



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)**

Lucas Garofolo Lopes (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: lucas.garofolo@inpe.br

Dr. Daniel Andres Rodriguez (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: daniel.andres@cptec.inpe.br

COLABORADOR

José Lázaro de Siqueira Júnior (CCST/INPE)

Anderson Sene Gonçalves (CEMADEN/INPE)

JULHO DE 2012

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Lucas Garofolo Lopes**

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: **Fevereiro/2012 – Agosto/ 2012**

ESTUDOS DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS NA BACIA DO RIO MADEIRA

Lucas Garofolo Lopes¹ (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)
Daniel Andres Rodriguez² (CCST/INPE, Orientador)
José Lázaro de Siqueira Júnior³ (CCST/INPE, Colaborador)
Anderson Sene Gonçalves⁴ (CEMADEN/INPE, Colaborador)

RESUMO

Dada a sua importância sobre o equilíbrio ambiental da América do Sul, a Bacia do Amazonas é foco de muitos estudos. É focando nisto que o estudo dos efeitos das mudanças climáticas na bacia do Rio Madeira foi desenvolvido. A bacia do Rio Madeira se localiza dentro da bacia amazônica e a maior parte de sua superfície está no território boliviano (51%), estendendo pelo Brasil (42%) e também o Peru (7%) tendo seu clima e relevo variados.

Este trabalho apresenta melhorias na geração de cenários hidrológicos resultantes das mudanças climáticas na Bacia do Rio Madeira. Os cenários hidrológicos são gerados utilizando o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MGB-INPE). O modelo MGB-INPE é alimentado com os resultados do downscaling dinâmico de cenários de mudanças climáticas desenvolvido no CPTEC-INPE com o modelo atmosférico Eta.

Resultados anteriores mostraram a necessidade de melhoria nos dados de entrada do modelo MGB-INPE, incluindo melhorias nas técnicas de correção de erros sistemáticos nas simulações de precipitação do modelo atmosférico Eta. Uma nova metodologia, que contempla a correção de erros sistemáticos na simulação de volumes precipitados e na quantidade de dias com precipitação, foi aplicada para a correção das precipitações simuladas pelo modelo Eta, realizando simulações hidrológicas para o período de 1970 a 1990, e projeções para 2011 a 2099, em 10 sub-bacias do Rio Madeira. Comparando as climatologias obtidas através desta nova metodologia com as obtidas anteriormente, percebe-se uma melhora na coerência nos valores de evapotranspiração, precipitação e vazão. As análises dos volumes de precipitação para os cenários futuros obteve uma redução de 15,7% em comparação com o clima atual (1970 a 1990), o que refletiu numa redução de 35,6% na vazão.

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

² Centro de Ciência do Sistema Terrestre - **E-mail: daniel.andres@cptec.inpe.br**

³ Centro de Ciência do Sistema Terrestre - **E-mail: jose.lazaro@cptec.inpe.br**

⁴ Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - **E-mail: anderson.goncalves@inpe.br**

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO.....	3
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3.	AREA DE ESTUDO: A BACIA DO RIO MADEIRA	4
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	5
4.1.	DADOS OBSERVADOS.....	5
4.2.	DOWNSCALING DINÂMICO DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS COM O MODELO ATMOSFÉRICO ETA.....	6
4.3.	CORREÇÃO DE ERROS SISTEMÁTICOS NOS CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO SIMULADOS PELO MODELO ATMOSFÉRICO ETA.....	7
4.4.	MODELO MGB	7
4.5.	CENÁRIOS HIDROLÓGICOS	8
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
5.1.	VAZÃO MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA	9
5.2.	COMPARAÇÃO DAS CLIMATOLOGIAS DE VAZÕES SIMULADAS E OBSERVADAS	12
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	16
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área da bacia Amazônica e a bacia do Rio Madeira	4
Figura 2 – Percentis 90 das vazões em todas as sub-bacias comparando valores atuais representados pelos losangos azuis, com os percentis apresentados por Gonçalves <i>et al</i> (2011) representado pelos quadrados vermelhos (a) no presente, (b) 2011-2040, (c) 2041-2070 e (d) 2071-2100.	9
Figura 3 - Percentil 10 das curvas de duração de vazões de presente e futuro.....	11
Figura 4 - Mediana das vazões do presente e futuro	11
Figura 5 - Climatologias de vazões mensais na sub-bacia 1, (a) no presente, (b) na projeção para 2011-2040, (c) na projeção para 2041-2070 e (d) na projeção para 2071-2100. A linha verde mostra os valores observados no período 1970-1990, a linha azul os resultados da simulação com a nova metodologia de correção de erros sistemáticos e a linha vermelha os resultados apresentados por Gonçalves <i>et al</i> (2011)	13
Figura 6 – Climatologias de vazões mensais na sub-bacia 2, (a) no presente, (b) na projeção para 2011-2040, (c) na projeção para 2041-2070 e (d) na projeção para 2071-2100. A linha verde mostra os valores observados no período 1970-1990, a linha azul os resultados da simulação com a nova metodologia de correção de erros sistemáticos e a linha vermelha os resultados apresentados por Gonçalves <i>et al</i> (2011)	14
Figura 7 - Climatologias de vazões mensais na sub-bacia 8, (a) no presente, (b) na projeção para 2011-2040, (c) na projeção para 2041-2070 e (d) na projeção para 2071-2100. A linha verde mostra os valores observados no período 1970-1990, a linha azul os resultados da simulação com a nova metodologia de correção de erros sistemáticos e a linha vermelha os resultados apresentados por Gonçalves <i>et al</i> (2011)	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sub-bacias utilizadas e algumas informações	5
Tabela 2 – Percentiis 90 das vazões no tempo presente.....	10
Tabela 3 – Percentiis 90 das vazões no tempo futuro 2011 - 2040	10
Tabela 4 – Percentiis 90 das vazões no tempo futuro 2041-2070	10
Tabela 5 - Percentiis 90 das vazões no tempo futuro 2071-2099.....	10
Tabela 6 – Percentiis de 10 das vazões para todos os períodos.....	12
Tabela 7 – Mediana das vazões para todos os períodos	12

LISTA DE ABREVIATURA

- 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*)
- PROCLIMA - Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste
- SENAMHI - Serviços Nacionais de Meteorologia e Hidrologia

1. INTRODUÇÃO

A maior bacia hidrográfica do mundo, a Bacia Amazônica, abrange uma área de 7 milhões de km², tendo partes desse território na Colômbia, Equador, Venezuela, Bolívia e Peru onde se encontra a nascente do rio que dá origem ao nome da bacia, o rio Amazonas. Rios, córregos e ribeirões deságuam no Amazonas, a topografia plana e seus cursos de água caudalosos viabilizam o transporte fluvial, principal meio na região Norte, pois a maioria da bacia e seus afluentes são navegáveis.

O clima da bacia é equatorial com temperaturas variando desde 22 a 35 graus dependendo da região, com uma média de 1500 a 2500 milímetros de chuvas anuais, chegando a 5000 milímetros na região Andina.

Estudos mostram que a região Amazônica vem sofrendo muitas influências e modificações em seu ecossistema, como o aumento de temperatura global, da mesma forma que a tendência de aumento de temperatura à superfície causada pelo desmatamento (NOBRE, 2001). Com as mudanças climáticas, extremos climáticos e eventos intensos, como secas, veranicos, vendavais, tempestades severas, inundações, etc. serão mais frequentes (NOBRE, 2007) além da substituição gradual da floresta tropical por savana no leste da Amazônia (VALVERDE, 2007).

Estudos de cenários hidrológicos sob o impacto das mudanças globais são, em geral, conduzidos através de simulação com modelos hidrológicos alimentados por informações provenientes dos modelos atmosféricos. As simulações das variáveis meteorológicas, principalmente a precipitação, nos modelos atmosféricos ainda apresenta erros sistemáticos. Estes erros estão associados com o estado de conhecimento dos processos simulados, a estrutura dos modelos, escolha de parametrizações, escalas, entre outros. Como a simulação da resposta hidrológica de uma bacia apresenta uma alta sensibilidade à distribuição espaço temporal destas variáveis, assim como a suas magnitudes, resulta então necessário retirar o erro sistemático dos campos simulados antes de serem utilizados na modelagem hidrológica. A correção destes erros é realizada geralmente através da aplicação de comparações estatísticas das curvas de distribuição de frequências das variáveis.

Na bacia do Rio Madeira, Gonçalves *et al* (2011) aplicaram uma metodologia de correção de erros sistemáticos nos campos de precipitação baseada no trabalho de Wood *et al* (2002) com resultados de cenários poucos plausíveis nas vazões diárias mínimas da região. Este comportamento estava associado principalmente com o elevado número de dias sem precipitação simulados pelo modelo atmosférico (GONÇALVES *et al* , 2011).

Continuando com esse trabalho anterior, foi utilizada uma nova metodologia de correção de erros sistemáticos que permite a correção da quantidade de dias sem precipitação e mantém o salto na climatologia simulada pelo modelo atmosférico, associado com os cenários de mudanças climáticas.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

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

2.2. 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.

3. AREA DE ESTUDO: A BACIA DO RIO MADEIRA

A bacia do rio Madeira possui superfície de 1.420.000 km², tendo 51% do seu território na Bolívia, 42% no Brasil e 7% no Peru. A figura 1 mostra a localização da bacia do rio Madeira dentro da Bacia Amazônica e dividida entre seus países. O rio que dá o nome a bacia é o mais importante tributário do rio Amazonas com precipitação média anual de 1.940 mm e vazão média anual de 31.200 m³ s⁻¹, nasce com o nome de rio Beni na Cordilheira dos Andes e ao encontrar com o rio Mamoré, na fronteira entre Brasil e Bolívia, recebe o nome de Madeira.

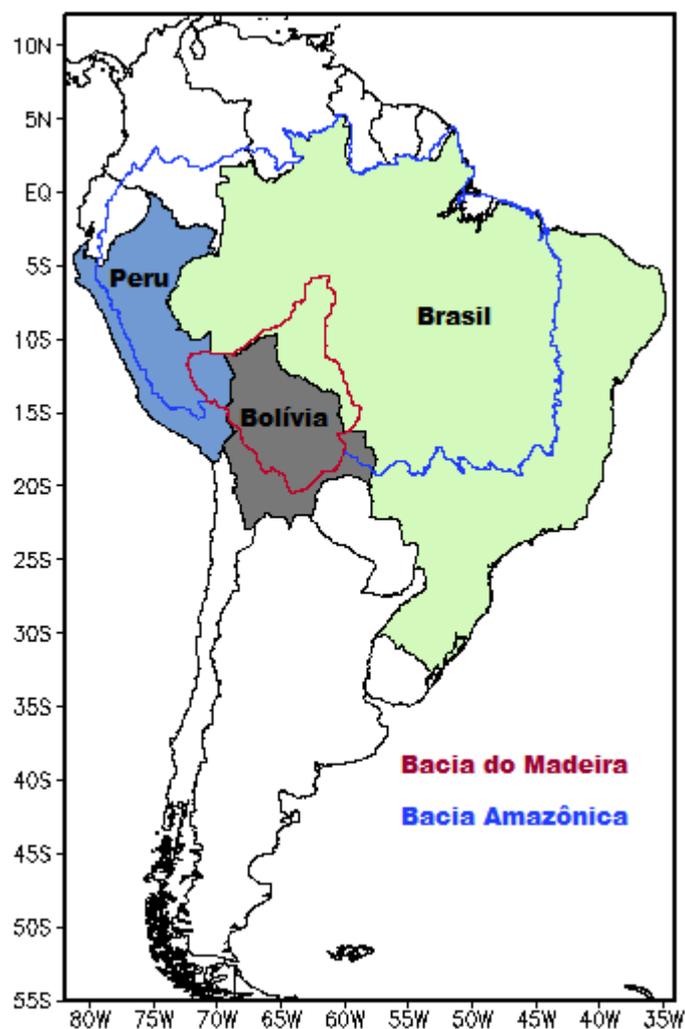


Figura 1 – Área da bacia Amazônica e a bacia do Rio Madeira

A área que o Madeira se encontra apresenta clima e relevo variados com elevadas altitudes na região Andina da Bolívia, aproximando-se de 6400 metros, até

profundos vales atingindo a planície amazônica com quase 500 metros, além de 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). Em suma, as condições climáticas da região são características do clima equatorial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. DADOS OBSERVADOS

Os dados de precipitação observados utilizados na elaboração deste trabalho foram obtidos da base de dados do PROCLIMA – Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste- do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, e dos Serviços Nacionais de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI) de Peru e de Bolívia. Dados observados de vazões e as informações sobre as estações fluviométricas da bacia (Tabela 1) foram obtidos da Agência Nacional de Águas – ANA.

Tabela 1 – Sub-bacias utilizadas e algumas informações

SB	Estação	ID-ANA	Rio	Lat.	Lon.	Área (km ²)
1	Mato Grosso	15120001	Rio Guaporé	-15.01	-59.96	23814
2	Guajará-mirim	15250000	Rio Mamoré	-10.79	-65.35	589497
3	Abunã	15320002	Rio Madeira	-9.70	-65.36	899761
4	Porto Velho	15400000	Rio Madeira	-8.75	-63.92	954285

5	Santa Isabel	15550000	Rio Candeias	-8.80	-63.71	12640
7	Ariquemes	15430000	Rio Jamari	-9.93	-63.07	7795
8	Ji-Paraná	15560000	Rio Ji-Paraná	-10.87	-61.94	33012
9	Tabajara	15580000	Rio Ji-Paraná	-8.93	-62.06	60212
10	Humaitá	15630000	Rio Madeira	-7.50	-63.02	1066240
11	Manicoré	15700000	Rio Madeira	-5.82	-61.30	1157516

Os dados de precipitação no período 1970-1990 foram utilizados na correção dos erros sistemáticos nos campos de precipitação simulados pelo modelo atmosférico Eta. As informações de descarga nas estações fluviométricas no mesmo período permitem a avaliação do desempenho do modelo hidrológico na simulação de vazões no tempo presente.

4.2. DOWNSCALING DINÂMICO DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS COM O MODELO ATMOSFÉRICO ETA

O modelo Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia e se tornou operacional na *National Centers of Environmental Prediction* (NCEP) (MESINGER et al, 1988, BLACK,1994). Esse modelo 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).

Para este trabalho foram utilizadas informações das simulações do modelo Eta para o tempo presente (1961-1990) e as projeções para o futuro (2011-2040), realizadas a partir de quatro membros do *Hadley Center Coupled Model* (CHOU

et al, 2011) . Estas informações são utilizadas para alimentar o modelo Hidrológico de Grandes Bacias – MGB-INPE.

4.3. CORREÇÃO DE ERROS SISTEMÁTICOS NOS CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO SIMULADOS PELO MODELO ATMOSFÉRICO ETA.

As informações dos campos de precipitação simulados pelo modelo atmosférico Eta foram submetidas a uma correção de erros sistemáticos. Para isto, uma nova metodologia baseada na proposta por Bardossy e Pegram (2011) foi empregada.

Esta metodologia utiliza uma comparação percentil-percentil para realizar a correção dos dados de precipitação simulados pelos modelos atmosféricos. Ela compara as distribuições de frequências observadas e simuladas de precipitações em cada mês, corrigindo o valor simulado pelo modelo por o valor de precipitação observado que apresenta o mesmo valor de probabilidade de ocorrência.

Por outro lado, na correção dos erros sistemáticos das projeções no futuro é também considerada a diferença entre as distribuições de probabilidade das precipitações simuladas pelo modelo atmosférico no tempo presente e no futuro. O valor da precipitação no futuro é associado com a probabilidade de ocorrência do mesmo na simulação do período histórico e esta probabilidade é associada com o valor de precipitação correspondente na distribuição de precipitações.

Desta forma, o salto na posição média das distribuições de frequências simuladas pelo modelo para o presente e o futuro é mantido. Ainda, a metodologia inclui a correção do número de dias sem precipitação em cada mês, aplicando também uma correção percentil-percentil.

4.4. MODELO MGB

O modelo MGB-INPE foi desenvolvido a partir do MGB-IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (Collischonn et al.,2007) modificando as rotinas de estimativas de evaporação e de separação de fluxos. A parametrização do MGB-INPE combina a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo Xinanjiang (ZHAO, 1992; ZHAO; LIU, 1995) com os

princípios utilizados no TOPMODEL (BEVEN; KIRKBY, 1979) para simular a resposta hidrológica. 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). A perda d'água por interceptação é simulada no modelo através da metodologia proposta por Gash *et al.* (1995). A captura d'água da vegetação desde o solo é resolvida considerando o modelo de distribuição de raízes de Jarvis (1989).

A bacia é subdividida em células regulares, comunicadas por canais de drenagem representando a rede de drenagem da mesma. Cada célula está dividida em blocos de uso do solo, que resultam da combinação da vegetação, do tipo do solo e do uso da terra. O MGB-INPE gera valores diários de vazão para as sub-bacias divididas, além de usar dados observados para corrigir possíveis erros sistemáticos e calibrar os valores.

4.5.CENÁRIOS HIDROLÓGICOS

Utilizando os dados corrigidos das projeções do modelo Eta, foram gerados cenários hidrológicos na bacia para os períodos de 1970-1990 e 2011-2040. Estes cenários foram comparados com aqueles gerados por Gonçalves et al (2011) para a mesma bacia, com o intuito de verificar as melhorias incluídas pela nova metodologia. Os cenários foram comparados em termos de climatológicas das descargas e do balanço hídrico, e em termos de percentiis da curva de duração de descarga.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. VAZÃO MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA

Os cenários gerados com a nova configuração apresentaram magnitudes de vazões mínimas mais plausíveis para as projeções futuras que aquelas apresentadas com a metodologia anterior.

O percentil 90 da curva de duração de vazões, associada com as menores descargas, de todas as sub-bacias analisadas apresentava valores baixos nos períodos futuros (figura 2), especialmente na sub-bacia de Mato Grosso, na qual se aproxima de 0.0 em 2011 a 2040 (tabela 3) e chega a secar de 2041 a 2099 (tabela 4 e 5). A nova metodologia obteve vazões mínimas mais altas, que decrescem a cada período, porém não chegam a secar nenhuma bacia.

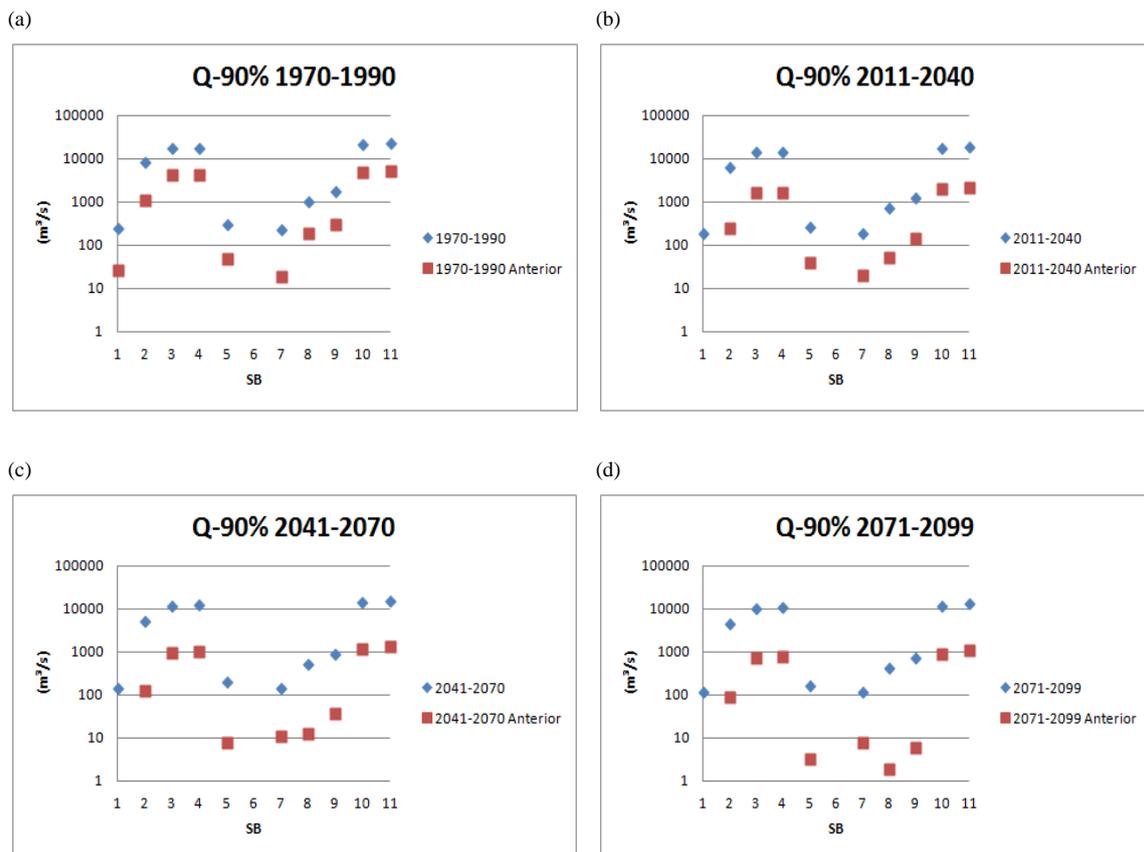


Figura 2 – Percentis 90 das vazões em todas as sub-bacias comparando valores atuais representados pelos losangos azuis, com os percentis apresentados por Gonçalves *et al* (2011) representado pelos quadrados vermelhos (a) no presente, (b) 2011-2040, (c) 2041-2070 e (d) 2071-2100.

Tabela 2 – Percentis 90% das vazões no tempo presente

1970-1990										
SB	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
Q 90%	244.3	7983.87	16925.5	17676.47	300.42	224.5	984.7	1682.6	20695.2	22414.1
Q 90% Anterior	17.73	993.42	4064.57	4088.01	43.25	17.14	152.69	246.06	4517.05	4792.83

Tabela 3 – Percentis 90% das vazões no tempo futuro 2011 - 2040

2011-2040										
SB	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
Q 90%	191.12	6373.89	13990.96	14516.7	257.5	188.5	722.29	1263.0	16875.6	18253.64
Q 90% Anterior	0.35	252.35	1625.09	1646.01	37.12	18.72	43.17	120.37	1920.54	2153.14

Tabela 4 – Percentis 90% das vazões no tempo futuro 2041-2070

2041-2070										
SB	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
Q 90%	143.2	5001.5	11639.3	11992.2	195.15	138.63	511.92	906.64	13742.9	14862.31
Q 90% Anterior	0.00	117.57	908.11	923.87	6.39	9.65	10.20	27.05	1078.40	1215.6

Tabela 5 - Percentis 90% das vazões no tempo futuro 2071-2099

2071-2099										
SB	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
Q 90%	113.6	4399.03	10312.7	10547	157.9	116.5	414.2	729.6	11932	12817.29
Q 90% Anterior	0.00	82.95	669.75	688.75	2.50	4.20	1.18	3.07	839.61	974.23

O percentil 10% da vazão, associado às maiores vazões mostra os níveis de vazões futuros muito próximos do presente, tendo em média uma redução de 26% nos valores. O período de 2011 a 2040 na sub-bacia Santa Isabel (sub-bacia 5), o valor máximo de vazão foi de 674.4 mm, maior que o período de 1970 a 1990, 659.59 mm (tabela 6). Os valores correspondentes à mediana (50%) das vazões (figura 4) também mostram um comportamento parecido, porém, nenhum tempo futuro possui resultado maior que o presente (tabela 7), decrescendo a vazão em média 12% por período.

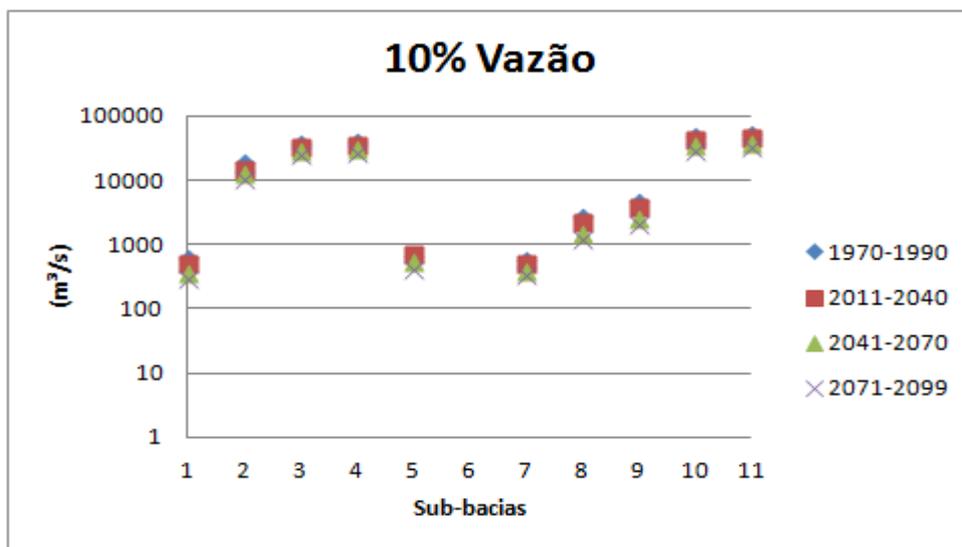


Figura 3 - Percentil 10% das curvas de duração de vazões de presente e futuro

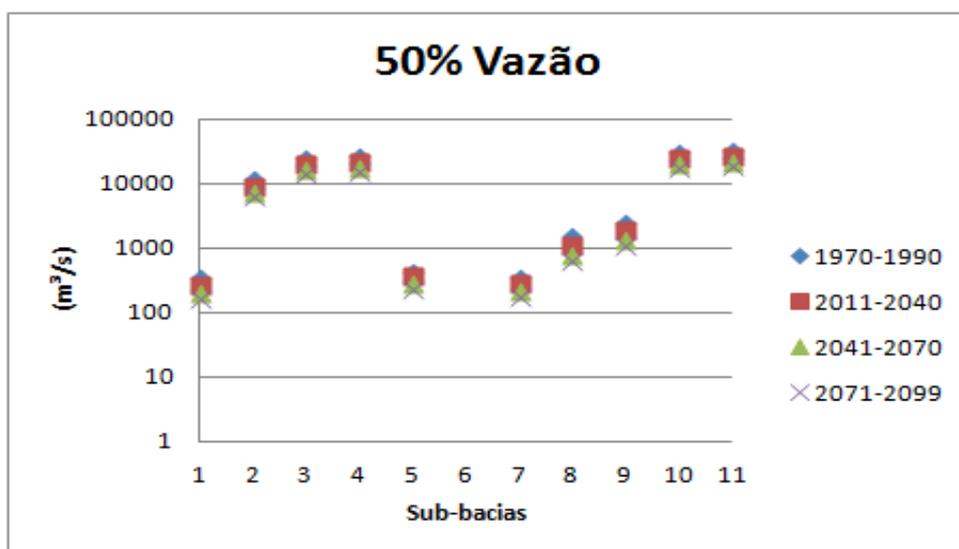


Figura 4 - Mediana das vazões do presente e futuro

Tabela 6 – Percentis de 10 das vazões para todos os períodos

Q-10%										
SB	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
1970-1990	602,7	18371,38	37882,46	40071,1	659,59	560,13	2747,15	4420,25	46543,6	49918,77
2011-2040	498,8	14759,7	32345,3	34696,0	674,4	510,75	2145,4	3630,95	40929,6	44380,5
2041-2070	365,3	12132,39	27885,11	29276,6	541,892	387,66	1481,93	2537,145	33680,1	36544,67
2071-2099	291,1	9945,24	24613,55	25533,3	412,546	321,842	1207,30	2084,189	28895,1	31663,82

Tabela 7 – Mediana das vazões para todos os períodos

Q-Mediana										
SB	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
1970-1990	342,30	11348,8	24240,49	25457,15	418,47	336,96	1510,13	2523,727	29759,07	32334,68
2011-2040	268,39	8909,15	19861,66	20730,4	371,09	283,70	1099,36	1886,65	24111,21	26271,175
2041-2070	200,14	7050,6	16641,88	17225,32	286,23	209,18	764,57	1339,81	19707,86	21490,86
2071-2099	160,04	6116,85	14588,8	14966,22	229,04	176,18	620,73	1082,05	16905,46	18284,83

5.2. COMPARAÇÃO DAS CLIMATOLOGIAS DE VAZÕES SIMULADAS E OBSERVADAS

Apesar das curvas de duração de vazões apresentarem resultados mais plausíveis para as projeções futuras das descargas na estiagem, as climatologias mensais mostram deficiências em algumas sub-bacias.

A figura 5 apresenta as climatologias de vazões mensais na estação Mato Grosso. As vazões obtidas com esta nova metodologia apresentam valores maiores que as obtidas por Gonçalves *et al* (2011). Não obstante, a nova climatologia apresenta uma defasagem a respeito daquela observada, com um mais rápido incremento das vazões a

partir de setembro. Na estação de Guajara Mirim persiste a defasagem na ocorrência do máximo (figura 6) verificada nos resultados de Gonçalves *et al* (2011), enquanto que em Ji-Paraná a sazonalidade aparece razoavelmente representada mas os valores das vazões são superestimados (figura 7). Esta deficiência na simulação da climatologia estaria associada com a necessidade de calibração do modelo com as novas informações meteorológicas obtidas.

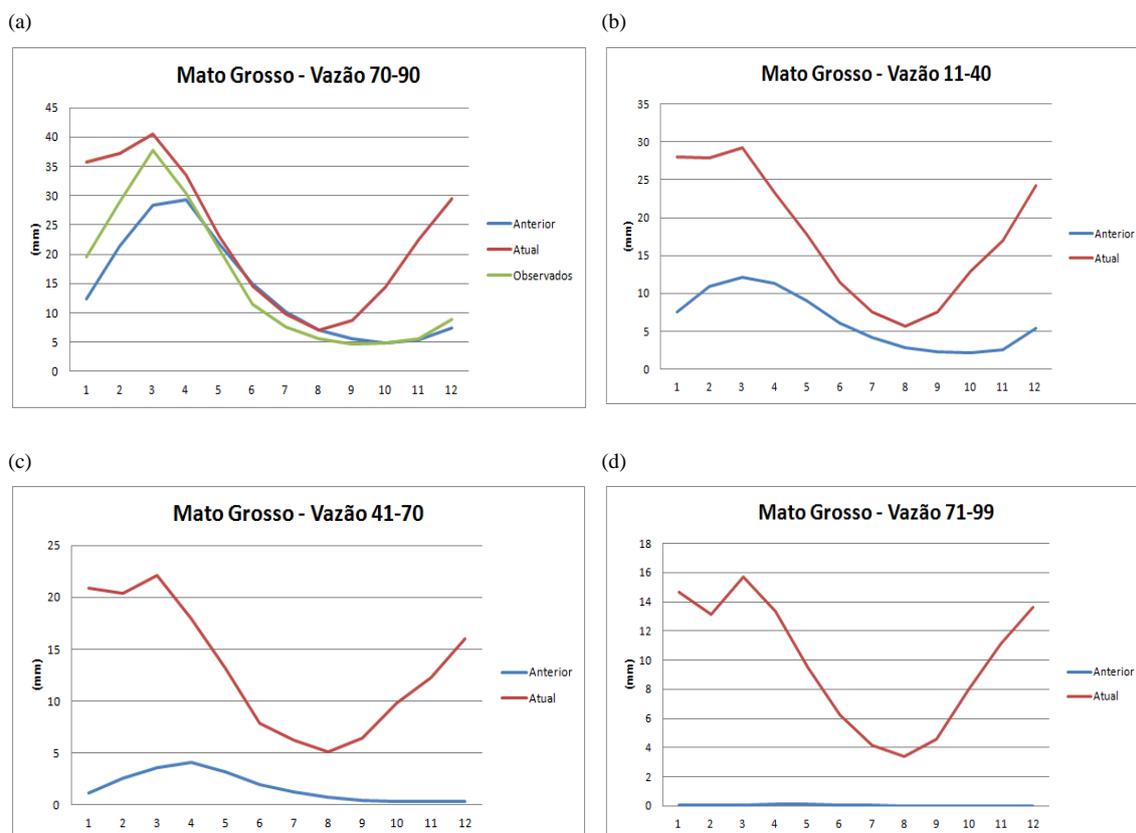


Figura 5 - Climatologias de vazões mensais na sub-bacia 1, (a) no presente, (b) na projeção para 2011-2040, (c) na projeção para 2041-2070 e (d) na projeção para 2071-2100. A linha verde mostra os valores observados no período 1970-1990, a linha azul os resultados da simulação com a nova metodologia de correção de erros sistemáticos e a linha vermelha os resultados apresentados por Gonçalves *et al* (2011)

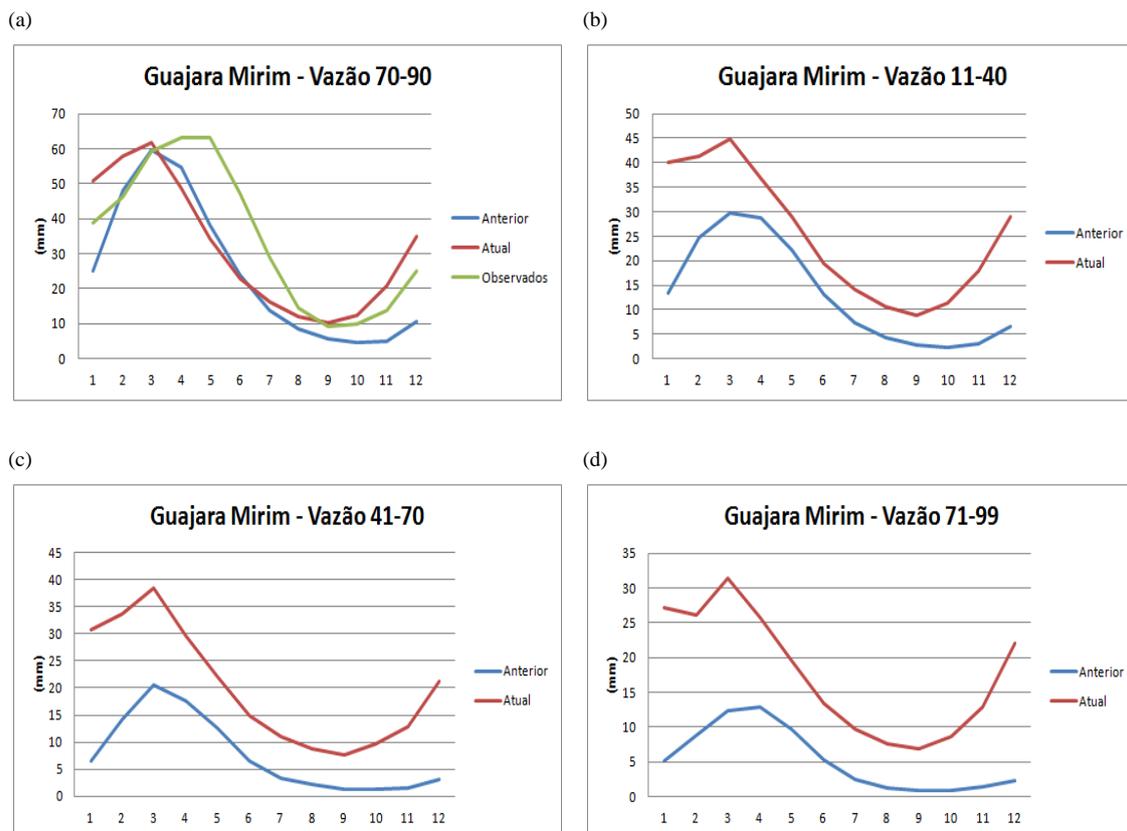


Figura 6 – Climatologias de vazões mensais na sub-bacia 2, (a) no presente, (b) na projeção para 2011-2040, (c) na projeção para 2041-2070 e (d) na projeção para 2071-2100. A linha verde mostra os valores observados no período 1970-1990, a linha azul os resultados da simulação com a nova metodologia de correção de erros sistemáticos e a linha vermelha os resultados apresentados por Gonçalves *et al* (2011)

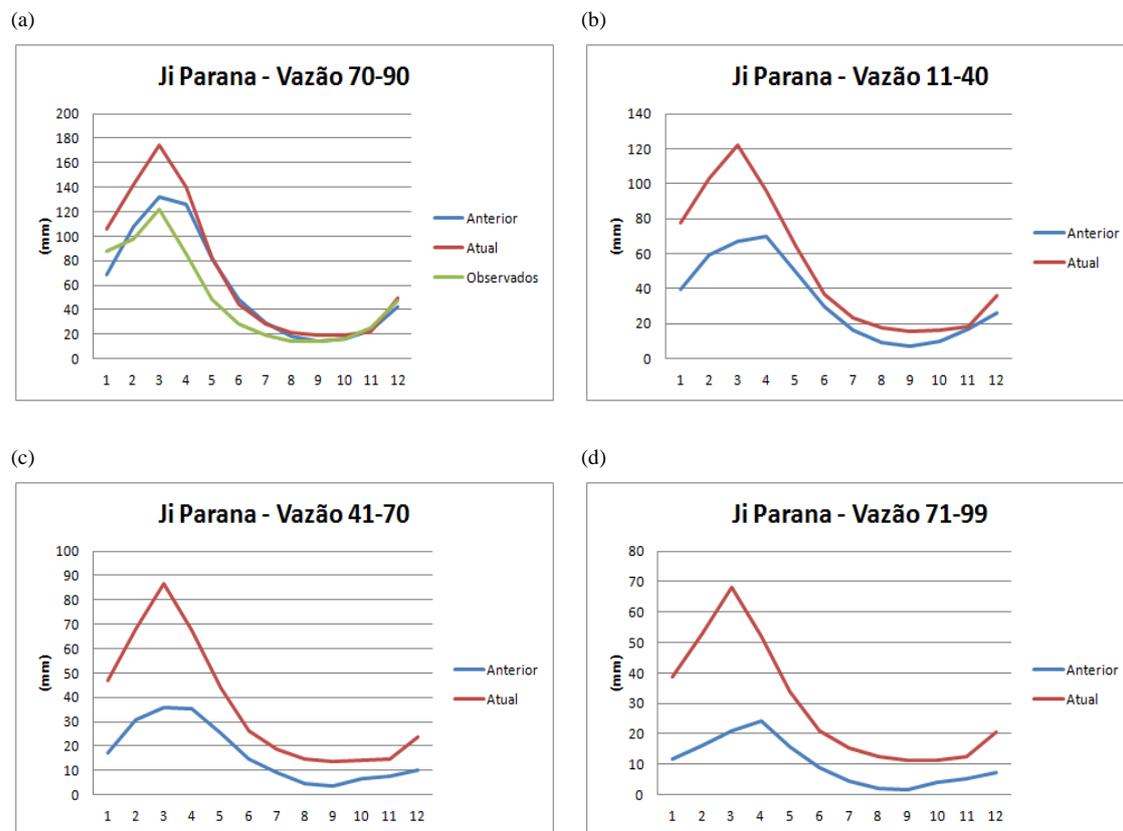


Figura 7 - Climatologias de vazões mensais na sub-bacia 8, (a) no presente, (b) na projeção para 2011-2040, (c) na projeção para 2041-2070 e (d) na projeção para 2071-2100. A linha verde mostra os valores observados no período 1970-1990, a linha azul os resultados da simulação com a nova metodologia de correção de erros sistemáticos e a linha vermelha os resultados apresentados por Gonçalves *et al* (2011)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Conclui-se que a nova metodologia atingiu o objetivo, de gerar vazões mínimas mais plausíveis nas projeções futuras que os valores apresentados anteriormente por Gonçalves *et al* (2011).

A correção de erros sistemáticos mostrou-se coerente com os resultados, porém, a comparação entre os dados simulados e os observados apresentou deficiências enquanto à correta simulação da sazonalidade das vazões. Esta limitação pode estar associada com a simulação da evapotranspiração no modelo hidrológico, que fora realizada utilizando dados meteorológicos observados. Uma melhora da calibração do modelo, considerando os campos meteorológicos simulados pelo modelo atmosférico, pode melhorar estes resultados.

Enquanto aos cenários hidrológicos, a aplicação desta nova metodologia não gerou diferenças nas tendências das variações das vazões. A vazão diminui nas projeções futuras decorrente de mudanças climáticas. As vazões máximas futuras estão muito próximas a do presente, em determinada bacia chega a passar o nível presente, assim como as vazões medianas, porém nenhum período futuro sobrepõe o presente, sendo assim, as vazões decresce a cada período. As vazões mínimas geradas pela nova metodologia atingiram valores plausíveis referente aos valores antigos, com todas as bacias gerando vazões significativas em ambos os períodos.

A continuação desse trabalho exigirá a calibração dos parâmetros do modelo, gerando assim uma metodologia mais eficiente com menos deficiências nas sazonalidades e mais coerência com os dados observados, além do desenvolvimento de cenários hidrológicos dos outros membros do *downscaling* dinâmico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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., BUSTAMANTE, J. F, TAVARES, P.: **Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs**, Springer-Verlag 2011

GASH, J.H.C.; Lloyd, C.R.; Lachaud, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. **Journal of Hydrology**, v. 170, p. 79-86, 1995.

GONÇALVES, A. S., **Estudos dos efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Madeira**. 2011.

IPCC, **Cambridge Univ. Press**. 2007

JARVIS, N.J. A simple empirical model of root water uptake. **Journal of Hydrology**, v. 107, p. 57-72, 1989.

MARENGO, J. A e VALVERDE, M. C. Caracterização do Clima no século XX e Cenário de Mudanças de Clima para o Brasil no século XXI usando modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, Campinas, Edição n° 8, Mudanças Climáticas, maio 2007.

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.

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, C., **Parcerias Estratégicas**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.Vol. 1, n.27, p. 24, 2007.

ZHAO, R.J. and Liu, X.R. The Xinanjiang model. In: Singh, V.P. (Ed.) **Computer Models of Watershed Hydrology**. Highlands Ranch: Water Resources Publication, 1995. p. 215–232.

ZHAO, R.J. The Xinanjiang model applied in China. **Journal of Hydrology**, v. **135**, p.371–381, 1992.

WIGMOSTA, M.S.; Nijssen, B.; Storck, P.; Lettenmaier, D.P. The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model, In: Singh, V.P.; Frevert, D.K. (Ed.) **Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications**. Littleton, CO: Water Resource Publications, 2002, p. 7-42.

Wood, A. W.; Maurer, E. P.; Kumar, A.; Lettenmaier, D. P. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, 107, 4429, 2002.