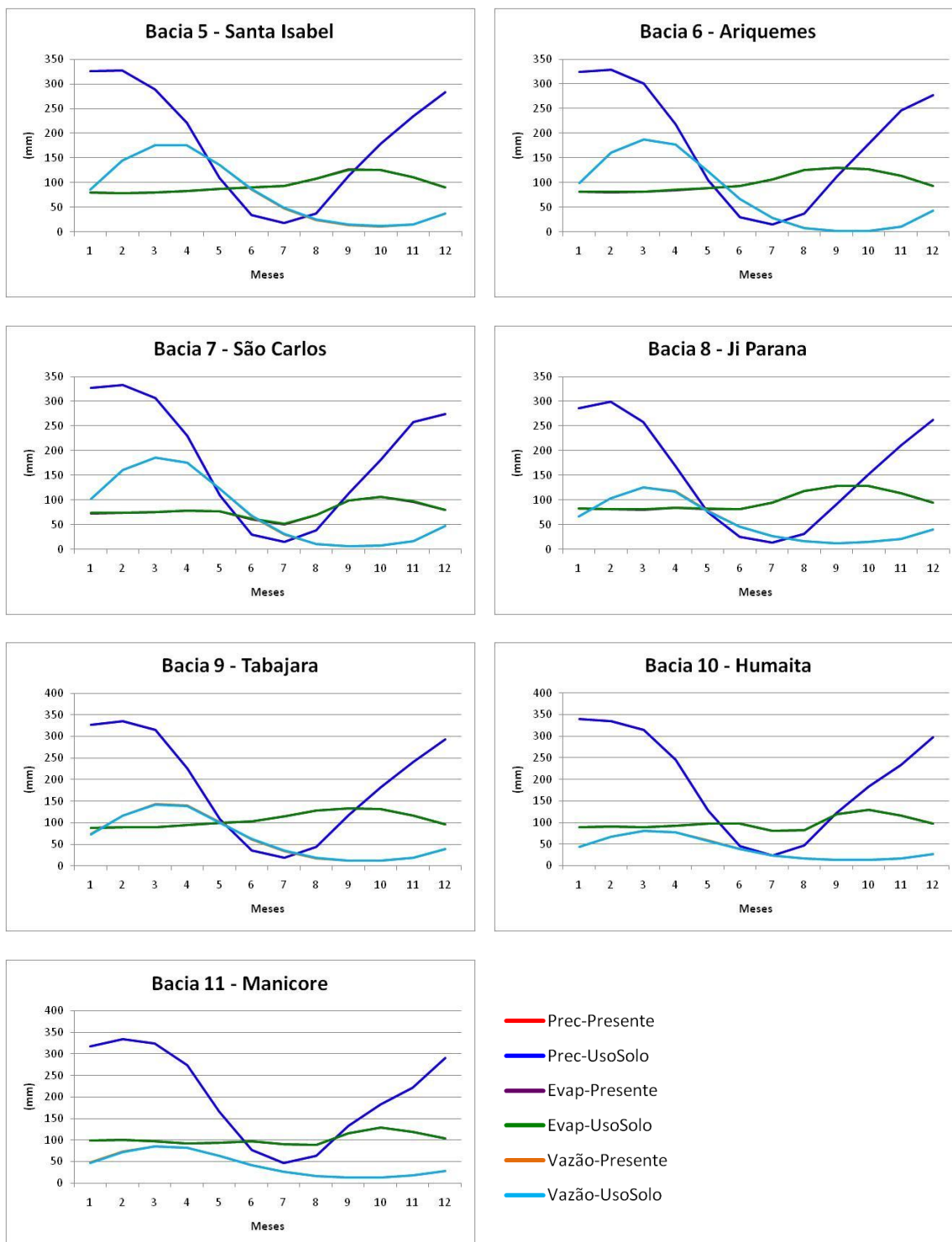


Figura 13 (continuação) – Comparação das climatologias com e sem uso de solo

Onde:

- ET-Presente: Evapotranspiração Simulada com o MGB-INPE utilizando dados do *downscaling* dinâmico com o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990 com alteração no uso do solo;
- ET-UsoSolo: Evapotranspiração Simulada com o MGB-INPE utilizando dados do *downscaling* dinâmico com o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990 sem alteração no uso do solo;
- Prec-Presente: Precipitação Simulada utilizando o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990 com alteração no uso do solo;
- Prec-UsoSolo: Precipitação Simulada utilizando o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990 sem alteração no uso do solo;
- Vazão-Presente: Vazão Simulada utilizando dados do *downscaling* dinâmico com o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990, com alteração do uso do solo;
- Vazão-UsoSolo: Vazão Simulada utilizando dados do *downscaling* dinâmico com o modelo Eta, no tempo presente 1961-1990, sem alteração do uso do solo;

As simulações desenvolvidas a partir das alterações no uso do solo não apresentaram mudanças significativas, visto que a climatologia mensal da precipitação, evapotranspiração e vazão se ajustam e a sazonalidade se mantém equivalentes em todas as sub-bacias.

3.4 Simulações hidrológicas do tempo futuro (2011-2099)

Para mensurar o impacto das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia, foram comparadas as climatologias de precipitação (figura 14) obtidas do *downscaling* dinâmico para o tempo presente com àquelas obtidas das projeções do tempo futuro. Também a evapotranspiração (figura 15) e as vazões (figura 16) simuladas pelo MGB-INPE para cada cenário foram comparados com as simulações

do tempo presente, sempre utilizando as informações do *downscaling* dinâmico para alimentar o modelo hidrológico.

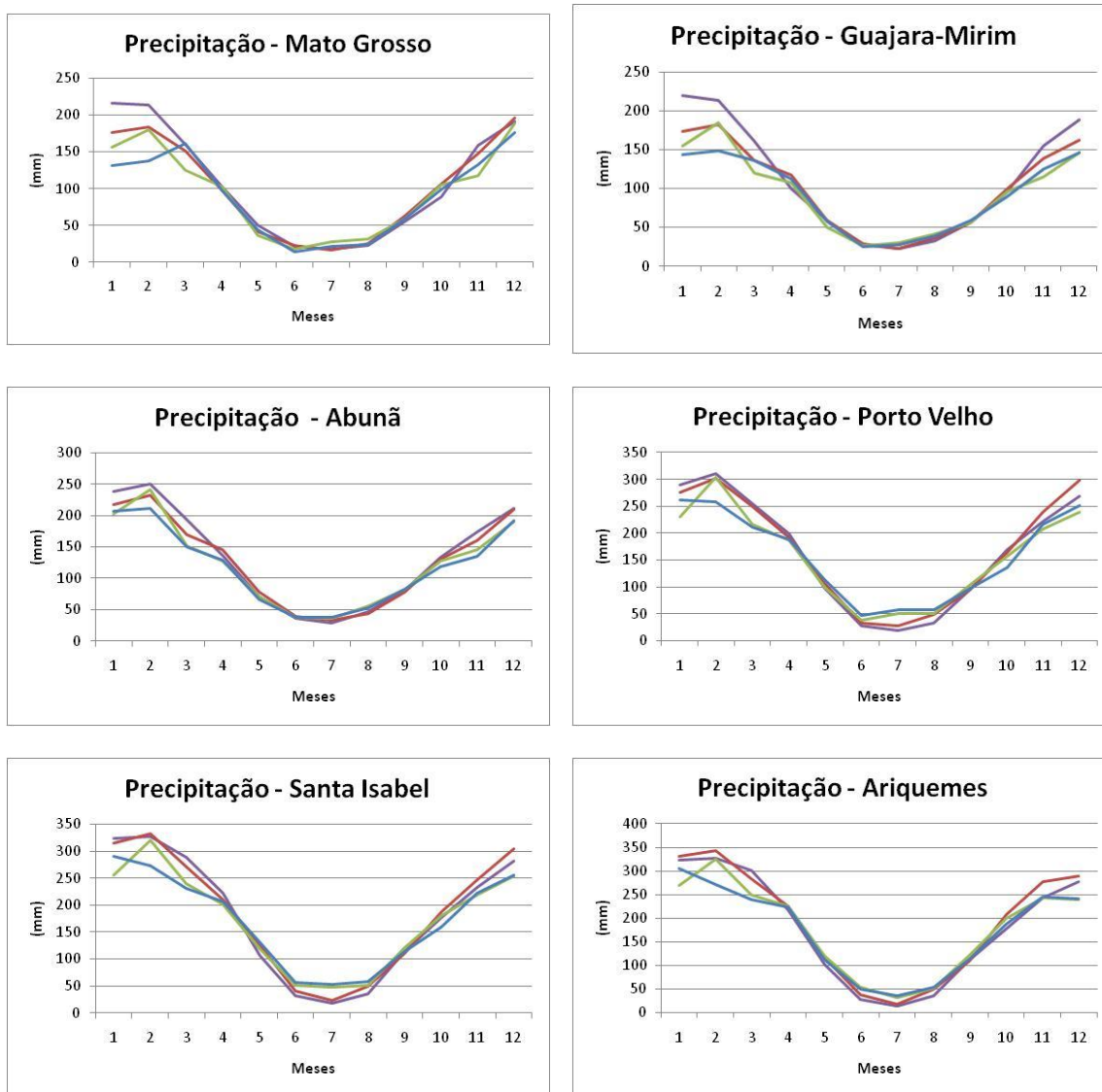


Figura 14 - Comparações da Precipitação do tempo Futuro

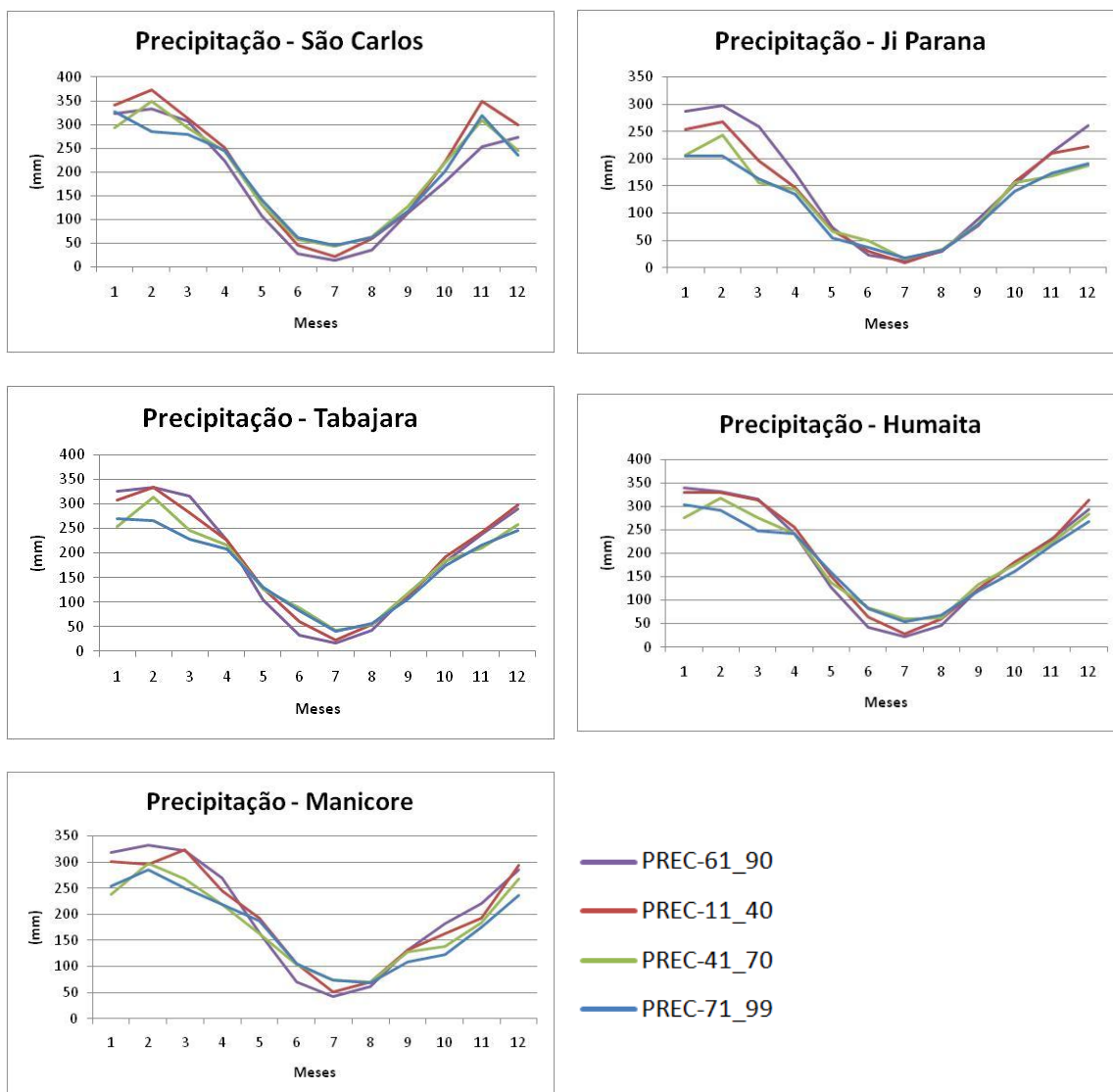


Figura 14 (continuação) – Comparações da Precipitação do tempo Futuro

O período de 2011 a 2040, em sua maioria, apresentou precipitações similares às do Presente. Já 2041 a 2070 e 2071 e 2099, em geral, apresentaram valores menores do que o Presente. A partir das análises, pode-se verificar que as sub-bacias Mato Grosso, Guajará-Mirim e Abunã, no período de seca apresentaram projeções próximas, independente do período. Nessa linha, pode-se concluir que os valores de Precipitação projetados reduzem a cada período do Futuro.

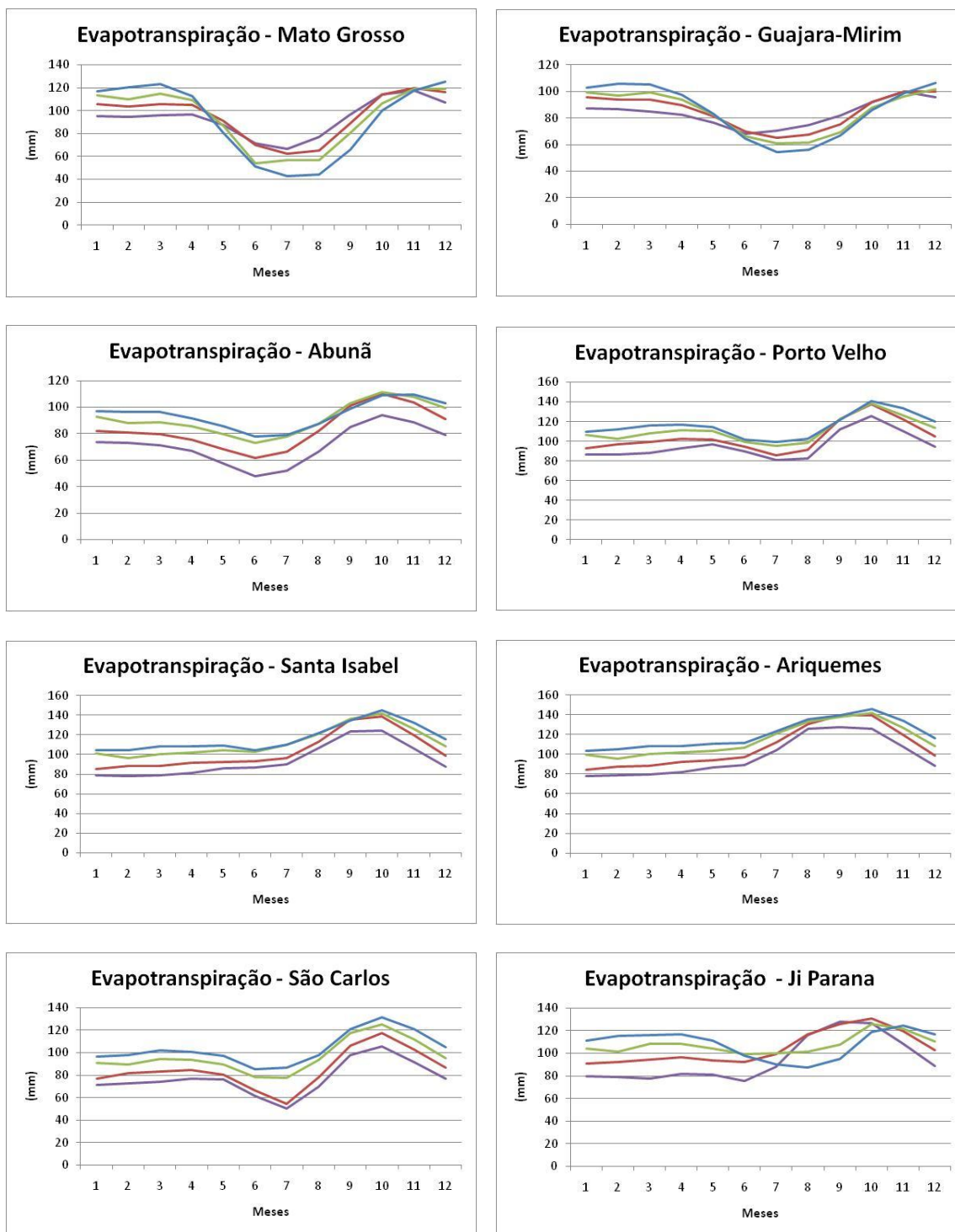


Figura 15 - Comparações da Evapotranspiração do tempo Futuro

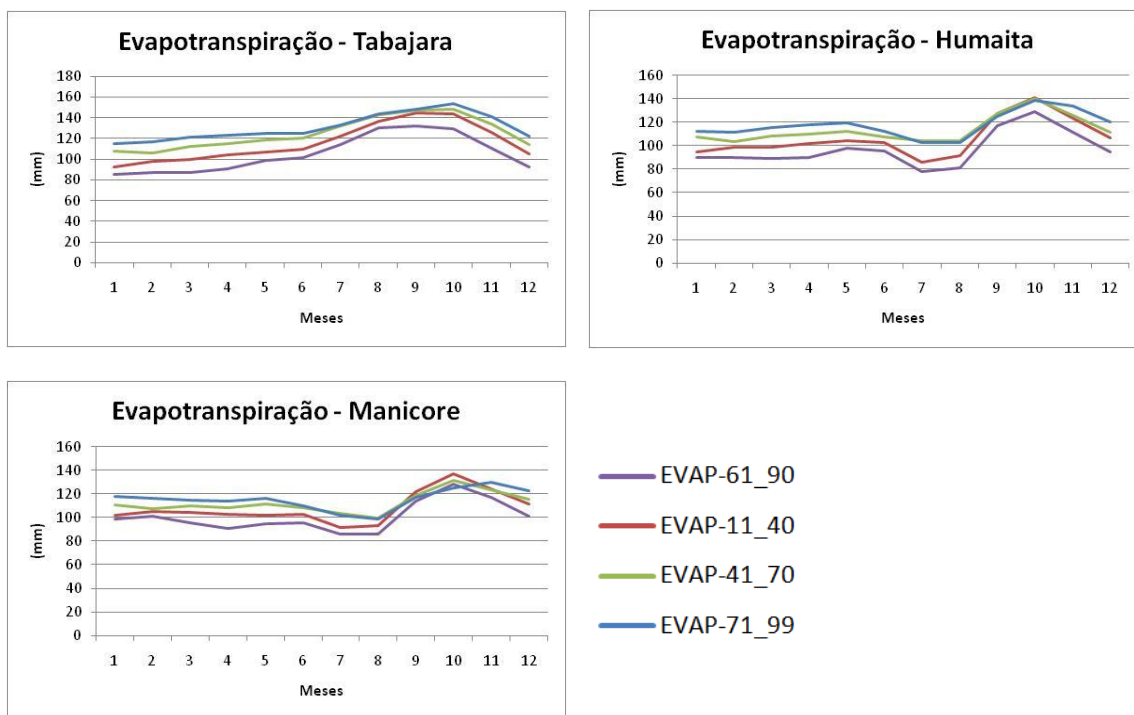


Figura 15 (continuação) – Comparações da Evapotranspiração do tempo Futuro

Nas projeções de Evapotranspiração para os períodos do Futuro, as sub-bacias apresentaram, em geral, maiores valores do que o Presente.

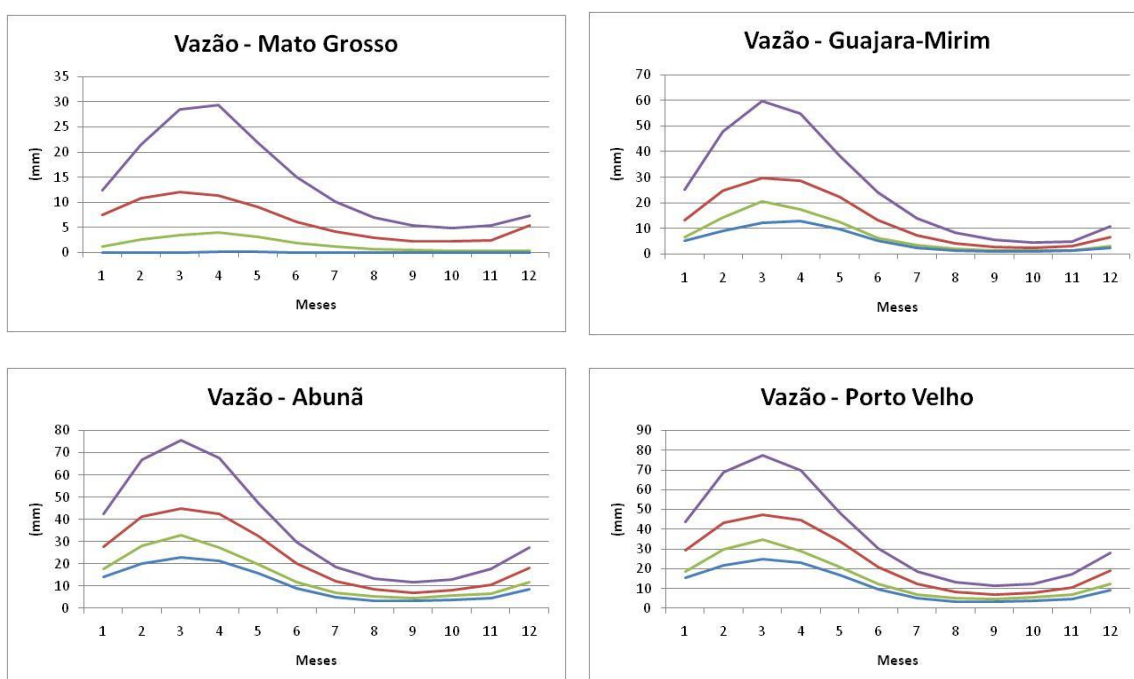


Figura 16 - Comparações da Vazão do tempo Futuro

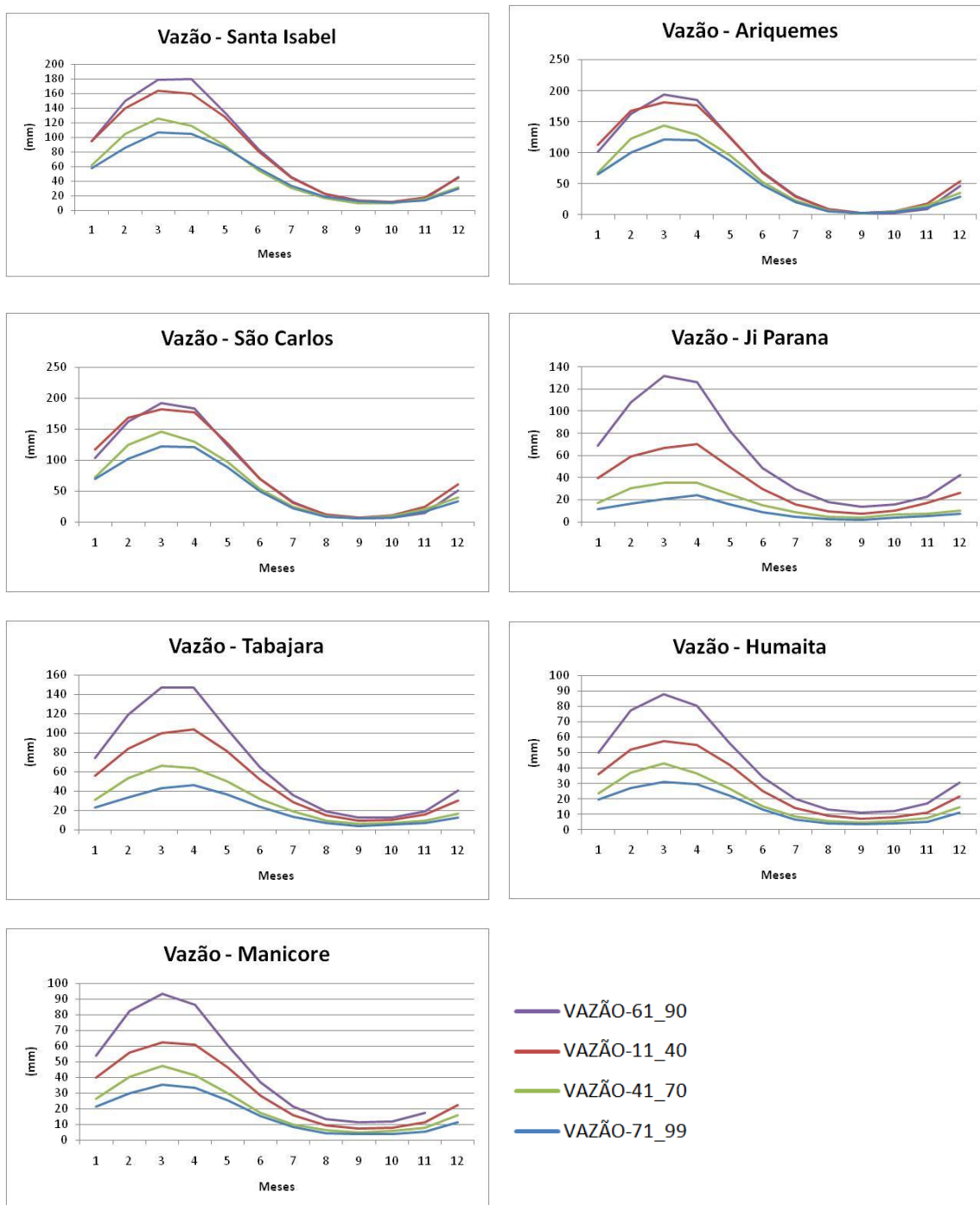


Figura 16 (continuação) – Comparações da Vazão do tempo Futuro

Nos cenários futuros, as vazões foram em geral menores que as simuladas para o presente durante a época úmida. As diferenças foram menores nas sub-bacias de Santa Isabel, Ariquemes e São Carlos. Por outro lado, durante a época seca

algumas sub-bacias, Santa Isabel, Ariquemes e São Carlos apresentam vazões superiores às do presente, mas estas diferenças são muito pequenas comparadas com a importante redução apresentada durante a época úmida. Em geral, pode-se afirmar que as projeções de Vazão para Futuro decrescem a cada período.

Para analisar a distribuição de frequência, elaboraram-se análises a respeito dos percentis de 10%, 50%, 90% e a média dos valores de vazão. De acordo com os resultados visualizados na figura 17, pode-se afirmar que a vazão média nas sub-bacias decresce, em geral, a cada período analisado.

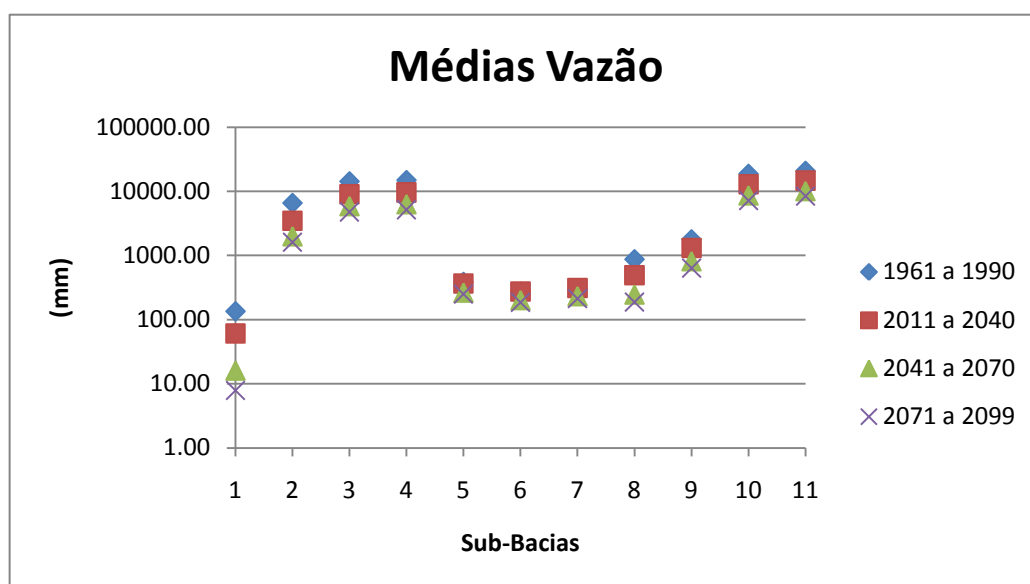


Figura 17 - Representação das Médias das Vazões do Passado e Presente

A figura 18 apresenta o percentil de 50% (ou mediana), da Vazão de todas as sub-bacias nos períodos analisados. Assim, como ocorreram com as médias, é possível concluir que os valores das medianas também decrescem a cada período.

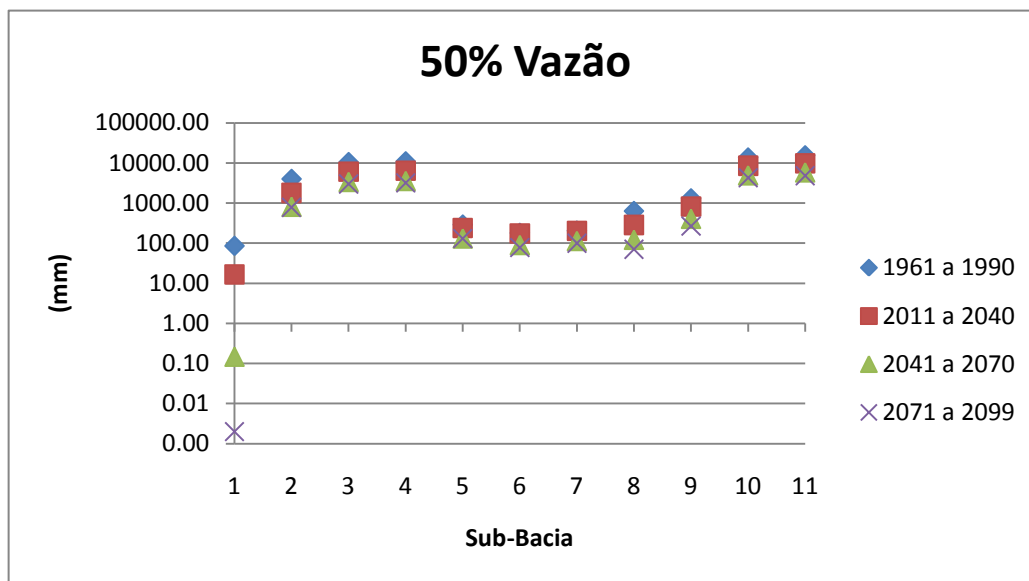


Figura 18 - Representação de 50% das Vazões do Passado e Presente

Na análise correspondente ao percentil 10 da Vazão, pode-se perceber a grande redução nos valores projetados para a sub-bacia 1 - Mato Grosso, a qual atingiu valor muito próximo de 1 (1,39 mm exatamente), no período 2071-2099. Já as sub-bacias Ariquemes (sub-bacia 6) e São Carlos (sub-bacia 7), no período 2011 a 2040, proporcionaram o valor de 10% de Vazão maior que o Presente, como pode ser visto na figura 19. Embora, pode-se considerar que o valor calculado para as vazões reduzem a cada período, visto que a maioria dos valores projetados são inferiores ao período anterior.

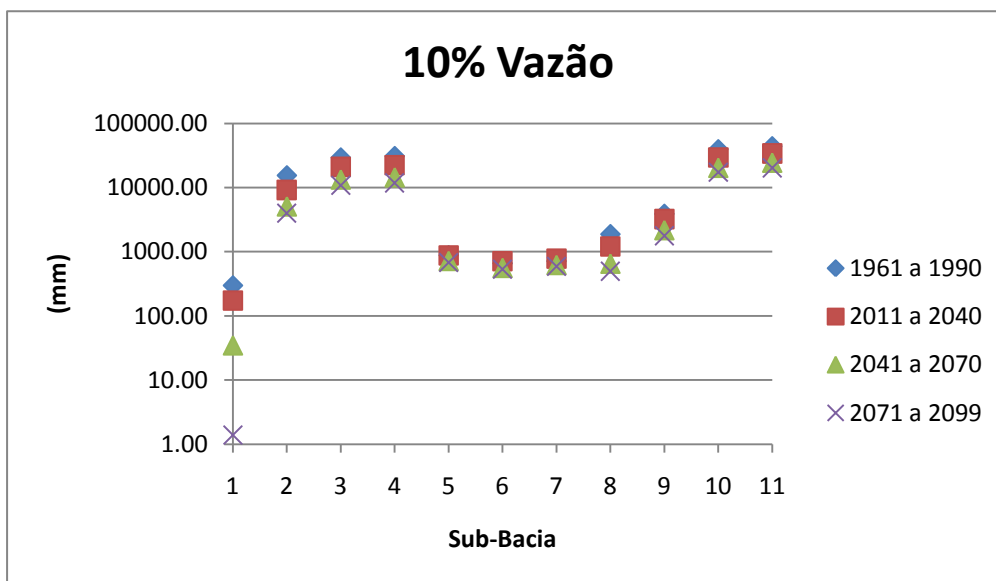


Figura 19 - Representação de 10% das Vazões do Passado e Presente

O valor do percentil 90 das vazões apresenta as maiores reduções em todas as sub-bacias, acorde com a forte diminuição das precipitações durante a época úmida.

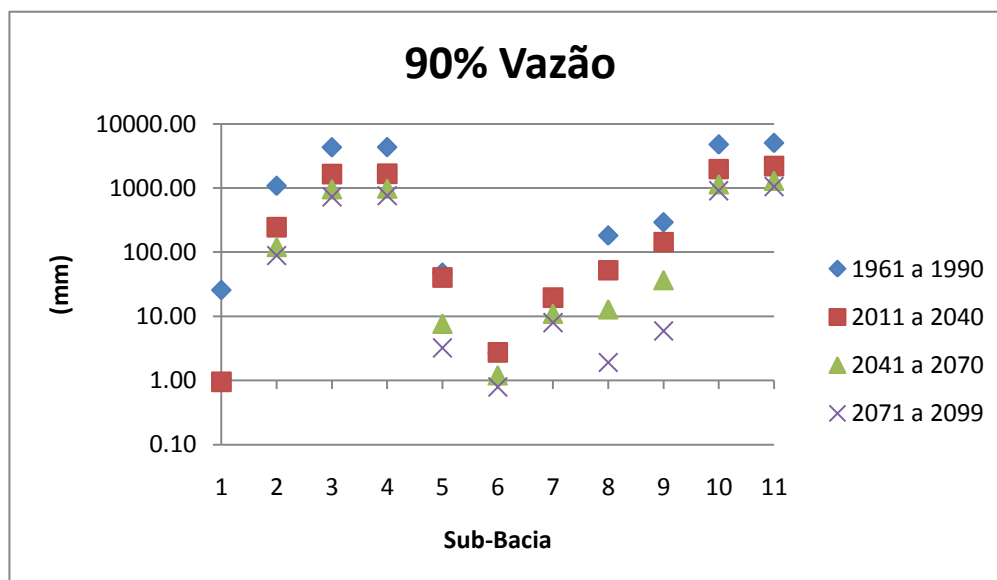


Figura 20 - Representação de 90% das Vazões do Passado e Presente

Com base nessas análises, também pode-se mensurar as possíveis alterações nas sazonalidades nos períodos comparados, como pode ser visto na figura 21 - Os meses com os maiores valores de Evapotranspiração, figura 22 - Os meses com os menores valores de Evapotranspiração, figura 23 - Os meses com os maiores valores de Precipitação, figura 24 - Os meses com os menores valores de Precipitação, figura 25 - Os meses com os maiores valores de Vazão e figura 26 - Os meses com os menores valores de Vazão.

Os resultados sugerem um deslocamento da ocorrência do máximo valor de evapotranspiração para o mês seguinte em muitas das sub-bacias, enquanto que a ocorrência de um valor mínimo desta variável apresenta uma maior variação. Por outro lado, a sazonalidade das precipitações aparece com os máximos deslocados para o mês anterior, enquanto que a ocorrência dos mínimos não apresenta uma variação significativa. Esta variação na precipitação não parece suficiente para ocasionar mudanças na sazonalidade das vazões, que mantém um padrão semelhante ao apresentado no tempo presente.

| Evap-Máximas | 1961 a 1990 | 2011 a 2040 | 2041 a 2070 | 2071 a 2099 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.Mato Grosso | Novembro | Novembro | Novembro | Dezembro |
| 2.Guajara-Mirim | Novembro | Novembro | Dezembro | Dezembro |
| 3.Abunã | Outubro | Outubro | Outubro | Novembro |
| 4.Porto Velho | Outubro | Outubro | Outubro | Outubro |
| 5.Santa Isabel | Outubro | Outubro | Outubro | Outubro |
| 6.Ariquemes | Setembro | Setembro | Outubro | Outubro |
| 7.São Carlos | Outubro | Outubro | Outubro | Outubro |
| 8.Ji-Paraná | Setembro | Outubro | Outubro | Novembro |
| 9.Tabajara | Setembro | Setembro | Outubro | Outubro |
| 10.Humaita | Outubro | Outubro | Outubro | Outubro |
| 11.Manicore | Outubro | Outubro | Outubro | Novembro |

Figura 21 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Máxima de Evapotranspiração

| Evap-Mínimas | 1961 a 1990 | 2011 a 2040 | 2041 a 2070 | 2071 a 2099 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.Mato Grosso | Julho | Julho | Junho | Julho |
| 2.Guajara-Mirim | Junho | Julho | Julho | Julho |
| 3.Abunã | Junho | Junho | Junho | Junho |
| 4.Porto Velho | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 5.Santa Isabel | Fevereiro | Janeiro | Fevereiro | Janeiro |
| 6.Ariquemes | Janeiro | Janeiro | Fevereiro | Janeiro |
| 7.São Carlos | Julho | Julho | Julho | Junho |
| 8.Ji-Paraná | Junho | Janeiro | Junho | Agosto |
| 9.Tabajara | Janeiro | Janeiro | Fevereiro | Janeiro |
| 10.Humaita | Julho | Julho | Fevereiro | Agosto |
| 11.Manicore | Agosto | Julho | Agosto | Agosto |

Figura 22 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Mínima de Evapotranspiração

| PREC-Máximas | 1961 a 1990 | 2011 a 2040 | 2041 a 2070 | 2071 a 2099 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.Mato Grosso | Janeiro | Dezembro | Dezembro | Dezembro |
| 2.Guajara-Mirim | Janeiro | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro |
| 3.Abunã | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro |
| 4.Porto Velho | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Janeiro |
| 5.Santa Isabel | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Janeiro |
| 6.Ariquemes | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Janeiro |
| 7.São Carlos | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Janeiro |
| 8.Ji-Paraná | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Janeiro |
| 9.Tabajara | Fevereiro | Fevereiro | Fevereiro | Janeiro |
| 10.Humaita | Janeiro | Janeiro | Fevereiro | Janeiro |
| 11.Manicore | Fevereiro | Março | Fevereiro | Fevereiro |

Figura 23 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Máxima de Precipitação

| PREC-Mínimas | 1961 a 1990 | 2011 a 2040 | 2041 a 2070 | 2071 a 2099 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.Mato Grosso | Julho | Julho | Junho | Junho |
| 2.Guajara-Mirim | Julho | Julho | Junho | Junho |
| 3.Abunã | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 4.Porto Velho | Julho | Julho | Junho | Junho |
| 5.Santa Isabel | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 6.Ariquemes | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 7.São Carlos | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 8.Ji-Paraná | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 9.Tabajara | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 10.Humaita | Julho | Julho | Julho | Julho |
| 11.Manicore | Julho | Julho | Agosto | Agosto |

Figura 24 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Mínima de Precipitação

| VAZÃO-Máximas | 1961 a 1990 | 2011 a 2040 | 2041 a 2070 | 2071 a 2099 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.Mato Grosso | Abril | Março | Abril | Maio |
| 2.Guajara-Mirim | Março | Março | Março | Abril |
| 3.Abunã | Março | Março | Março | Março |
| 4.Porto Velho | Março | Março | Março | Março |
| 5.Santa Isabel | Abril | Março | Março | Março |
| 6.Ariquemes | Março | Março | Março | Março |
| 7.São Carlos | Março | Março | Março | Março |
| 8.Ji-Paraná | Março | Abril | Março | Abril |
| 9.Tabajara | Abril | Abril | Março | Abril |
| 10.Humaita | Março | Março | Março | Março |
| 11.Manicore | Março | Março | Março | Março |

Figura 25 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Máxima de Vazão

| VAZÃO-Mínimas | 1961 a 1990 | 2011 a 2040 | 2041 a 2070 | 2071 a 2099 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.Mato Grosso | Outubro | Outubro | Dezembro | Novembro |
| 2.Guajara-Mirim | Outubro | Outubro | Outubro | Outubro |
| 3.Abunã | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 4.Porto Velho | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 5.Santa Isabel | Outubro | Outubro | Outubro | Outubro |
| 6.Ariquemes | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 7.São Carlos | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 8.Ji-Paraná | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 9.Tabajara | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 10.Humaita | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |
| 11.Manicore | Setembro | Setembro | Setembro | Setembro |

Figura 26 - Representação das Sazonalidades, no que se refere à Mínima de Vazão

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos das mudanças globais na Bacia do Rio Madeira.

Desta forma, conclui-se que: as correções nos campos de precipitação observados atingiram um bom resultado – o que deve ser considerado pelo fato da disponibilização de fontes de dados, como ANA e Sudene. As correções nos erros sistemáticos se mostraram eficientes pela possível comparação dos dados projetados pelo modelo Eta com os dados Observados. A calibração do modelo hidrológico, embora seja necessário verificar as deficiências nos valores extremos, também apresentou valores razoáveis.

Nas projeções feitas para o futuro a Precipitação e Vazão decrescem, enquanto que a Evapotranspiração aumenta. Ainda, o impacto das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia apresenta maior magnitude que aquele ocasionado pelas mudanças no uso do solo. Referente a variação sazonal, os resultados sugerem alguma mudança na sazonalidade da evapotranspiração e da precipitação, mas não apresentam variações naquela da vazão.

As análises dos impactos das mudanças climáticas desenvolvidas aqui consideram apenas um dos 4 membros do *downscaling* dinâmico disponível no CPTEC-INPE. A continuação deste trabalho exigirá o desenvolvimento dos cenários hidrológicos da bacia a partir dos membros restantes. Esta metodologia permitirá obter um leque de possibilidades, associadas com diferentes condições atmosféricas futuras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, H. P. F., **Fatores demográficos e sócio-econômicos associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira: discussão dos resultados de uma análise integrada de dados censitários e de sensoriamento remoto, através de um sistema de informação geográfica.** In: XIV Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2004, Caxambú - MG. Anais do XIV Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2004.
- ANDRÉASSIAN, V.: **Waters and forests: from historical controversy to scientific debate.** Journal of Hydrology, V. 291, I. 1-2, p. 1-27, 2004.
- BROWN, A.E., ZHANG, L., MCMAHON, T. A., WESTERN, A.W., VERTESSY, R.A.: **A review of paired catchments studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation.** Journal of Hydrology, v.310, p.28-61, 2005.
- BRUIJNZEEL, L. A.: **Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?** Agriculture, Ecosystems & Environment, v.104, p.185-228, 2004.
- BURGUEÑO A, LANA X, SERRA C.: **Monthly and annual statistical distributions of daily rainfall at the Fabra Observatory** (Barcelona, NE Spain) for the years 1917–1999, Springer-Verlag 2004.
- BURGUEÑO A, MARTÍNEZ MD, LANA X, SERRA C.: **Statistical distributions of daily rainfall regime in Europe for the period 1951–2000,** Springer-Verlag 2010.
- CHOU, S. C., MARENGO, J. A., LYRA, A., A, SUEIRO., G. PESQUERO., J. F., ALVES., L. M, KAY., G. BETTS, R., CHAGAS, D. J., GOMES, J. L., BUSTAMENTE, J. F, TAVARES, P.: **Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs,** Springer-Verlag 2011
- CLARCK, C.O.: **Storage and the Unit Hydrograph,** Trans. Am. Soc. Civil Engrs., vol. 110, 1419-1488, 1945.
- CUARTAS PINEDA. L.A.: **Estudo Observacional e de Modelagem Hidrológica de uma Micro-Bacia em Floresta Não-Perturbada na Amazônia Central.** INPE –

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 236p, 2008.

- LAMBIN E. F.: **The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions**, Oxford, v.11, n.4, 2001
- LIVERMAN, D., SHEPPARD, K. AND TAYLOR, D. 1998: **Surficial geology and landform classification of the St. Fintan's map sheet (NTS 12B/2)**. Newfoundland Department of Mines and Energy, Geological Survey Branch, Open File 0412, Map 98-05
- Maidment, D. (1993) **Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS. In: Applications of GIS in hydrology and water resources** (editado por Kovar, K. and Nachtenebel, H.) Proceedings of Vienna conf., April 1993. IAHS publ. no. 211. 181-192.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M. AND BROWN, I. F.: The Drought of Amazonia in 2005, **Journal of climate**, v21, p.495-516, 2008.
- MESINGER, F., Z. I. JANJIC, S. NICKOVIC, D. GAVRILOV, E D. G. DEAVEN, 1988: **The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment**. Mon. Wea. Rev., 116, 1493-1518.
- NASH, J.E., **Unit Hydrograph study with particular reference to British catchments**, Proc. Inst. Civ. Engrs., vol. 17, 249-282, 1960.
- NOBRE, C.A., “**Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono?**” Em: *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia*. Ministério do Meio Ambiente, p.197-224. 2001.
- NOBRE, CARLOS A; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L.; **Mudanças climáticas e Amazônia**. Cienc. Cult., São Paulo, v. 59, n. 3, 2007. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a12v59n3.pdf>>. Acesso em: 12 Julho de 2011.

- PIMENTEL DA SILVA, L. e EWEN, J., 2000, “**Modelagem hidrológica de grandes bacias hidrográficas: a necessidade de novas metodologias**”.*Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, n. 4, pp. 81-92.
- PINHEIRO, J. A. C.:**Processos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede em Timóteo-MG**: Dissertação de Pós-Graduação – Viçosa [Minas Gerais] 2008.
- RIBEIRO NETO, ALFREDO: **Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira [Rio de Janeiro] 2006**.XVII, 178 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,Engenharia Civil, 2006). Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- RODRIGUEZ, D. A.; **Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta amazônica**. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
- RUTKOWSKI, E. **Desenhando a Bacia Ambiental - subsídios para o planejamento das águas doces metropolitan(izad)as**. [Dissertação de doutorado, FAU/USP, 1999]
- SESTINI, M. F. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. São José dos Campos: INPE, 2002.
- SIQUEIRA, J. L. J.; RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.: **Estudo dos efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Madeira**. XIV World Water Congress – Porto de Galinhas - Brasil
- SNYDER, F.F.: **Synthetic Unit-Graphs**, *Trans. Am. Geophys. Union*, vol. 19, 447-454, 1938.
- SPEIDEL, D. H.; RUEDISILI, L.C; AGNEW, A.F.: **Perspectives on water: uses and abuses**. New York: Oxford University Press, 388p. 1988.
- TRANCOSO, RALPH: **Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta**

hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia. Dissertação de Mestrado INPA/UFAM – Manaus- 2006.

- TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos.** Editora da UFRGS ABRH 678p, 2005.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez.** São Carlos: RIMA. IIE 2003. 248p.
- TURNER, P. W. **Constitutional orders and deforestation:** a cross-national analysis of the humid tropics. Bloomington, 1998. Thesis (Doctorate in Philosophy) - Department of Political Science, Indiana University.
- U.S. **Soil Conservation Service,** National Engineering Handbook, Séc. 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1985.
- Wigmosta, M.S., L. Vail, and D. P. Lettenmaier, 1994: **A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain, Wat. Resour. Res.,** 30, 1665-1679.