

UTILIZAÇÃO DE BASES DE DADOS ALTERNATIVAS PARA A MODELAGEM HIDROLÓGICA DE GRANDE ESCALA NA AMAZÔNIA

Alfredo Ribeiro Neto¹; Walter Collischonn²; Carlos E. M. Tucci³ & Rui Carlos Vieira da Silva⁴

RESUMO – Diferentes fontes de dados hidrológicos foram testadas com o objetivo de serem utilizadas em modelos matemáticos desenvolvidos para grandes bacias. Utilizaram-se dados de precipitação da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) e de reanálises do NCEP/NCAR corrigidas pelo *Center for Ocean Land Atmosphere* (COLA). Para o cálculo da evapotranspiração, utilizaram-se informações climatológicas do *International Satellite Land Surface Climatology Project* (ISLSCP) e as provenientes das reanálises do NCEP/NCAR. O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) foi utilizado para testar as bases de dados alternativas do COLA/NCEP/NCAR e do ISLSCP. O modelo foi aplicado em uma parte da porção brasileira da bacia do rio Madeira. Os resultados indicaram que a série de precipitação diária disponibilizada pelo COLA possui valores bastante próximos à série da ANA no período de 1979 a 1990. As simulações com o modelo mostraram que os resultados são praticamente iguais utilizando-se a série da ANA ou do COLA para o período citado.

ABSTRACT – Different hydrological data sources were tested in this work. These data sources should be used in mathematical models developed for large basins. It was used precipitation data from hydrometeorological network of the National Water Agency (ANA) and from NCEP/NCAR reanalysis corrected by Center for Ocean Land Atmosphere (COLA). Climatological data from International Satellite Land Surface Climatology Project (ISLSCP) and from NCEP/NCAR reanalysis were used to calculate evapotranspiration. Hydrological Model for Large Basins (MGB-IPH) was used to test the alternative data base from COLA/NCEP/NCAR and ISLSCP. The model was applied in Brazilian portion of the Madeira river basin. The results showed that COLA diary precipitation series has values very close to ANA precipitation series on the period 1979-1990. The model simulations showed that the results are quite similar using either ANA or COLA precipitation on the period 1979-1990.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica, dados hidrológicos e bacia amazônica

¹ Doutorando da Área de Recursos hídricos do Programa de Engenharia Civil - COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Caixa Postal 68506, CEP 21945-970, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, alfredo@coc.ufjf.br.

² Professor adjunto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Bento Gonçalves, 9500 Caixa Postal 15029, CEP 91501-970, Porto alegre, collischonn@uol.com.br.

³ Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Bento Gonçalves, 9500 Caixa Postal 15029, CEP 91501-970, Porto alegre, tucci@iph.ufrgs.br.

⁴ Professor titular do Programa de Engenharia Civil - COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Caixa Postal 68506, CEP 21945-970, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, rui@coc.ufjf.br.

INTRODUÇÃO

Assim como em outras grandes bacias, a Amazônia apresenta problemas com respeito à obtenção de dados para a realização adequada de modelagem hidrológica e para a avaliação quantitativa dos principais componentes do ciclo hidrológico. Um agravante da Amazônia refere-se ao fato de algumas de suas sub-bacias estarem localizadas em mais de um país. Com exceção do Brasil, que disponibiliza os dados hidrológicos levantados por entidades governamentais, os países onde a bacia amazônica está inserida não permitem o acesso de forma direta e rápida. Em alguns casos, os dados levantados nem mesmo se encontram em formato digital.

Dentre os dados mais importantes em uma modelagem hidrológica, os que possuem maior dificuldade de obtenção são precipitação, vazão e informações climatológicas para o cálculo da evapotranspiração. Informações de tipo de solo podem ser obtidos dos trabalhos realizados pelo RADAM-Brasil, cobertura vegetal é obtida de imagens de satélite e a altimetria pode ser retirada de modelos numéricos do terreno disponibilizados por agências internacionais como NASA e USGS.

Este artigo testa o uso de informações climatológicas e de precipitação levantadas por projetos internacionais e que cobrem todo o planeta. Ênfase maior é dispensada aos dados de precipitação, pois, nesse caso, é possível compará-los com os valores levantados por postos pluviométricos do Brasil. Realizaram-se simulações com um modelo hidrológico para grandes bacias com o intuito de se avaliar a possibilidade de uso dessas fontes de dados na bacia amazônica.

O uso de fontes de dados alternativas têm sido abordado em algumas pesquisas. Kite e Haberlandt (1999) utilizaram dados de precipitação, temperatura do ar, umidade do ar e radiação gerados por GCM, modelo regional NWP (*Numerical Weather Prediction*) e reanálises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmosphere Research* (NCAR) não corrigidas. Nesse trabalho, utilizou-se o modelo hidrológico SLURP na bacia do rio Mackenzie no Canadá. As simulações realizadas com dados provenientes de modelos regionais apresentaram os melhores resultados, com pequena diferença para as simulações realizadas com dados climatológicos observados. Em seguida, os dados do NCEP/NCAR apresentaram os melhores resultados e por último as informações do GCM. Esses dois últimos superestimaram a vazão na bacia.

Arnell (1999) utilizou valores mensais de variáveis climatológicas na modelagem hidrológica em grandes bacias da Europa, utilizando as fórmulas de Penman, Penman-Monteith e Priestley Taylor para o cálculo da evapotranspiração potencial.

Nasonova e Gusev (2005) utilizaram informações hidrometeorológicas do *International Satellite Land Surface Climatology Project* (ISLSCP) e do *Model Parameter Estimation Experiment* (MOPEX) em doze bacias dos Estados Unidos. Compararam-se os resultados das duas

bases de dados entre si e com os dados observados. As análises dos resultados permitiram visualizar a aplicabilidade dos dados globais para simulação do escoamento em nível regional.

MODELO HIDROLÓGICO

Utilizou-se o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) desenvolvido por Collischonn (2001). O MGB-IPH é um modelo distribuído por células e realiza simulações a nível diário. Cada célula é dividida em blocos de acordo com características como tipo de solo e cobertura vegetal. Cada bloco equivale a uma área hidrológicamente homogênea, ou seja, áreas em que se verifica um comportamento hidrológico semelhante.

O MGB-IPH utiliza a formulação do modelo Xinanjiang (Zhao *et al.*, 1980) para o cálculo do balanço hídrico no solo. A propagação do escoamento gerado é feita com o modelo do reservatório linear e para a propagação no canal utiliza-se o modelo de Muskingum-Cunge. A evapotranspiração potencial é calculada com a equação de Penman-Monteith.

ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para estudo está inserida na porção brasileira da bacia do rio Madeira e compreende a região entre as estações fluviométricas de Porto Velho e Fazenda Vista Alegre (mostradas na Figura 2). A superfície total dessa região é de 334.000 km² e a descarga média anual em Faz. Vista Alegre é de 31.000 m³/s. A Figura 1 mostra a bacia amazônica e a área de estudo inserida na bacia do rio Madeira.

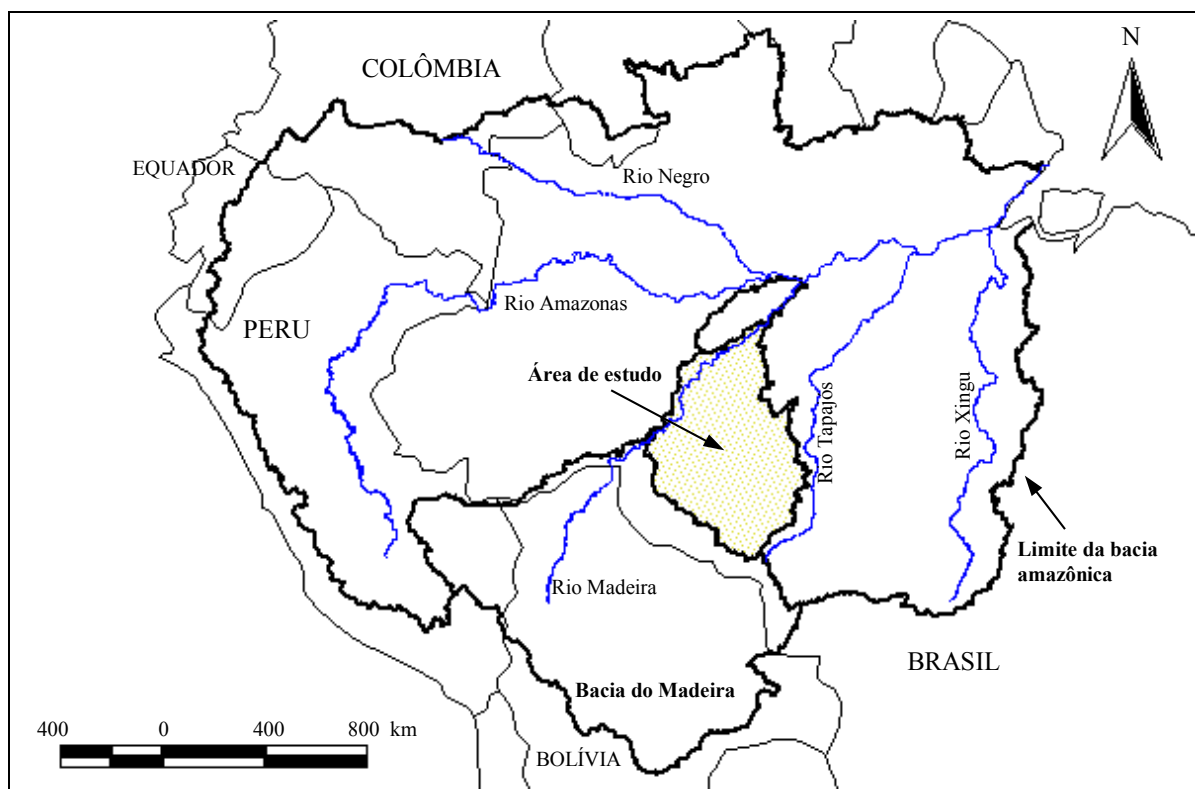


Figura 1 – Bacia amazônica e a área de estudo

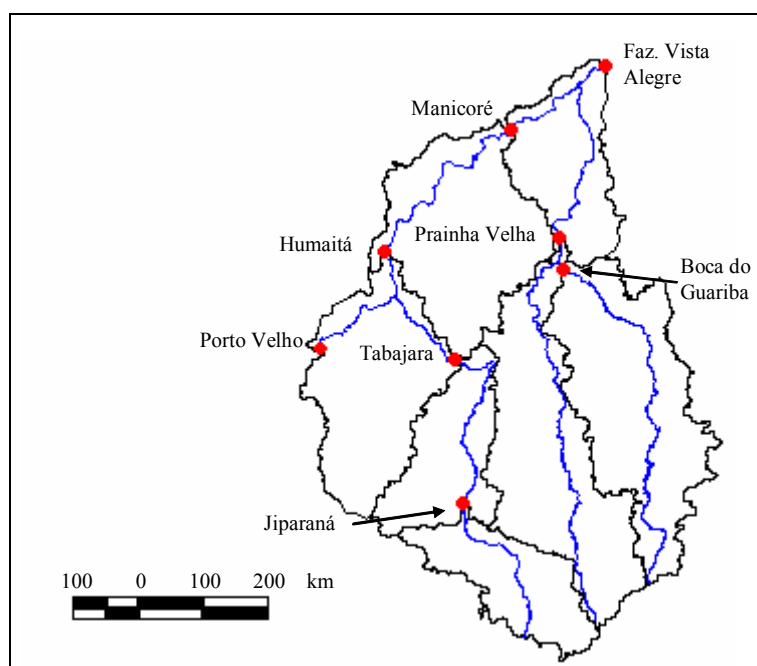


Figura 2 – Estações fluviométricas e as respectivas sub-bacias

Na Figura 2, pode-se visualizar a divisão da área de estudo em sub-bacias conforme representado pelo modelo. A Tabela 1 descreve as características das estações fluviométricas utilizadas. A área de drenagem das estações do rio Madeira (Humaitá, Manicoré e Faz. Vista Alegre) apresentadas na Tabela 1 referem-se apenas à área de estudo. Para a obtenção do valor real, deve-se somar à área de drenagem em Porto Velho (954.285 km²).

Tabela 1 – Características das estações fluviométricas da área de estudo

Nome	Código	Rio	Área de drenagem (km ²)
Jiparaná	15560000	Jiparaná	28.896
Tabajara	15580000	Jiparaná	59.429
Humaitá	15630000	Madeira	110.269
Manicoré	15700000	Madeira	167.584
Boca do Guariba	15800000	Aripuanã	68.069
Prainha Velha	15830000	Aripuanã	133.417
Faz. Vista Alegre	15860000	Madeira	333.865

DADOS UTILIZADOS

Dados de precipitação

Utilizaram-se os dados das estações pluviométricas da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram utilizados 60 postos pluviométricos, resultando em uma densidade de 5.564 km² por posto. A Figura 3 mostra a distribuição dos postos na bacia estudada.

As reanálises do NCEP/NCAR (Kistler *et al.*, 2001) constituíram a base de dados alternativa de precipitação utilizada neste trabalho. Um estudo de reanálise, como o do NCEP/NCAR, consiste

em se realizar simulações com modelos atmosféricos utilizando-se valores observados como condição inicial e de contorno. Um problema das reanálises diz respeito aos erros causados pelas características do modelo como, por exemplo, a sua resolução e parametrização. Com o intuito de superar essa deficiência, Dirmeyer e Tan (2001) utilizaram dados observados em toda a América do Sul para corrigir os valores encontrados pela reanálise do NCEP/NCAR.

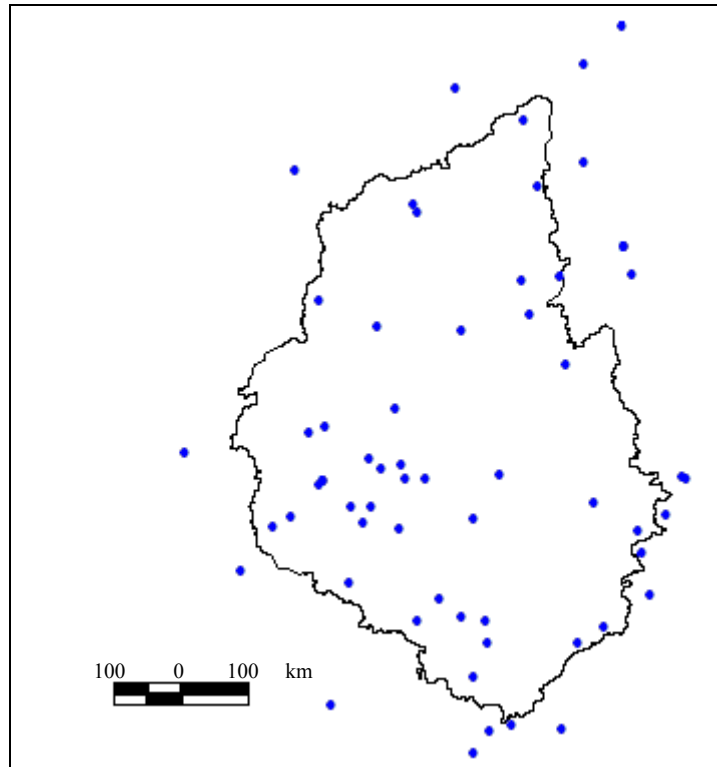


Figura 3 – Estações pluviométricas da ANA na bacia estudada

A correção utilizou a precipitação mensal levantada por Webber e Willmott (1998) de 1979 a 1990 e, de 1991 a 1999, utilizou a precipitação mensal levantada por *Climate Monitoring, Analysis and Prediction* (CMAP) (Xie e Arkin, 1997). A equação de correção é dada por:

$$[P]_{A,M,D,H} = \frac{[P_{OBS}]_M}{[P_{NCEP}]_M} \cdot [P_{NCEP}]_{A,M,D,H} \quad (1)$$

onde $[P]_{A,M,D,H}$ e $[P_{NCEP}]_{A,M,D,H}$ são, respectivamente, as precipitações corrigida e do NCEP/NCAR para a hora H, dia D, mês M e ano A, $[P_{OBS}]_M$ e $[P_{NCEP}]_M$ são as precipitações observada e do NCEP/NCAR correspondentes ao mês M. Esse trabalho foi realizado pelo *Center for Ocean Land Atmosphere* (COLA) e, por esse motivo, daqui em diante essa precipitação será identificada por COLA. Ao todo, utilizaram-se 46 pontos com valores diários de precipitação, cuja distribuição é mostrada na Figura 4.

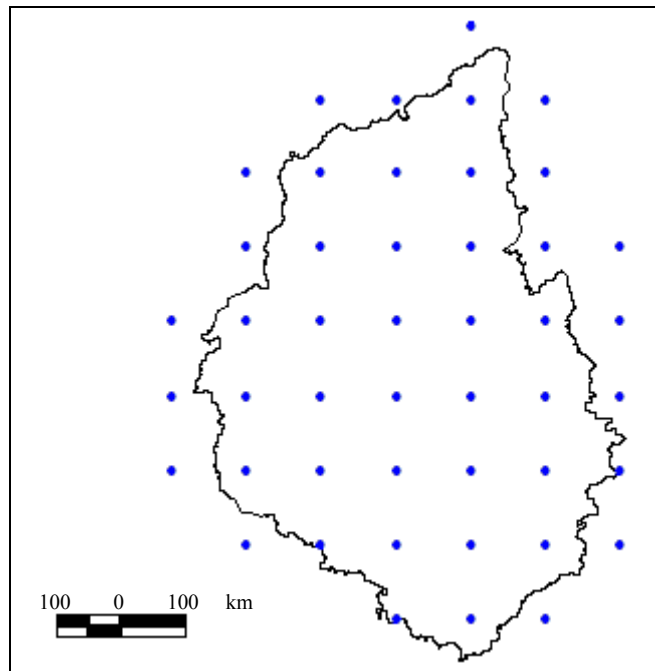


Figura 4 - Pontos com valores de precipitação do COLA

Dados climatológicos para o cálculo da evapotranspiração potencial

O modelo MGB-IPH utiliza 5 variáveis climatológicas para o cálculo da evapotranspiração potencial por meio do método de Penman-Monteith: temperatura do ar, pressão de vapor, velocidade do vento, radiação líquida e pressão atmosférica. Na Amazônia, não há um número suficiente de estações climatológicas com leitura a nível diário. Uma alternativa é o uso de valores levantados por projetos e instituições internacionais.

O ISLSCP fornece uma série mensal de 1986 a 1995 para as variáveis radiação líquida, pressão de vapor e temperatura do ar. A série de velocidade do vento e pressão atmosférica cobre o período de 1988 a 1989. Além disso, há velocidade do vento média de cada mês para o período 1961-1990. As variáveis velocidade do vento (no período de 1961-1990), pressão de vapor e temperatura do ar foram obtidas por meio de interpolação dos valores coletados em estações meteorológicas em todo o planeta. A pressão atmosférica e velocidade do vento (ambas no período de 1988-1989) foram obtidas por meio do uso de modelo atmosférico e, finalmente, a radiação líquida foi levantada a partir de medições de satélite.

Outra fonte de dados é o disponibilizado pelo COLA. Esses dados foram levantados juntamente com a precipitação discutida na seção anterior. A temperatura foi corrigida com os dados observados de Webber e Willmott (1998). A base de dados do COLA não fornece pressão de vapor diretamente, mas sim, umidade específica, a qual foi ajustada a partir da temperatura. A conversão para pressão de vapor foi realizada posteriormente. A pressão atmosférica e velocidade do vento não foram corrigidas. Os valores utilizados são os fornecidos pelas reanálises do NCEP/NCAR. Quanto à radiação líquida, há disponibilidade de valores mensais provenientes de

simulações com *Land Surface Schemes*, que utilizam as informações climatológicas das reanálises do NCEP/NCAR como dados de entrada. Tanto os dados do ISLSCP como do COLA possuem resolução espacial de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$.

VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO COM DIFERENTES FONTES DE DADOS

Para que se tivesse uma idéia inicial da representatividade dos dados de precipitação gerados pelo COLA, calculou-se a variação temporal na área de estudo para as duas fontes de dados (ANA e COLA). A variação média mensal da precipitação na área de estudo no período 1979-1999 é apresentado na Figura 5. Como se verifica, a partir de 1991 a precipitação calculada com dados do COLA passa a ser sensivelmente inferior à calculada com dados da ANA. Isso coincide com as informações utilizadas pelo COLA para corrigir a precipitação proveniente das reanálises do NCEP/NCAR: Webber e Willmott (1998) de 1979 a 1990 e CMAP de 1991 a 1999.

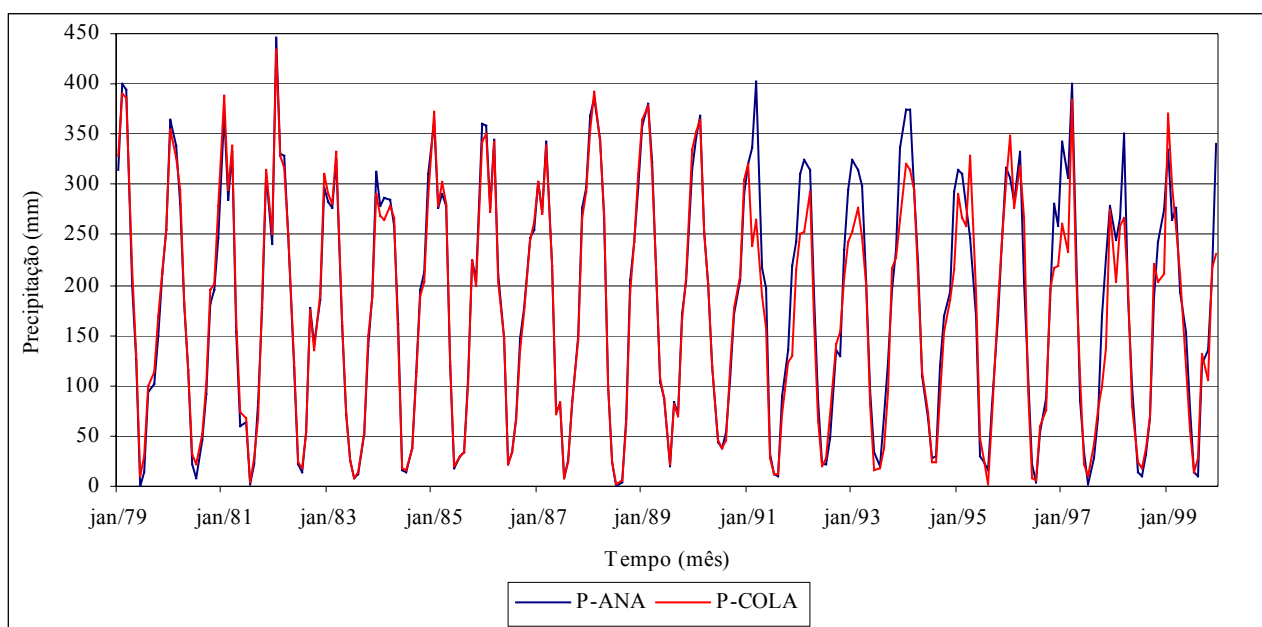


Figura 5 – Variação da precipitação média mensal na área de estudo entre 1979 e 1999

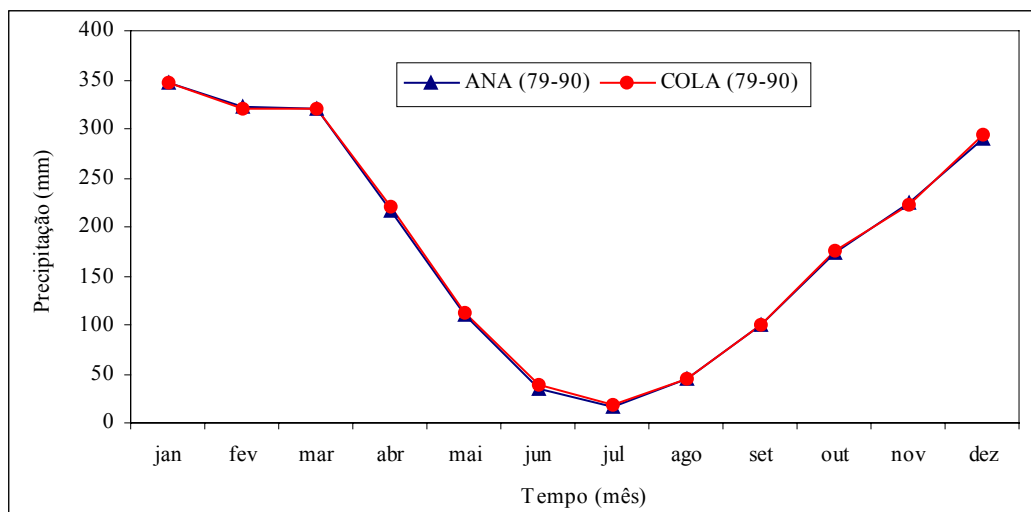


Figura 6 – Variação da precipitação média mensal de longo período na área de estudo (1979-1990)

A diferença de qualidade dos dados do COLA nesses dois períodos pode ser observada, também, ao se plotar a precipitação média mensal de longo período de 1979 a 1990 e de 1991 a 1999, as quais são mostradas nas Figuras 6 e 7.

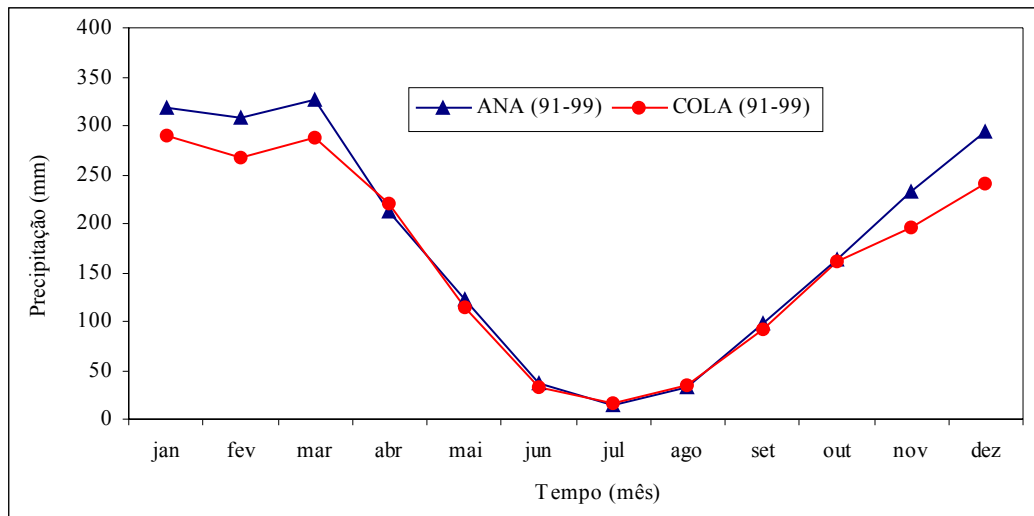


Figura 7 – Variação da precipitação média mensal de longo período na área de estudo (1991-1999)

VARIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL COM DIFERENTES FONTES DE DADOS

Calculou-se a evapotranspiração potencial média na área de estudo com os dados do ISLSCP e COLA para o período de 1986 a 1990. A equação de Penman-Monteith é dada por:

$$E = \left(\frac{\Delta \cdot R_n + \rho_A \cdot c_p \cdot \frac{(e_s - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_s / r_a)} \right) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot \rho_w} \quad (2)$$

onde E é a evapotranspiração (m/s), λ é o calor latente de vaporização (MJ/kg), Δ é a taxa de variação da pressão de saturação do vapor (kPa/°C), R_n é radiação líquida (MJ/m²/s), ρ_A é a massa específica do ar (kg/m³), ρ_w é a massa específica da água (kg/m³), r_s é a resistência superficial e r_a a resistência aerodinâmica, c_p é o calor específico do ar úmido (MJ/kg/°C), e_s é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa), e_d é a pressão de vapor d'água (kPa) e γ é a constante psicométrica (kPa/°C). Nos cálculos realizados, quando necessário, admitiu-se que a cobertura vegetal era floresta (principal cobertura na bacia).

A Figura 8 mostra a variação da evapotranspiração potencial média mensal do período calculada com as duas fontes de dados. Os resultado mostrou que há uma diferença sistemática, com a evapotranspiração potencial calculada com os dados do ISLSCP superior a do COLA, com

exceção dos meses de agosto e setembro. A média anual da evapotranspiração foi de 1.278 e 1.099 mm/ano, respectivamente, para ISLSCP e COLA.

Segundo Marques *et al.* (1980), a evapotranspiração real na bacia amazônica deve estar entre 1.146 e 1.260 mm/ano e a razão entre evapotranspiração real e potencial deve variar de 0,7 a 0,8. Dessa forma, a evapotranspiração potencial deveria estar entre 1.433 e 1.800 mm/ano. As informações climatológicas do ISLSCP fornecem valores de evapotranspiração potencial mais próximo dos sugeridos na literatura. Por esse motivo, deve-se, preferencialmente, utilizar essa fonte de dados.

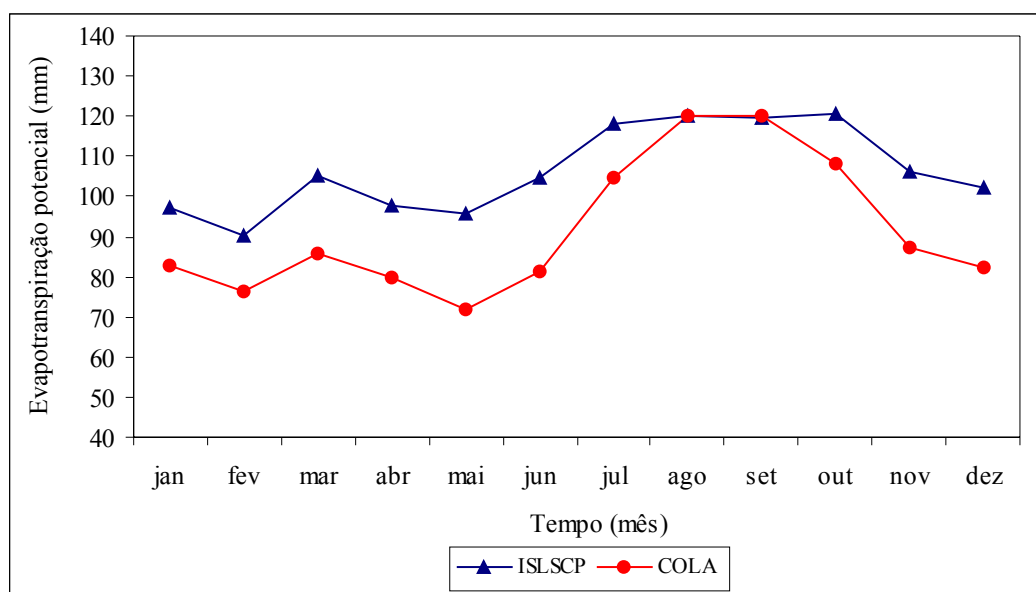


Figura 8 - Variação da evapotranspiração potencial média mensal na área de estudo (1986-1990)

SIMULAÇÕES COM O MODELO HIDROLÓGICO

Utilizou-se o período de dados de 1986 a 1990 nas simulações com o modelo MGB-IPH. Como a área de estudo fica a jusante da bacia, fez-se necessário a adição da vazão que chega na estação de Porto Velho (indicada na Figura 2). A vazão gerada entre Porto Velho e Faz. Vista Alegre (correspondente à área de estudo) equivale, em média, a 37,00% da vazão em Faz. Vista Alegre.

Foram realizadas duas simulações, uma utilizando-se precipitação da ANA e outra utilizando-se precipitação do COLA, ambas com as variáveis climatológicas do ISLSCP. Os parâmetros do modelo foram calibrados por tentativa e erro e os critérios estatísticos utilizados para a avaliação da qualidade das simulações foram o coeficiente de Nash (R^2) e a relação entre volumes medidos e calculados (ΔV). Nas duas simulações, utilizou-se o mesmo conjunto de parâmetros.

A variação espacial da precipitação média anual entre 1986 e 1990 na área de estudo é mostrada na Figura 9. Verifica-se que as duas fontes de dados possuem um padrão de distribuição espacial semelhante.

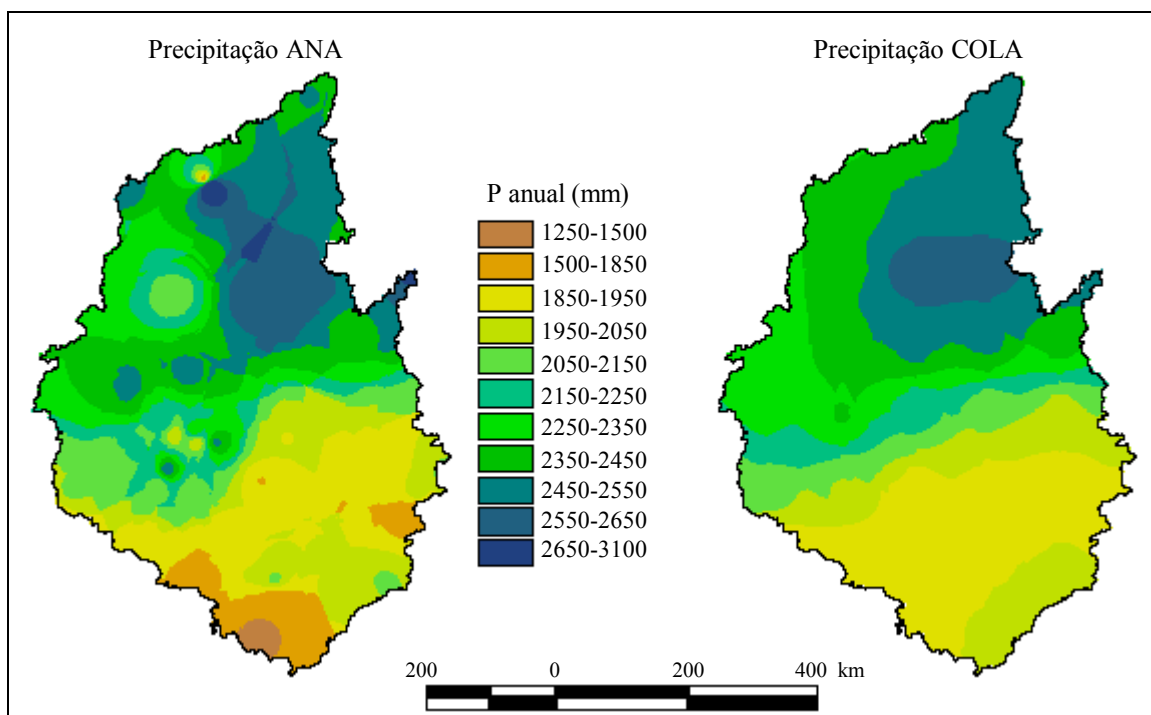


Figura 9 – Distribuição espacial da precipitação média anual na área de estudo entre 1986 e 1990

A Tabela 2 mostra os valores das funções R^2 e ΔV para as sub-bacias nas duas simulações. As linhas destacadas referem-se às sub-bacias que não recebem influência da vazão em Porto Velho, logo, são mais importantes para a avaliação. A Figura 10 apresenta os hidrogramas observado e calculado na estação de Faz. Vista Alegre. Verifica-se que há um bom ajuste entre os hidrogramas observado e simulado em Faz. Vista Alegre. Isso é um indicativo de que o modelo consegue representar adequadamente o processo de transformação da precipitação em vazão na bacia estudada e que seu uso é promissor para toda a bacia do rio Madeira.

Tabela 2 – Valores dos critérios estatísticos de avaliação

Sub-bacia	Precipitação ANA		Precipitação COLA	
	R^2	ΔV	R^2	ΔV
Jiparaná	0,883	-9,160	0,795	-13,781
Tabajara	0,845	8,588	0,879	1,646
Humaitá	0,957	-0,530	0,960	-1,797
Manicoré	0,747	-18,710	0,756	-18,966
Boca do Guariba	0,606	34,246	0,727	25,757
Prainha Velha	0,794	8,495	0,819	1,146
Faz. Vista Alegre	0,882	0,507	0,890	-0,925

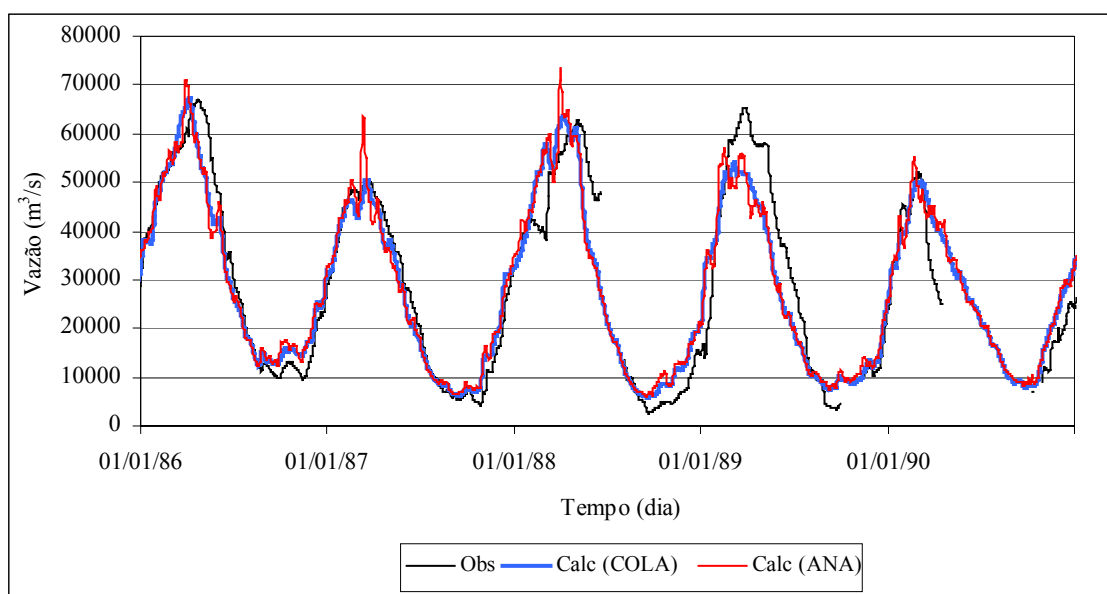


Figura 10 – Hidrogramas observado e calculado em Faz. Vista Alegre

CONCLUSÕES

A comparação dos dados de precipitação da rede da ANA e os levantados pelo COLA mostrou que até o ano de 1990 os dois valores são bastante próximos. Isso deve ser explicado pelos fatores de correção utilizados para os dois períodos: 1979-1990 (dados de Webber e Willmott (1998)) e 1991-1999 (dados do CMAP). Isso pode indicar que os dados fornecidos por Webber e Willmott (1998) possuem qualidade superior aos dados do CMAP.

O cálculo da evapotranspiração potencial indicou que a base de dados do ISLSCP fornece valores mais próximos da realidade que a base do COLA. Por isso, sugere-se que se utilizem, preferencialmente, os dados do ISLSCP. Os dados do COLA deveriam ser utilizados com ressalva e em situações cujo período simulado não seja contemplado pelo ISLSCP.

A utilização do modelo MGB-IPH foi útil para reforçar a verificação da qualidade dos dados de precipitação do COLA. As simulações realizadas indicaram que, globalmente, há pouca diferença no resultado ao se utilizar precipitação da ANA ou do COLA. Pode-se chegar a essa conclusão apesar de ter-se forçado a vazão em Porto Velho, pois, em sub-bacias que não sofrem influência da vazão dessa estação, os resultados das duas simulações foram semelhantes também.

O uso da precipitação do COLA mostrou que esses dados podem ser utilizados de forma complementar aos dados da ANA, além de poderem ser utilizados na parte da bacia amazônica localizada fora do Brasil, onde é difícil a obtenção de informações hidrológicas.

Maiores estudos devem ser realizados no sentido de se obter valores de evapotranspiração potencial mais próximos da realidade. Isso pode ser feito testando-se outras fontes de dados alternativas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio em forma de bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

- ARNELL, N.W. (1999). "A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain". *Journal of Hydrology*, v. 217 (3-4), pp. 314-335.
- COLLISCHONN, W. (2001). *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Tese de D.Sc., IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS.
- DIRMEYER, P.A. and TAN, L. (2001). *A multi-decadal gridded meteorological and land surface data set over South America*. COLA Technical Report, COLA, Calverton, USA.
- KISTLER, R., KALNAY, E., COLLINS, W. *et al.* (2001). "The NCEP/NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation". *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 82 (2), pp. 247-268.
- KITE, G.W. e HABERLANDT, U. (1999). "Atmospheric model data for macroscale hydrology". *Journal of Hydrology*, v. 217 (3-4), pp. 303-313.
- MARQUES, J., SALATI, E. e SANTOS, J.M. (1980). "Cálculo da Evapotranspiração Real na Bacia Amazônica Através do Método Aerológico". *Acta Amazonica*, v. 10 (2), pp. 357-361.
- NASONOVA, O. e GUSEV, Y. (2005). "The application of global 1-degree data sets for prediction in ungauged basins using a land surface model". In *Anais da VII IAHS Scientific Assembly*, Foz do Iguaçu, 3 a 9 de Abril.
- WEBBER, S.R. e WILLMOTT, C.J. (1998). *South America precipitation: 1960-1990 gridded monthly time series*. Center for Climatic Research, Dept. of Geography, University of Delaware, Newark, EUA.
- XIE, P. e ARKIN, P.A. (1997). "Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical outputs". *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78 (11), pp. 2539-2558.
- ZHAO, R.J., ZHANG, Y.L., FANG, X.R. *et al.* (1980). "The Xinnanjing model". in *Hydrological Forecasting Proceedings Oxford Symposium*, IAHS 129, pp. 351-356.