ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estimativa de precipitação e vazões médias para a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil

Renato Oliveira da Silva Júnior¹, Joaquim Carlos Barbosa Queiroz², Douglas Batista Silva Ferreira³, Alexandra Lima Tavares⁴, Pedro Walfir Martins e Souza Filho⁵, José Tasso Felix Guimarães⁶, Edson José Paulino da Rocha⁷

¹Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA. renato.silva.junior@itv.org. (autor correspondente). ²Professor Associado IV, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA. joaquimqz@gmail.com. ³Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA. douglas.silva.ferreira@itv.org. ⁴Bolsista Pós-doutorado, Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém-PA. alexandra.tavares@pq.itv.org. ⁵Pesquisador Titular A, Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém-PA. pedro.martins.souza@itv.org. ⁶Pesquisador Adjunto A, Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém-PA. tasso.guimaraes@itv.org. ⁷Professor Titular, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA. eprocha@ufpa.br.

Artigo recebido em 12/04/2017 e aceito em 23/07/2017

RESUMO

Este artigo discute a relação entre dados observados de precipitação de sete estações meteorológicas e os dados resultantes de interpolação realizadas pelo *Climate Prediction Center* (CPC) para a área da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, no período de 1986-2005. O trabalho avalia também a aplicação de metodologias expeditas para estimar vazões médias mensais nas sub bacias, a partir de uma única estação de referência situada em seu exutório. As vazões foram estimadas pelos métodos de correção pela área de drenagem e de padronização de vazões médias comparadas com vazões medidas (1985-1995) em uma de suas sub bacias. Os resultados obtidos para a precipitação mostraram-se compatíveis com o comportamento sazonal definido para a região, cuja correlação entre os dados observados e os interpolados pelo CPC demonstram que estes representam bem a variabilidade espaço-temporal da precipitação na BHRI. A análise dos resultados das estações meteorológicas mostrou uma tendência de incremento na precipitação de leste para oeste, cujo comportamento pode estar associado a densa cobertura florestal que compõe o mosaico de Unidades de Conservação (UC's), combinado com altitudes elevadas (600-800 m) da Serra de Carajás. A avaliação do comportamento das vazões da única estação (Fazenda Alegria) com série de dados fluviométricos disponíveis apresentou resultados consistentes com o comportamento sazonal das curvas de vazão dentro do ano hidrológico. Os métodos utilizados para a estimativa de vazões mostraram resultados diferenciados em termos absolutos, porém, as curvas de vazões estimadas acompanham o comportamento da curva de vazões medidas na estação Fazenda Rio Branco.

Palavras-chaves: Estimativa, precipitação, vazão, sub bacia, Amazônia Oriental.

Estimation of Precipitation and average Flows for the Itacaiúnas River Watershed (IRW) - Eastern Amazonia, Brazil

ABSTRACT

This paper discusses the relationship between observed precipitation data from seven meteorological stations and the resulting interpolation data from the *Climate Prediction Center* (CPC) for the area of the Itacaiúnas river basin (BHRI), Eastern Amazonia, in the period 1986-2005. The work also evaluates the application of expeditious methodologies to estimate monthly average flows in the sub basins, from a single reference station located in its exutório. The flow rates were estimated by the methods of correction by the drainage area and standardization of average flows compared to measured flows (1985-1995) in one of its sub basins. The results obtained for the precipitation were compatible with the seasonal behavior defined for the region, whose correlation between the data observed and those interpolated by the CPC show that they represent well the spatio-temporal variability of the precipitation in the BHRI. The analysis of the results of the meteorological stations

showed a tendency of increase in the precipitation from east to west, whose behavior may be associated with dense forest cover that composes the mosaic of Conservation Units (UC's), combined with high altitudes (600-800 m) of the Serra de Carajás. The evaluation of the flow behavior of the single station (Fazenda Alegria) with a series of available fluvimetric data presented results consistent with the seasonal behavior of the flow curves within the hydrological year. The methods used for the estimation of flow rates showed different results in absolute terms, however, the estimated flow curves follow the behavior of the measured flow curve in Fazenda Rio Branco station.

Keywords: Estimation, precipitation, flow, sub basin, Eastern Amazon

Introdução

A gestão dos recursos hídricos é uma necessidade premente que objetiva ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais por água em níveis sustentáveis e permitir sua utilização atual e futura, bem como reduzir os diversos conflitos pelo seu uso (Soares et al., 2010). No Brasil, a ocorrência de conflitos envolvendo os diversos setores usuários tem-se intensificado, mesmo com a implementação de uma série de instrumentos específicos para o gerenciamento dos recursos hídricos de forma múltipla e integrada, fato que decorre do crescimento populacional e da diversificação das atividades econômicas representadas pela industrialização e agricultura intensivas, aliadas à urbanização. Tais processos geram o aumento, em grande escala, da utilização da água para atendimento das demandas da sociedade, seja como bem de consumo final ou como matéria prima no processo produtivo (Fioreze et al., 2008; Oliveira e Fioreze, 2011).

A grande variabilidade espaço-temporal das características físicas e climáticas, aliada à escassez de informações da rede hidrométrica para orientar estudos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, coloca em evidência o emprego de metodologias específicas que otimizem as informações fluvimétricas existentes, extrapolando-as por semelhanças das dinâmicas ambientais para locais com dados insuficientes ou inexistentes (Barbosa et al., 2005; Ribeiro et al., 2005). A precipitação e a vazão, bem como todas as outras variáveis utilizadas para a caracterização de processos hidrológicos, possuem comportamento aleatório, exigindo, para suas adequadas avaliações, séries históricas representativas e confiáveis.

Apesar dos avanços científicos e tecnológicos pelos quais os sistemas de medições meteorológicas passaram nas últimas décadas, ainda existe, em muitas partes do globo, uma carência considerável de observações meteorológicas que formem séries de longos períodos. Essa lacuna de observações meteorológicas em muitas regiões do planeta, como a Amazônia, se deve, em grande parte,

à dificuldade em conseguir registros das variáveis hidro meteorológicas, devido a questões geográficas e econômicas. Análises de regionalização associadas ao regime de vazões aplicam-se especialmente em bacias desprovidas ou com poucos dados fluvimétricos; tendo como interface a verificação da viabilidade de uso para calibrar os parâmetros de modelos hidrológicos de transformação de chuva em vazão (Kroll et al., 2004).

Na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), a estação fluvimétrica Fazenda Alegria que representa o exutório de uma área de drenagem de aproximadamente 38.982 km², dispõe de uma série histórica de dados referentes a níveis diários e vazões que excedem 40 anos. Embora a série seja longa, existem falhas a serem preenchidas. A disponibilidade de dados de precipitação é superior aos de vazão, graças ao maior número de postos meteorológicos em funcionamento, tendo sido identificadas sete estações pluviométricas ativas com 20 anos de registros contínuos.

Baseado na relação de homogeneidade entre regiões (Silva Jr., 2001; Tucci, 2002; Fioreze et al., 2008), é possível utilizar a interpolação de dados de áreas hidrológicamente semelhantes para estimar as vazões em locais com poucos dados. Diante do exposto, este estudo tem por objetivos: i) discutir a relação entre os dados observados de pluviometria de sete estações meteorológicas e os dados de interpolação do *Climate Prediction Center* (CPC) para a área da BHRI durante o período de 1986 a 2005; e ii) estimar as vazões médias mensais em suas sub bacias a partir de um único posto de referência (Estação Fazenda Alegria) utilizando duas metodologias expeditas: correção pela área de drenagem e de padronização de vazões médias a serem comparadas às vazões medidas (1985-1995) em uma de suas sub bacias.

Material e métodos

Área de estudo

O rio Itacaiúnas é afluente da margem esquerda do rio Tocantins, após a confluência com o

rio Araguaia na região hidrográfica Araguaia-Tocantins (Brasil, 2003). A BHRI apresenta área de drenagem total de 42.639 km² (Figura 1). A estação fluviométrica Fazenda Alegria representa o exutório de uma área de drenagem de 38.982 km² correspondendo a 91,4% da área total da bacia. Assim, a área de abrangência deste estudo é formada pelas sub bacias dos rios Itacaiúnas (19.589 km²), Parauapebas (9.522 km²), Vermelho (7.208 km²), Cateté (3.657 km²) e Tapirapé (2.663 km²). O rio Sororó desagua à jusante da estação Fazenda Alegria, assim, não será analisado. O relevo é caracterizado por altitudes variando entre 60 e 300 m e declividades em torno de 4°. Acidentes geográficos, tais como a Serra dos Carajás, ocorrem na área onde a altitude máxima atinge $\approx$ 900m com grande amplitude de relevo. Na área da bacia predominam dois tipos de cobertura de solo: floresta tropical e savana de montanha; e usos da terra dominados por extensas pastagens que circundam um mosaico de

remanescentes florestais composto por terras indígenas e unidades de conservação (UC's), que ocupam 11.700 km², ou aproximadamente, um quarto da área da bacia (Souza-Filho et al., 2016).

O clima da região foi definido como típico de monção (Am) (Alvares et al., 2013). Os estudos realizados para o Estado do Pará, por Moraes et al. (2005), constataram que na região sudeste, o trimestre mais chuvoso ocorre entre fevereiro e abril, e o período menos chuvoso são os meses de agosto, setembro e outubro. O método utilizado por esses autores para definição dos períodos mais e menos chuvosos para a região foi o proposto por Kassam (1979), baseado em médias mensais de precipitação e evapotranspiração potencial. Conforme INMET (1992), a temperatura do ar apresenta médias acima de 26°C, sendo que o valor médio registrado para a região da bacia foi de 27,2 °C, com umidade relativa do ar em torno de 80%.

Figura 1. Bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas destacando os principais rios (linhas em azul). Localização das estações Pluviométricas: Pluv_1-Km-60/PA-150; Pluv_2-Fazenda Surubim; Pluv_3-Fazenda Santa Elisa; Pluv_4-Eldorado; Pluv_5-Fazenda Caiçara; Pluv_6-Serra dos Carajás e Pluv_7-Projeto Tucumã; e Fluviométricas: Fluv_1-Fazenda Rio Branco e Fluv_2-Fazenda Alegria.

Coleta de dados pluviométricos

Foram utilizados dados das médias mensais de sete estações pluviométricas (Tabela 1) da Agência Nacional de Águas (ANA) com registro contínuo no período de 1986 a 2005. Os dados de precipitação foram consistidos e avaliados para cada estação através da análise de agrupamento pelos métodos de ligação simples e completa usando a distância euclidiana.

A Figura 1, mostra a localização geográfica dos postos utilizados no estudo e o modelo de elevação digital da bacia. As sete estações estão distribuídas em três regiões: quatro na porção leste (Pluv_1, Pluv_2, Pluv_3, Pluv_4), com média de 83 a 165 dias de chuva por ano, duas na porção sudoeste (Pluv_5 e Pluv_7), com média de 120 dias de chuva ao ano, e uma estação na porção centro-norte (Pluv_6) com uma média de 146 dias de chuva ao ano.

Como a distribuição das estações pluviométricas terrestres não é uniforme na BHRI, e a área de influência das setes estações não cobre a área total da bacia, e visando estimar a precipitação média para toda a área foi realizada uma estimativa dos dados de precipitação com base na interpolação espacial de dados médios mensais de precipitação obtidos do CPC cujo projeto de análise de precipitação global diária, baseada em dados de estações meteorológicas de superfície (automáticas e convencionais) foi criado pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP/EUA) com o objetivo de aprimorar as análises e melhorar a consistência qualitativa e quantitativa das informações (Silva et al., 2007; Xie et al., 2007; Chen et al., 2008; Silva Ferreira et al., 2015). Os dados do CPC possuem formato ASCII GRID, e está associado a um sistema de coordenadas geográficas espaciais, onde cada valor representa um código para a identificação da bacia, com pixel de 0,5° (55km x 55km) de resolução.

Tabela 1. Totais anuais, concentração média dos percentuais de chuva e extensão dos períodos chuvoso, seco e de transição para as estações pluviométricas utilizadas.

Código	Nome da Estação	Total Anual (mm)	% Chuva Dez-Mai	% Chuva Jan-Fev-Mar	Chuvoso		Transição	Seco		Transição
					Início	Fim		Início	Fim	
Pluv_1	Km 60/PA-150	1672	84	52	Dez	Abr	Mai	Jun	Set	Out-Nov
Pluv_2	Fazenda Surubim	1653	76	46	Dez	Abr	Mai	Jun	Set	Out-Nov
Pluv_3	Fazenda Santa Elisa	1545	76	47	Nov	Abr	Jun	Jun	Set	Out
Pluv_4	Eldorado	1722	82	49	Dez	Abr	Mai	Jun	Set	Out-Nov
Pluv_5	Fazenda Caiçara	1706	71	42	Set	Abr	---	Mai	Ago	---
Pluv_6	Serra dos Carajás	1763	78	48	Nov	Abr	Mai	Jun	Set	Out
Pluv_7	Projeto Tucumã	1863	75	49	Jan	Mar	Abr	Mai	Set	Out-Dez

Coleta e Análise de dados fluviométricos

Para a estimativa de vazões mensais nas principais sub bacias foram utilizados os dados de vazões médias mensais referentes ao período de 1986 a 2005 da estação Fazenda Alegria, que serviu como referência. Esse banco de dados continha 37 valores faltantes, não contínuos, sendo a maioria nos anos de

1990 (de marco a dezembro) e 1991 (de janeiro a outubro), representando cerca de 15,42% do total de observações no período. Esses valores faltantes foram estimados e as falhas preenchidas com o uso da técnica de imputação múltipla (Nunes et al., 2009; Camargos et al., 2011).

As primeiras técnicas de imputação foram desenvolvidas através da substituição dos dados

faltantes pela média, pela mediana, por interpolação ou até por regressão linear (Elshorbagy et al., 2000). Nesses casos, a técnica é conhecida como imputação única, uma vez que o valor *faltante* é preenchido uma única vez. Entretanto, para considerar a incerteza associada à imputação foi desenvolvida a técnica de imputação múltipla (IM; Nunes et al., 2009). Segundo Harrel Jr. (2001), em casos onde o número de dados faltantes é maior do que 15%, o uso de IM é a mais indicada.

A IM consiste na aquisição de m bancos de dados completos por meio de técnicas adequadas de imputação; análise dos m bancos por um método estatístico tradicional, como se realmente fossem conjuntos completos de dados; e combinação dos m resultados encontrados durante a aquisição para obter a chamada inferência da imputação repetida. Para realização da IM foi utilizado o programa “R”.

Após o preenchimento de falhas na série histórica de vazões, foi realizada a estimativa de vazões médias para cinco sub bacias (Itacaiúnas, Parauapebas, Vermelho, Cateté e Tapirapé) pelo *método da razão da área de drenagem* (Stedinger et al., 1992) e pelo *método das vazões médias mensais padronizadas* (adaptado de Hirsch, 1979), tendo como referência uma única a estação: Fazenda Alegria.

O método da razão da área de drenagem considera que a vazão específica na bacia adotada como referência é igual à vazão específica da bacia interesse. Neste caso, a estimativa da vazão no local de interesse é dada por:

$$\tilde{y}_{ij} = \frac{A_y}{A_x} x_{ij} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde, A_y é a área da bacia de interesse, A_x a área de drenagem na estação de referência e x_{ij} o valor da vazão da bacia adotada como referência.

O método proposto por Hirsch (1979) considera que as vazões mensais padronizadas do ponto de referência são iguais às do local de interesse. A padronização da vazão observada é dada por:

$$q_{ij} = \frac{Q_{ij} - \bar{Q}_{ij}}{s_{ij}} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde, q_{ij} é a vazão padronizada no mês i observada no posto de referência j , Q_{ij} é a vazão observada no mês i no posto de referência j , $\bar{Q}_{ij}$ é a média das vazões observadas durante o mês i no posto de

referência j e s_{ij} o desvio-padrão das vazões observadas durante o mês i no posto j .

A vazão no local de interesse, para cada mês do ano, pode ser obtida pela equação:

$$Q_{ik} = q_{ij}s_{ik} + \bar{Q}_{ik} \quad (\text{Eq.3})$$

onde, Q_{ik} é a vazão estimada para o mês i no local de interesse k ; $\bar{Q}_{ik}$ e s_{ik} são a média e o desvio-padrão das vazões no mês i no local de interesse k .

O método de estatísticas regionais, proposto por Hirsch (1979), usa equações de regressão para estimar $\bar{Q}_{ik}$ e s_{ik} . Devido a não existência de postos fluviométricos nas sub bacias e, portanto, a indisponibilidade de dados de vazão nos locais de interesse, foram considerados os valores médios mensais e desvios-padrão calculados para as vazões estimadas pelo método da razão de área de drenagem.

Para comparar os métodos utilizados de estimativas das vazões foi calculado o erro, dado por (Hirsch, 1979):

$$\left\{ \frac{\left[\sum_{j=1}^{20} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{y_{ij} - \tilde{y}_{ij}}{y_{ij}} \right)^2 \right]}{20 \times 12} \right\}^{1/2} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde, y_{ij} e $\tilde{y}_{ij}$ são as vazões estimadas por cada método.

A forma utilizada para validar os métodos da razão da área de drenagem (Stedinger et al., 1992) e de Hirsch (1979) foi a análise de regressão com variáveis *dummy* (Neter et al., 1996). Este método é utilizado para comparar duas ou mais equações de regressão que representam os grupos (ou distribuições) identificados pelas variáveis *dummy*. No caso mais simples (modelo de 1ª ordem) e duas equações de retas, o modelo pode ser descrito como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 D_i + \beta_3 X_1^* D_i + \varepsilon \quad (\text{Eq. 5})$$

onde, Y é a variável resposta, X_1 , a variável explicativa, $D_i = 1$ (grupo 1) ou $D_i = 0$ (grupo 2), e ε o erro.

Portanto, quando $D_i = 0$ (grupo 2) temos:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (\text{Eq. 6})$$

e quando $D_i = 1$ (grupo 1), temos:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 + \beta_3 X_1 + \varepsilon \quad (\text{Eq. 7})$$

ou

$$Y = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_3) X_1 + \varepsilon \quad (\text{Eq. 8})$$

Assim, na hipótese de $\beta_2 = \beta_3 = 0$, a equação (8) se transforma na equação (6), indicando que a resposta é a mesma para os dois grupos, ou seja, não há diferença significativa entre os grupos. Se $\beta_2 \neq 0$, significa que os resultados são diferentes para cada variável (grupo 1 e grupo 2). Para $\beta_3 \neq 0$ e/ou $\beta_1 \neq 0$ a taxa de crescimento (ou decrescimento) da variável X_1 é linear (constante) em relação ao grupo 1. Essas equações podem ser ajustadas para modelos de ordem superior e podem ainda ser consideradas possíveis interações entre as variáveis explicativas e as variáveis *dummy*.

Resultados e Discussão

A variação sazonal da precipitação na BHRI

A Figura 2 apresenta a distribuição média mensal da precipitação para toda a área da BHRI obtida por meio dos dados de interpolação do CPC (1986-2005). Observa-se um período de seis meses classificados como úmidos cujos valores médios de precipitação estão acima da média mensal (148,8 mm). O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a abril, sendo o mês de março o mais representativo, atingindo uma média mensal de 299,10 mm de precipitação. O período seco ocorre entre os meses de maio e outubro, sendo julho o mês mais seco, com média de 20,52 mm. Cabe assinalar que os meses de maio e outubro podem ser interpretados como a transição do período chuvoso para o seco, e do seco para o chuvoso, respectivamente.

Figura 2. Distribuição da precipitação média mensal ao longo do ano com dados interpolados do CPC do período de 1986-2005. A linha contínua horizontal representa a média (148,8 mm) das médias mensais de precipitação para o período. As barras em branco indicam os meses com precipitação acima da média (período chuvoso). Em cinza (período de transição) e, em preto (período seco), os meses abaixo da média.

O comportamento médio da precipitação na BHRI sugere que a estação chuvosa inicia entre novembro e dezembro pela porção leste da bacia. A análise da série de registros contínuos dos dados observados nas sete estações meteorológicas, revela

uma média agregada dos totais anuais em torno de 1.703 mm. A concentração dos maiores índices pluviométricos ocorre entre dezembro e maio representando 71 a 84% do total anual médio precipitado (Tabela 1). Os meses de janeiro,

fevereiro e março contribuem com 42 a 52% do total anual médio. O trimestre mais seco ocorre nos meses de junho, julho e agosto quando precipitam, em média, 2,4 a 5,5% do total anual registrado. Para este estudo, o período chuvoso abrange os meses de novembro a maio, com valor médio de precipitação de aproximadamente 1.452 mm. Os totais pluviométricos são reduzidos drasticamente do período chuvoso para o seco. Por exemplo, o máximo de precipitação no período seco corresponde apenas a 25% do mínimo de precipitação do período chuvoso (1.375 mm). O período seco ocorre entre junho e outubro com valores médios de precipitação em torno de 236 mm. Portanto, os totais de precipitação acumulada nas estações, varia de 159 a 321 mm no período seco e de 1.310 a 1.568 mm no chuvoso, revelando uma sazonalidade bem marcada.

A análise realizada a partir dos dados das estações meteorológicas mostra que as quatro estações situadas na porção leste da bacia, distribuídas ao longo de uma linha N-S (Figura 1), apresentam um total anual médio em torno de 1.648 mm. Tais estações estão instaladas em áreas predominantemente formada por pastagens, núcleos urbanos e estradas pavimentadas e relevo de baixa altitude (< 300m).

A estação na Serra dos Carajás (Pluv_6) apresenta um total anual de precipitação de 1763 mm situada em área de floresta a uma altitude acima de 800 m. As estações Fazenda Caiçara (Pluv_5) e Projeto Tucumã (Pluv_7), localizadas na porção sudoeste em áreas de transição entre a floresta e a pastagem com altitudes inferiores a 400 m, apresentam totais pluviométricos anuais médios em torno de 1.784 mm. Os resultados da análise das estações terrestres mostram uma tendência crescente de incremento dos acumulados de precipitação no sentido de leste para oeste-sudoeste, cujo comportamento pode estar associado a densa cobertura florestal e as altitudes elevadas (600-800 m) da serra de Carajás e as unidades de conservação no seu entorno.

A Figura 3 exibe a variabilidade temporal da precipitação na BHRI, na qual são apresentados os valores médios mensais de dados interpolados pelo CPC e os valores médios mensais das sete estações terrestres para o período de 1986-2005. A figura revela, no geral, um comportamento médio bastante similar entre os dados observados e os dados resultantes da interpolação, sugerindo que os dados do CPC representem os valores médios dos dados observados.

Figura 3. Comportamento temporal da precipitação média mensal entre os valores interpolados pelo CPC e as estações pluviométricas distribuídas na BHRI.

Nesse contexto, quando se comparam os resultados dos dados observados para a BHRI com o estudo regional realizado por Moraes et al. (2005) para o Estado do Pará, percebe-se que os períodos chuvosos e secos são correlatos, o que distingue a BHRI são os períodos de transição: maio representa a transição entre o chuvoso e o seco, e outubro-novembro a transição entre o período seco e o período chuvoso (Tabela 1).

Segundo Hastenrath (1991) e Reboita et al. (2010), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) quando alcança sua posição mais austral de fevereiro a abril, contribui para a precipitação na região norte do Brasil. Nos meses de fevereiro, março e abril as regiões com máxima pluviosidade localizam-se na porção norte da bacia, próximo a Marabá, cujo mês de maior precipitação apresenta uma grande faixa de variação com valores entre 261 mm e 344 mm. Nobre e Shukla (1996), Souza et al. (2000) e Rocha (2001) demonstraram que as regiões de maiores precipitações na Amazônia nos meses de março e abril são moduladas pela ZCIT. Por sua vez, Souza e Ambrizzi (2006) mostraram que a interação entre ZCIT e ZCAS resulta em altos índices pluviométricos na maior parte do leste da Amazônia.

Mais recentemente, Silva Ferreira et al. (2015), demonstraram que a ZCIT é o principal fator

atuante sobre a variabilidade climática sobre o Oceano Atlântico Intertropical e principal sistema produtor de chuvas na Amazônia oriental durante a estação chuvosa. Suas análises revelaram um padrão dinâmico robusto relacionado com a ZCIT do Atlântico sul equatorial, com a presença do gradiente da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e que contribui para as chuvas abundantes na Amazônia oriental. A estação menos chuvosa seria influenciada por sistemas frontais que se deslocam da região sul do Brasil e chegam ao sul da Amazônia, interagindo e organizando a convecção local (Ferreira et al., 2004).

A variação sazonal da vazão na BHRI

Na Tabela 2 são apresentadas as médias mensais de vazões observadas e imputadas para a série histórica da estação Fazenda Alegria. Observa-se que o preenchimento dos dados faltantes pela técnica da imputação múltipla manteve o mesmo padrão dos dados observados. Isso é confirmado pela correlação de 0,99 entre as médias mensais de vazões observadas e imputadas, cuja distribuição mostrada na Figura 4 define claramente a sazonalidade na bacia ao longo do ano hidrológico.

Tabela 2. Médias mensais de vazões (m^3/s) observadas e imputadas para a estação Fazenda Alegria (1986-2005).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Observadas	761,56	1066,37	1530,06	1397,44	875,50	373,18
Imputadas	746,65	1065,25	1502,80	1393,50	874,80	367,40
Meses	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observadas	192,85	131,14	118,75	153,27	199,81	395,61
Imputadas	187,58	124,50	110,91	142,10	194,98	385,15

Os cinco primeiros meses do ano (janeiro a maio), referentes ao período chuvoso na região, cujas vazões médias variam de 761,56 a 1.530,06 m^3/s , apresentam uma média de vazões em torno de 1.126 m^3/s . Esse valor é 5,8 vezes maior do que o valor médio dos cinco meses representativos do período

seco (junho a outubro) cuja média é de aproximadamente 194 m^3/s . Esse comportamento sazonal das vazões nos permite associá-lo diretamente à variabilidade espaço-temporal da precipitação na BHRI.

Figura 4. Comportamento das vazões médias mensais observadas e imputadas para a série histórica da estação Fazenda Alegria.

A Tabela 3 apresenta as áreas de drenagens e as razões entre as áreas das sub bacias e área da BHRI, tendo como referência a localização da estação Fazenda Alegria. Essas razões foram utilizadas nas estimativas das vazões das sub bacias

pelo método da razão da área de drenagem representado pela equação (1). Nessa equação a vazão a ser estimada é proporcional à área da sub bacia.

Tabela 3. Áreas de drenagens e as razões entre as áreas de drenagem das sub bacias na BHRI.

Estação de referência e sub bacias	Área Drenagem (km ²)	Ai/Aj
Estação Fazenda Alegria	37.613,00	1,0000
Itacaiúnas	14.817,47	0,3939
Parauapebas	9.522,91	0,2532
Vermelho	7.208,61	0,1917
Cateté	3.400,33	0,0904
Tapirapé	2.663,68	0,0708

A comparação das estimativas das vazões mensais para os dois métodos pode ser observada nas Tabelas 4 e 5 e Figura 6. Na Tabela 4 observa-se que as vazões mensais estimadas pelo método de Hirsch são maiores em relação ao método da razão de áreas para todas as sub bacias. Esse mesmo comportamento é observado nas outras sub bacias. De modo geral, essa informação é confirmada pela estatística descritiva (mínimo, média e mediana)

mostrada na Tabela 5. Entretanto, os valores máximos foram maiores para o método de razão de áreas. O erro ou diferença entre as vazões mensais estimadas pelos dois métodos foi calculado de acordo com a equação (4). O menor erro calculado foi para a sub bacia do Itacaiúnas, seguido pelas sub bacias Parauapebas, Vermelho, Cateté e Tapirapé. Observa-se que, quanto maior a área da sub bacia menor o erro.

Tabela 4. Médias mensais de vazões (m³/s) estimadas pelo método de razão de áreas de drenagens e pelo método de Hirsch no período de estudo (1986 a 2005), na BHRI.

Mês\ Método	Itacaiúnas	Parauapebas	Cateté	Vermelho	Tapirapé
	Área/Hirsch	Área/Hirsch	Área/Hirsch	Área/Hirsch	Área/Hirsch
Jan	294,1/410,5	189,0/263,9	67,5/94,2	143,13/199,8	52,9/73,8
Fev	419,6/567,1	269,7/364,6	96,3/130,2	204,2/276,0	75,4/101,9
Mar	591,9/724,8	380,5/465,9	135,8/166,4	288,1/352,8	106,4/130,3
Abr	548,9/680,7	352,8/437,6	125,9/156,2	267,1/331,3	98,7/122,4
Mai	344,6/443,9	221,5/285,4	79,1/101,9	167,7/216,1	61,9/79,8
Jun	144,7/186,0	93,0/119,57	33,21/42,7	70,4/90,5	26,0/33,4
Jul	73,89/94,9	47,561,0	16,9/21,8	35,9/46,2	13,3/17,0
Ago	49,04/62,9	31,5/40,5	11,2/14,4	23,9/30,6	8,8/11,3
Set	43,7/58,5	28,1/37,6	10,0/13,4	21,3/28,5	7,8/10,5
Out	55,9/72,3	35,9/46,5	12,8/16,6	27,2/35,2	10,1/13,0
Nov	76,8/105,2	49,4/67,6	17,6/24,1	37,4/51,2	13,8/18,9
Dez	151,7/214,7	97,5/138,0	34,8/49,3	73,8/104,5	27,3/38,6

As Figuras 5A-5B e 5C-5D apresentam as vazões estimadas para as sub bacias pelo método da razão da área de drenagem e pelo método de Hirsch (1979), respectivamente, tendo como referência os valores de vazões mensais observados da Fazenda Alegria. Na Figura 5A, observa-se que as sub bacias

dos rios Tapirapé e Cateté apresentaram menores estimativas de vazões mensais em relação às sub bacias de Itacaiúnas, Parauapebas e Vermelho (Figura 5B). Isso era esperado, pois as sub bacias com áreas maiores apresentam maiores estimativas de vazões mensais (Tabela 3).

Tabela 5. Estatísticas descritivas e erros para as vazões mensais (m³/s) estimadas das sub bacias da BHRI.

Sub bacia	Método								Erro
	Razão de área de drenagem				Hirsch (1979) adaptado				
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	
Itacaiúnas	15,2	232,85	128,02	1058,41	46,03	301,8	192,7	1042	3,55
Parauapebas	9,77	149,67	82,29	680,35	29,59	194	123,8	670	5,52
Vermelho	7,4	113,32	62,3	515,1	22,4	146,9	93,76	507,2	7,29
Cateté	3,49	53,44	29,38	242,91	10,56	69,27	44,21	239,2	15,46
Tapirapé	2,73	41,85	23,01	190,24	8,27	54,25	34,63	187,3	19,74

Esse comportamento é observado tanto para o método de razão de áreas quanto pelo método de Hirsch adaptado (Figuras 5C e 5D). Isso pode ter ocorrido devido à falta de dados nas sub bacias de interesse. Assim, utilizou-se os desvios-padrão calculados pelas estimativas das vazões mensais obtidas pelo método da razão de áreas nessas bacias. Pode-se observar nas Figuras 5A e 5B que as

estimativas das sub bacias com áreas menores claramente apresentam menores variabilidades e vice-versa. A estimativa do comportamento das vazões a partir da área de drenagem pode ser considerada uma simplificação, cuja correspondência deve variar conforme a dinâmica fluvial da região.

Figura 5. Vazões mensais estimadas pelo método da razão da área de drenagem (A e B) e pelo método de Hirsch (C e D) para as sub bacias dos rios: Cateté e Tapirapé (A e C), e Itacaiúnas, Parauapebas e Vermelho (B e D), sendo a Fazenda Alegria a estação de referência (linha contínua em preto), no período de 1986 a 2005, na BHRI.

Comparação entre vazões estimadas e medidas

Utilizou-se a série de vazões medidas na estação Fazenda Rio Branco (Fluv_1), com registro contínuo no período de 04/1985 a 08/1995 (Tabela 6), e situada a aproximadamente 22 km do exutório da sub bacia do rio Parauapebas, para comparar as vazões estimadas neste estudo. Com o objetivo de validar as estimativas de vazão pelos dois métodos foi utilizada a metodologia de regressão com variáveis *dummy*, permitindo a comparação entre as

distribuições, ou seja, entre as curvas de vazões mensais estimadas pelos métodos de razão das áreas de drenagem e o método de Hirsch adaptado em relação às vazões medidas na estação Fazenda Rio Branco. Na Figura 6A observa-se que o comportamento das vazões estimadas pelos dois métodos para a sub bacia do rio Parauapebas apresentam comportamento similar às vazões observadas na Fazenda Rio Branco, situada dentro da mesma sub bacia.

Tabela 6. Vazões médias mensais (m^3/s) medidas na estação Fazenda Rio Branco na sub bacia do rio Parauapebas no período de 04/1985 a 08/1995.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fz. Rio Branco	185,09	201,71	451,31	196,00	96,38	91,33	37,41	29,97	19,19	30,76	44,17	129,36

A análise de regressão com variáveis *dummy* (Neter et al., 1996) de 3ª ordem permitiu fazer uma

análise comparativa das distribuições. O modelo de 3ª ordem utilizado é apresentado a seguir:

$$Vazão = \beta_0 + \beta_1 mes + \beta_2 mes^2 + \beta_3 mes^3 + \beta_4 Met(H) + \beta_5 Met(R) + \varepsilon \quad (Eq. 9)$$

onde *Met(R)* representa o método da razão de área de drenagem e *Met(H)* o método de Hirsch, vazões padronizadas, sendo que utilizou-se como referência os dados de vazão da estação Fazenda Rio Branco.

Os resultados do modelo (Eq. 9) são apresentados na equação 10 (Eq. 10) e esquematicamente na Figura 6B.

$$Vazão = \begin{matrix} 71,97 \\ (0,263) \end{matrix} + \begin{matrix} 175,75 \\ (0,00) \end{matrix} mes + \begin{matrix} -40,72 \\ (0,00) \end{matrix} mes^2 + \begin{matrix} 2,20 \\ (0,00) \end{matrix} mes^3 + \begin{matrix} 67,96 \\ (0,015) \end{matrix} Met(H) + \begin{matrix} 23,66 \\ (0,378) \end{matrix} Met(R) + \varepsilon \quad (Eq. 10)$$

O valor do R² múltiplo obtido foi de 0,8113, indicando que o modelo explica mais de 80% da variabilidade dos dados. Os valores entre parênteses abaixo de cada estimativa na equação 10 representam o nível descritivo, *p*, para as respectivas estimativas dos parâmetros do modelo. Nesse sentido, os resultados mostram que os parâmetros β_1 , β_2 e β_3 foram significativos, ou seja, diferentes de zero, indicando que o modelo de ordem 3 se ajusta melhor e mais adequadamente aos dados. A estimativa do parâmetro β_4 foi significativa ($p < 0,015$). Isso indica que o método de Hirsch superestimou os valores de vazão em relação aos dados de vazão observados da Fazenda Rio Branco. A estimativa do parâmetro β_5 foi não significativa, indicando que a distribuição de vazão mensal para os valores estimados pelo método da razão de áreas e os valores medidos na Fazenda Rio Branco não apresentam diferenças significativas entre si.

Em resumo, os valores de vazão estimados pelo método da razão de áreas são compatíveis como os valores de vazão medidos, enquanto os valores de vazão estimados pelo método de Hirsch adaptado superestimaram os valores de vazão medidos na estação Fazenda Rio Branco.

Esses resultados podem ser visualizados na Figura 6B, a qual apresenta os modelos estimados para cada distribuição dos valores de vazão mensais estimadas e observadas. Neste caso, percebe-se que a curva obtida pelo modelo da razão entre áreas de drenagem situa-se mais próximo à curva definida pelo modelo das vazões medidas na estação Fazenda Rio Branco quando comparada à curva definida para o modelo das vazões estimadas pelo método de Hirsch.

As vazões mensais estimadas para a sub bacia do rio Parauapebas, realizadas pelos métodos da razão de áreas e método de Hirsch adaptado foram considerados representativos de toda a sub bacia e, deste modo, comparados com as vazões mensais observadas na Fazenda Rio Branco para a avaliação das metodologias. Foi realizada outra análise considerando o método da razão de área como referência. Neste caso, os resultados mostraram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as vazões estimadas pelos métodos da razão de área e Hirsch nem entre as vazões estimadas pelo método da razão de área com as vazões observadas da Fazenda Rio Branco.

Figura 6. (A) Valores estimados para a sub bacia Parauapebas e observados para a estação Fazenda Rio Branco, e (B) Modelos ajustados para as vazões estimadas pelo método da Área (A) e método de Hirsch (H) e para as vazões observados na Fazenda Rio Branco (B), representados pelas linhas vermelha, azul e preta, respectivamente.

Considerando que se tem apenas um posto de observação (Fazenda Alegria) que apresenta uma série histórica que pode ser utilizada como referência, e que as demais vazões foram estimadas a partir da área de drenagem, os valores obtidos devem ser observados com critério. Para Andrade et al. (2004) e Ribeiro et al. (2005) a análise de regressão investiga como as variações em uma ou mais variáveis independentes afetam a variação da variável dependente. O ideal seria que houvessem outros postos de medição que permitissem aferir o nível de ajuste entre o calculado e o observado, como é o caso da estação Fazenda rio Branco na bacia do rio Parauapebas.

Estes resultados reforçam o exposto por Silva Júnior et al. (2003) ao afirmar que a regionalização é uma ferramenta útil para o conhecimento hidrológico espacial, porém existem sérias limitações à extrapolação dos seus resultados para bacias de menor porte (Cateté e Tapirapé), gerando incertezas na tomada de decisão. A regionalização não substitui as informações, apenas busca uma melhor estimativa em face das incertezas existentes; onde a informação gerada demanda pela sua validação a partir de dados observados.

Conclusão

Os resultados obtidos para a precipitação mostraram-se compatíveis com o comportamento

sazonal definido para a região cuja correlação entre os dados observados e os interpolados pelo CPC demonstraram que este representa bem a variabilidade espaço-temporal da precipitação na BHRI. A análise dos resultados das estações meteorológicas mostrou uma tendência de incremento na precipitação de leste para oeste, cujo comportamento pode estar associado a densa cobertura florestal que compõe o mosaico de UC's, combinado com altitudes elevadas (600-800 m) da Serra de Carajás.

A avaliação do comportamento das vazões da estação Fazenda Alegria com dados fluviométricos disponíveis apresentou resultados consistentes com o comportamento sazonal das curvas de vazão dentro do ano hidrológico. Os métodos testados mostraram resultados diferenciados em termos absolutos, porém, as curvas de vazões estimadas acompanham o comportamento da curva de vazões medidas na estação Fazenda Rio Branco. Esse comportamento sazonal das vazões nos permite associá-lo diretamente à variabilidade espaço-temporal da precipitação na BHRI.

Recomenda-se a ampliação da rede de monitoramento hidro meteorológico na BHRI para a construção de modelos hidrológicos. Sugere-se também que trabalhos futuros avaliem as relações entre a precipitação e vazão considerando outras variáveis climáticas, tais como evapotranspiração e temperatura ou, ainda, variáveis ambientais como

taxa de desmatamento, solo e vegetação a fim de melhor compreendermos como estes processos influenciam as vazões dos rios da Amazônia.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer o apoio financeiro dado pelo Instituto Tecnológico Vale (ITV). Os autores agradecem aos membros da DIPF da Vale S.A. pela disponibilização de dados e informações. Agradecemos ao CNPq pela concessão de Bolsa de Pesquisa DTI-A à quarta autora deste trabalho, e a Bolsa de Produtividade em Pesquisa ao quinto e sexto autores.

Referências

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Gerd Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.
- Andrade, E.M.; Porto, M.M.; Costa, R.N.T.; Meireles, M.; Neto, J.A.C., 2004. Regionalização de modelos de vazões médias de longo período para o Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica* 35, 139-148.
- Barbosa, S.E.S.; Barbosa Júnior, A.R.; Silva, G.Q.; Campos, E.N.B.; Rodrigues, V.C., 2005. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 10, 64-71.
- Brasil, 2003. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas. In: *Recursos Hídricos – Conjunto de Normas Legais*. 2 ed., Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente 2002.
- Camargos, V.P.; César, C.C.; Caiaffa, W.T.; Xavier, C.C.; Proietti, F.A., 2011. Multiple imputation and complete case analysis in logistic regression models: a practical assessment of the impact of incomplete covariate data. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro 27 (12), 2299-2313.
- Chen M.; Xie P.; CPC. Quality Control Working Group., 2008. Quality control of daily rainfall report at NOAA/CPC, in *Proceedings of the AMS 12th Conferences on IOAS-AOLS*, New Orleans, LA, USA. Disponível: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip.orig/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB/DOCU/CPC%20GTS%20QC%20AMS2008MingyueChen.pdf. Acesso: 25 out 2016.
- Elshorbagy, A.A.; Panu, U.S.; Simonovic, S.P., 2000. Group-based estimation of missing hydrological data: I. Approach and general methodology. *Hydrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques* 45, 849-866.
- Ferreira, N.J.; Sanches, M.; Silva Dias, M.A., 2004. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 89-98.
- Fioreze, A.P.; Oliveira, L.F.C.; Franco, A.P.B., 2008. Avaliação do desempenho de equações de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. *Revista Ambiente & Água, Na Interdisciplinary Journal of Applied Scienc* 3, 62-76.
- Hastenrath, S., 1991. *Climate Dynamics of the Tropics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands 488.
- Harrel Jr., F.E., 2001. *Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic regression and survival analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Hirsch, R.M., 1979. An Evaluation of Some Record Reconstruction Techniques. In: *Water resources research*, December 1979. U.S. Geological Survey, National Center, Reston, Virginia 2 2092, 15.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 1992. *Normais Climatológicas* 155p.
- Kassam, A.H., 1979. Multiple cropping rainfed productivity in Africa. Working Paper No. 5. FAO, Rome, Italy 88p.
- Kroll, C.; Luz, J.; Allen, B.; Vogel, R.M., 2004. Developing a watershed characteristics database to improve low streamflow prediction. *Journal of Hydrologic Engineering* 9, 116-125.
- Moraes, B.C.; Costa, J.M.N.; Costa, A.C.L.; Costa, M.H., 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica* 35 (2), 207–214.
- Neter, J. Kutner, M.; Wasserman, W.; Nachtsheim, C., 1996. *Applied linear statistical models*. Chicago: Irwin.
- Nobre, P.; Shukla, J., 1996. Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate* 9, 2466-2479.

- Nunes, L.N.; Klück, M. M.; Fachel, M. G., 2009. Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos. *Cad. Saúde Pública* 25, 2.
- Oliveira, L.F.C.; Fioreze, A.P., 2011. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15, 1, 9–15.
- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P.Da; Ambrizzi, T., 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185–204.
- Ribeiro, C.B.M.; Marques, F.A.; Silva, D.D., 2005. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a Bacia do Rio Doce. *Engenharia na Agricultura* 13, 103-117.
- Rocha, E.J.P., 2001. Balanço de umidade e influências de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia. 201. 210 p. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Silva, V.B.S.; Kousky, V.E.; Shi, W.; Higgins, R.W., 2007. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. *Journal Hydrometeorology* 8, 847–861.
- Silva Ferreira, D.B.; De Souza, E.B.; Moraes, B.C.; Meira Filho, L.G., 2015. Spatial and Temporal Variability of Rainfall in Eastern Amazon during the Rainy Season. *The Scientific World Journal*. Disponível: Article ID 209783, 9 pg. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/209783>. Acesso: 23 jun. 2016.
- Silva Jr, O.B., 2001. Análise da escala das variáveis hidrológicas e do uso do solo na bacia do Potiribu - RS. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre.
- Silva Júnior, O.; Bueno, E.; Tucci, C.; Castro, N., 2003. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8, 21-37.
- Soares, P.A.; Pinheiro, A., Soares, K.H.; Zucco, E., 2010. Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. *Revista de estudos ambientais [online]* 12, 29-38. Disponível: [file:///C:/Users/b0026/Downloads/1873-6485-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/b0026/Downloads/1873-6485-1-PB%20(1).pdf). Acesso: 23 mai 2015.
- Souza, E.B.; Kayano, M.T.; Tota, J.; Pezzi, L.; Fisch, G.; Nobre, C., 2000. On the Influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Pattern on the Amazonian Rainfall During 1960-1998. *Acta Amazônica* 30, 305-318.
- Souza, E.B.; Ambrizzi, T., 2006. Modulation of the Intraseasonal Rainfall over Tropical Brazil by the Madden-Julian Oscillation. *International Journal of Climatology [online]* 26. Disponível: www.interscience.wiley.com DOI: 10.1002/joc.1331. Acesso: 23 mai. 2015.
- Souza-Filho, P.W.M.; Souza, E.B.; Silva Júnior; R.O.; Nascimento Júnior; W.R.; Mendonça; B.R.V.; Guimarães, J.T.F.; Dall'Agnol, R.; Siqueira, J.O., 2016. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. *Journal of Environmental Management* 167, 175-184.
- Stedinger, J.R.; Vogel, R.M.; Foufulageorgiou, E., 1992. Chap. 18.5. Regionalization, in Maidment, D. R. (ed.): *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, N. York 18.33-18.66.
- Tucci, C.E.M., 2002. Regionalização das Vazões. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - IPH, UFRGS. Porto Alegre 254p.
- Xie, P.; Yatagai, A.; Chen, M.; Hayasaka, T.; Fukushima, Y.; Liu, C. Yang, S., 2007. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia, *Journal Hydrometeorology* 8, 607– 626.