



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO EM TERRITÓRIO BRASILEIRO

*Raisa Rodrigues Neves'
Edkeyse Dias Gonçalves'
Jairo dos Passos Correa'
Francisco Carlos Lira Pessoa'
Lindemberg Lima Fernandes'

RAINFALL CHARACTERIZATION OF THE NEGRO RIVER BASIN IN BRAZILIAN TERRITORY

Recibido el 10 de octubre de 2017; Aceptado el 21 de marzo de 2018

Abstract

The rainfall characterization of the Negro River basin was done by using of 31 years of pluviometric data (1984-2014). To obtain this data, information from HidroWeb and from the software ArcGis 10.1 were utilized. After the acquisition of this information, isohyetal maps were drawn by the interpolator of Linear Ordinary Kriging, which made possible to calculate water blades and precipitate volume in the area. The temporal variation of the rainfall was analyzed annually, being possible to verify that the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phenomenon is related to the rainfall behavior of the basin studied, occurring an increase of rainfall index in years of La Niña and decrease in years of El Niño. To the trend analysis in time series, Mann-Kendall and Spearman tests were used to the 31 years of data, considering a level of significance of 5%, in which the absence of tendency or low rainfall variability were noticed.

Keywords: river basin, rainfall characterization, ENSO phenomenon.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Belém, Brasil.

*Autor correspondente: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (LAESA), Universidad Federal de Pará. Calle Augusto Corrêa, 01, Guamá, Campus Belém. Belém, Pará, Brasil. CEP 66075-110. Email: raisanevesufpa@gmail.com

Resumo

A caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Negro foi feita com o uso de 31 anos de dados de precipitação (1984-2014). Para a obtenção de dados, utilizou-se informações do HidroWeb e do software ArcGIS 10.1. Após a aquisição dessas informações, foram elaborados mapas de isoietas pelo interpolador de Krigagem Ordinária Linear, sendo possível calcular as lâminas de água e o volume precipitado na área. A variação temporal da precipitação foi analisada anualmente, sendo possível verificar que o fenômeno ENOS têm relação com o comportamento pluviométrico da bacia em estudo, ocorrendo aumento dos índices pluviométricos em anos de La Niña e redução em anos de El Niño. Na análise de tendências em séries temporais, foram utilizados os testes de Mann-Kendall e Spearman para os 31 anos de dados, considerando nível de significância de 5%, em que foram percebidas ausência de tendência ou pouca variabilidade pluviométrica

Palavras chave: bacia hidrográfica, caracterização pluviométrica, fenômeno ENOS.

Introdução

Dentre as variáveis climáticas mais comuns, a precipitação é a que mais se modifica no tempo e no espaço, portanto, afeta diretamente os ciclos naturais dos recursos hídricos, sendo a circulação atmosférica de massas de ar um dos principais processos que controlam a distribuição das taxas de precipitação e escoamento superficial (Villar *et al.*, 2009).

A região Amazônica possui um regime de precipitação com fortes influências de sistemas atmosféricos dinâmicos de micro, meso e grande escala, sendo que o conhecimento da variabilidade pluviométrica é capaz de fornecer informações sobre o clima, as quais são essenciais para o planejamento de atividades humanas e desenvolvimento local (Amanajás e Braga, 2012). Para Kulkarni *et al.*, (2013), as chuvas possuem elevada importância, principalmente nas regiões tropicais e são consideradas como o principal ponto dos processos convectivos que ocorrem na atmosfera, visto que estes processos podem influenciar no clima de outras áreas.

Souza e Ambrizzi (2003), afirmam que a região possui elevada taxa de evapotranspiração, percebido pela existência de dois períodos pluviométricos bem definidos, um chuvoso (de fevereiro a maio) e outro menos chuvoso (de setembro a novembro), já os meses restantes são denominados meses de transição. A definição desses períodos está diretamente relacionada à posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo sua relação com outros sistemas meteorológicos e fenômenos climáticos considerados fatores de intensificação ou desintensificação das chuvas na Amazônia (Santos *et al.*, 2014).

O fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS) é característico por estar associado a mudanças nos regimes pluviométricos em várias regiões do mundo (Morishita e Heki, 2008) e com variabilidade temporal de 2 a 7 anos (Varejão- Silva, 2006). Segundo Trenberth e Sterpaniak (2001), o fenômeno ENOS é resultante de mudanças de larga escala de pressões relacionadas com

o sistema climático oceano- atmosfera do Pacífico Tropical, potencialmente influenciado por forças externas. As variações da Temperatura Superficial do Mar (TSM) estão associadas com o Índice Oceânico do Niño (ION), que consiste na diferença de pressão entre o Centro-Leste e Oeste do Pacífico Tropical (Trenberth e Sterpaniak, 2001).

Tucci e Braga (2003) afirmam que o fenômeno determina épocas de estiagem quando o clima deveria ser úmido no Leste/ Norte da Amazônia e Nordeste do Brasil, gerando áreas extremamente secas e com elevadas temperaturas, o que contribui e multiplica a ocorrência de incêndios; no entanto, para estes autores o fenômeno não é linear, o que implica na possibilidade de umidade na Amazônia em períodos de El Niño. Alguns estudos encontrados na literatura buscam compreender a influência do fenômeno ENOS nas atividades econômicas (Cashin *et al.*, 2017); nas mudanças climáticas (Islam e Gan, 2015); Krave *et al.*, (2007); Schwing *et al.*, (2002) e nas variações pluviométricas (Britto *et al.*, 2008); Morishita e Heki (2008); Ishihara *et al.*, (2014); Loureiro *et al.*, (2015).

A possibilidade de aumento ou redução das chuvas relacionados a fatores meteorológicos, e a necessidade de preservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, incentivou o desenvolvimento deste trabalho, a fim de compreender o regime pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Negro e as interferências dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña, visando contribuir para a melhoria na gestão dos recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica e para o planejamento de atividades que sofrem interferência dos fatores chuva e vazão, como: obras hidráulicas, irrigação, construção de pontes, entre outras.

Materiais e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Negro possui área de drenagem de aproximadamente 732.596 km², abrangendo quatro países: Brasil, Colômbia, Venezuela e Guiana. No território brasileiro, a bacia hidrográfica do rio Negro possui uma população de aproximadamente 1.821.000 habitantes e área total de 607.248 km², abrangendo os Estados do Amazonas e Roraima (Figura 1).

O rio Negro apresenta nascente localizada na Colômbia recebendo nome de rio Guiana, ao entrar no Brasil pelo Norte do Estado do Amazonas, passa a ser chamado de rio Negro e percorre cerca de 1.700 km até sua foz localizada no rio Amazonas, possuindo 1.070 km de rios com condições favoráveis à navegação (Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2013). O rio apresenta descarga média de aproximadamente 32.000 m³/s desde sua nascente até a foz; no Brasil possui descarga média de 28.400 m³/s e é considerado o terceiro maior tributário do rio Amazonas (14% de contribuição), onde recebe mais de 500 afluentes, sendo o principal o rio Branco que origina-se ao Norte do Estado de Roraima (Figura 2) (Montero e Latrubesse, 2013).

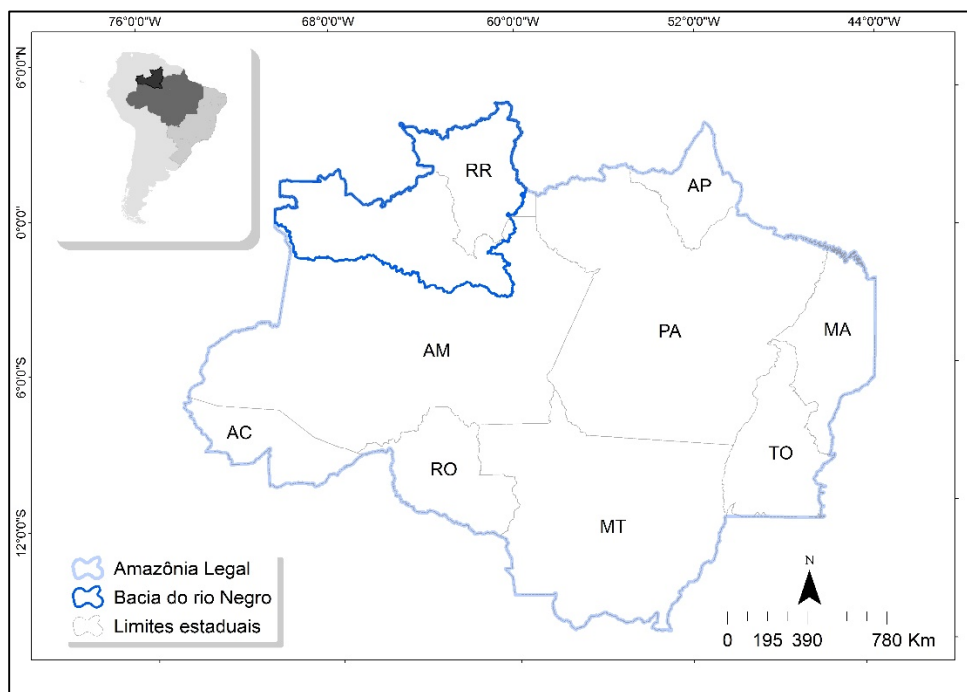


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do rio Negro.

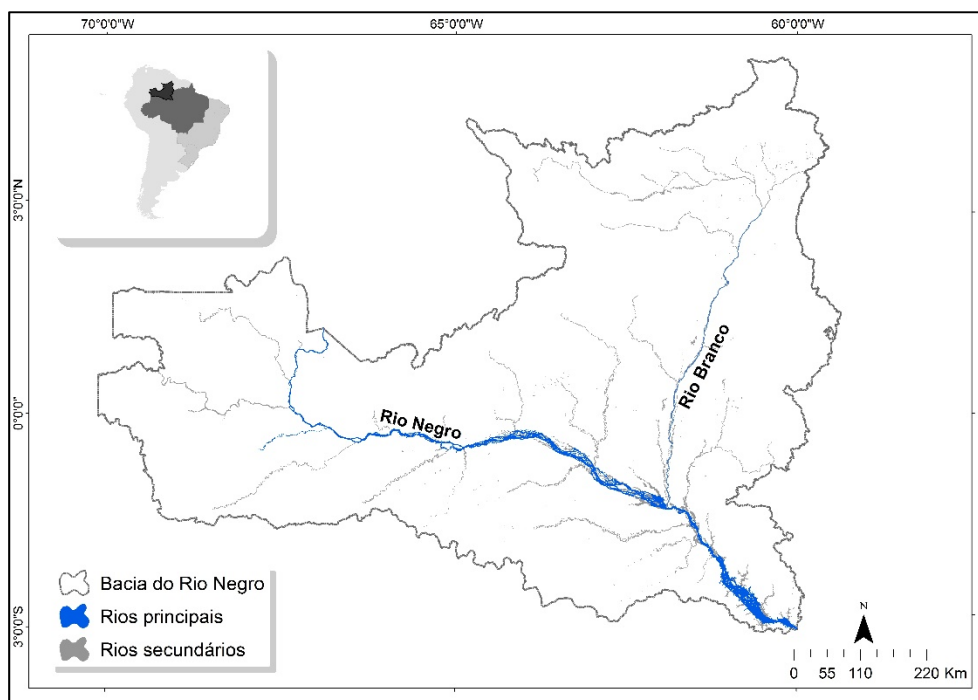


Figura 2. Identificação da Hidrografia da bacia do rio Negro.

A precipitação média da sub bacia do rio Negro é de 2.566 mm/ano, sendo que a região conhecida como “Cabeça do Cachorro”, localizada no Estado do Amazonas, município de São Gabriel da Cachoeira representa a área com maiores índices pluviométricos da sub bacia, podendo atingir valores superiores a 3.200 mm/ano. De acordo com a época, a variação de profundidade do rio Negro é de 5 a 35 metros (Zeidemann, 2001).

Tabulação e tratamentos dos dados

Os dados pluviométricos foram obtidos pelo “Sistema de Informações Hidrológicas- HidroWeb” da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), considerando a série temporal de 31 anos (1984-2014).

O método utilizado para o preenchimento de falhas foi a Ponderação Regional com base em Regressões Lineares, devido este ser composto pela relação entre dois métodos e ser considerado por Teegavarapu e Chandramouli (2005) como superior aos outros existentes. O método é baseado em regressões lineares entre o posto com falhas e cada um dos postos vizinhos selecionados através da obtenção de coeficientes de correlação r para cada regressão (coeficiente de Pearson) (Tucci, 2012).

O preenchimento dos dados com falhas é feito através da Equação 1 (De Oliveira *et al.*, 2010):

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n r_{PxPi} P_i}{\sum_{i=1}^n r_{PxPi}}$$

Equação (1)

Em que, r_{PxPi} é o coeficiente de correlação entre os postos vizinhos; P_x : posto com falha; P_i : postos consistidos; n : número de postos considerados.

Após o preenchimento de falhas, os dados foram consistidos utilizando-se o Método da Dupla massa, criado pelo Geological Survey (USA). Esse método consiste em comparar duas curvas traçadas no plano cartesiano, uma sendo referente aos totais anuais ou mensais acumulados do posto que foi preenchido e outra com a média acumulada dos totais anuais ou mensais dos postos que apresentam dados confiáveis (Villela e Mattos, 1975).

A determinação da precipitação média foi feita através do Método de Isoietas. Segundo Tucci (2012), é calculada como a média ponderada entre os dois valores de isoietas sucessivos, adicionados e divididos pela área total da bacia, gerando a profundidade média de precipitação em um determinado tempo, sendo as unidades mais usadas: hora, dia, mês e ano. Os mapas de isoietas foram elaborados com o uso do interpolador de Krigagem Ordinária Linear para visualizar

o comportamento da precipitação ao longo dos 31 anos; o volume médio foi obtido através do Método dos Contornos, que se dá pelo produto entre a área das isoietas e a altura média da lâmina d'água entre elas (Tucci, 2012).

Para analisar a interferência do fenômeno ENOS no comportamento da precipitação, foram aplicadas médias móveis de 3 anos nos dados de volume médio calculados, baseado nos trabalhos de Ishihara *et al.*, 2014 e Loureiro *et al.*, (2015), devido ao período de ocorrência do fenômeno, que varia em torno de 2 a 7 anos (VAREJÃO- SILVA, 2006).

Para avaliar a tendência na série temporal, foram aplicados os testes Mann-Kendall e Spearman, considerando nível de significância (α) igual a 5%. Para (Tucci, 2012), entre os testes não paramétricos, o teste Mann- Kendall, proposto por Mann (1945) e Kendall (1975) e recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) é o mais adequado para análise de tendências temporais de dados hidrológicos, visto que normalmente as séries históricas são inclinadas e sofrem interferência de outliers. O teste estatístico (S) é definido no trabalho de Yue *et al.*, (2002) (Equações 2 e 3):

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{If } x_j > x_i \\ 0; & \text{If } x_j = x_i \\ -1; & \text{If } x_j < x_i \end{cases} \quad \text{Equação (2)}$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo X_i e X_j valores de dados consecutivos no tempo i e j ; n representa o tamanho da série histórica. Um valor positivo de S indica tendência de crescimento, enquanto um valor negativo indica tendência de decréscimo. A expressão seguinte é usada para séries histórica com $n > 10$ (tamanho da amostra) e dados com distribuição aproximadamente normal com valor da média ($\mu = 0$) e variância ($\sigma^2 = 1$) (Equação 4):

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{Equação (4)}$$

Em que, p representa o número de grupos com valores repetidos, o sinal \sum indica a somatória de todos os grupos e t_i é o número de valores de dados de P_{th} grupos. Caso não exista a formação de vários grupos com valores repetidos, considera-se apenas o primeiro membro da equação, logo a variância $\text{Var}(S)$ é calculada da seguinte forma (Equação 5):

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

Equação (5)

Após o cálculo da variância da série de dados, o valor de Z padronizado é calculado por (Equação 6) Yue *et al.*, (2002):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{If } S > 0 \\ 0; & \text{If } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{If } S < 0 \end{cases}$$

Equação (6)

O valor de Z padrão calculado é comparado com o quadro de distribuição normal. Se $|Z| > |Z_{1-\alpha/2}|$, a hipótese nula é inválida, logo a tendência é estatisticamente significativa; caso contrário a hipótese nula é aceita e a tendência não é estatisticamente significativa, logo não há tendência na série histórica (Yue *et al.*, 2002).

O estimador de Spearman é um teste estatístico não paramétrico (Villarini *et al.*, 2011) utilizado para analisar tendências em séries temporais, definido por Spiegel *et al.*, (2013), como (Equação 7):

$$r_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{N(N^2-1)}$$

Equação (7)

Em que D corresponde à diferença entre as classificações dos valores atribuídos a X e Y, enquanto N representa o número de pares (X,Y) na série de dados. Para $n > 30$ (tamanho da amostra), a distribuição do r_s será normal, logo as tabelas de distribuição normal podem ser utilizadas. O teste estatístico Z é representado por Talaei (2013), (Equação 8):

$$Z = r_s \sqrt{n-1}$$

Equação (8)

Se $|Z| > Z_\alpha$, com um nível de significância α , a hipótese nula de nenhuma tendência pode ser rejeitada, significando que os valores estão distribuídos de forma idêntica.

Resultados e discussões

Foram quantificadas 34 estações pluviométricas (Figura 3) com 31 anos de dados dentro da faixa temporal selecionada para o estudo (1984-2014).

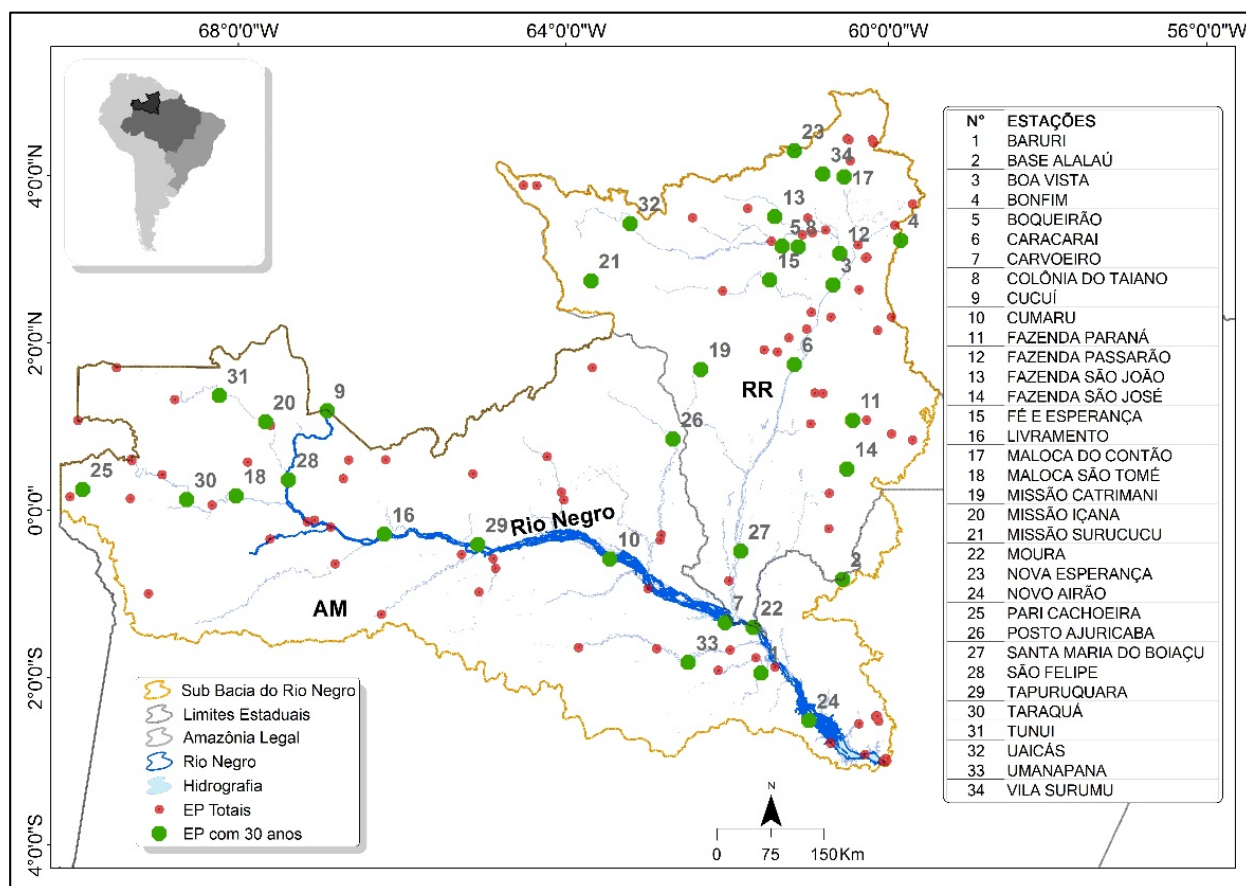


Figura 3. Espacialização dos pluviômetros na bacia hidrográfica do rio Negro.

De posse do banco de dados, foram verificadas as estações com falhas e seus respectivos períodos. A bacia hidrográfica do rio Negro apresentou 24 estações dentre as 34, com falhas inferiores a 6 meses.

Após o preenchimento das falhas e consistência das informações, foi possível observar que 32 estações com dados disponíveis pela ANA apresentou bons resultados em relação aos valores existentes, devido a proximidade da reta formada pelas estações com dados consistidos e a reta formada pelos dados preenchidos, com coeficiente de correlação na faixa de 0.96 a 0.99, tornando confiável o uso desses valores neste trabalho.

A Figura 4 apresenta análises de consistência de 2 estações pluviométricas, método realizado para as 34 estações com dados disponíveis:

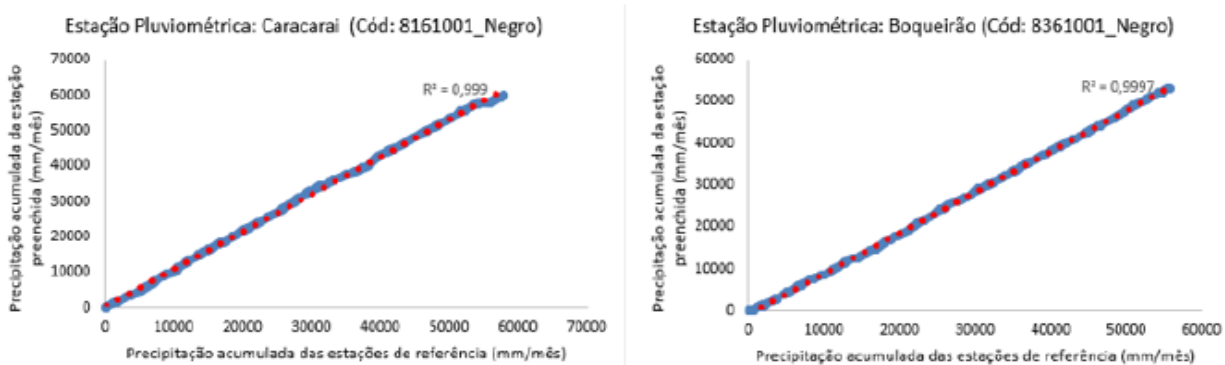


Figura 4. Processo de consistência de dados pluviométricos da bacia hidrográfica do rio Negro.

A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA, 2016) realizou um estudo no qual são apresentados dados monitorados dos valores de ION, que estão relacionados com a identificação das fases quentes e frias do ENOS (Figura 5). Os valores mostrados correspondem às médias móveis de 3 meses, as quais devem ser repetidas no mínimo 5 vezes consecutivas para determinar os períodos de ocorrência do El Niño (cor vermelha com temperaturas maiores que 0.5°C) ou La Niña (cor azul com temperaturas menores que -0.5°C) no período selecionado para estudo.

A Figura 5 serve como apoio para situar o leitor sobre as interferências do fenômenos ENOS nas variações da precipitação, sendo possível visualizar pontualmente estes eventos. A Figura 6 apresenta os mapas de isoietas anuais para a série temporal, os quais foram elaborados a fim de obter os valores de precipitação e volumes médios.

Após a elaboração dos mapas, percebeu-se que algumas áreas não foram interpoladas por falta de dados suficientes, sendo estas representadas pela coloração branca; no entanto, aproximadamente 547 mil km² da área foi interpolada, sendo possível observar o comportamento das chuvas em quase sua totalidade.

Verificou-se que houve pouca variação das chuvas ao longo dos anos, desconsiderando os períodos de ocorrência do fenômeno ENOS, sendo possível identificar claramente as áreas de maiores e menores índices pluviométricos. Em anos de anomalias, verificou-se a presença da faixa espectral azul escuro nos mapas (anos de La Niña), indicando aumento das chuvas e da faixa espectral azul claro (anos de El Niño), indicando uma diminuição das chuvas.

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1984 | -0.5 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.3 | -0.6 | -0.9 | -1.1 |
| 1985 | -0.9 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.3 |
| 1986 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.1 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.0 | 1.1 |
| 1987 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 |
| 1988 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | -0.3 | -0.8 | -1.2 | -1.2 | -1.1 | -1.2 | -1.4 | -1.7 | -1.8 |
| 1989 | -1.6 | -1.4 | -1.1 | -0.9 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.1 |
| 1990 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| 1991 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 1.2 | 1.4 |
| 1992 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 0 | -0.1 | -0.1 | 0 |
| 1993 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 1994 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.0 |
| 1995 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0 | -0.2 | -0.5 | -0.7 | -0.9 | -1.0 | -0.9 |
| 1996 | -0.9 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.5 |
| 1997 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | 0.1 | 0.6 | 1.0 | 1.4 | 1.7 | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.3 |
| 1998 | 2.1 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.5 | -0.1 | -0.7 | -1.0 | -1.2 | -1.2 | -1.3 | -1.4 |
| 1999 | -1.4 | -1.2 | -1.0 | -0.9 | -0.9 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.1 | -1.2 | -1.4 | -1.6 |
| 2000 | -1.6 | -1.4 | -1.1 | -0.9 | -0.7 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.8 | -0.8 |
| 2001 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.1 | 0 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.3 |
| 2002 | -0.2 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.3 | 1.1 |
| 2003 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0 | -0.2 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 2004 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 2005 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0 | -0.1 | -0.4 | -0.7 |
| 2006 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| 2007 | 0.7 | 0.3 | 0 | -0.1 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.6 | -0.8 | -1.1 | -1.2 | -1.3 |
| 2008 | -1.4 | -1.3 | -1.1 | -0.9 | -0.7 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.5 | -0.7 |
| 2009 | -0.8 | -0.7 | -0.4 | -0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.3 |
| 2010 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 0 | -0.4 | -0.8 | -1.1 | -1.3 | -1.4 | -1.3 | -1.4 |
| 2011 | -1.3 | -1.1 | -0.8 | -0.6 | -0.3 | -0.2 | -0.3 | -0.5 | -0.7 | -0.9 | -0.9 | -0.8 |
| 2012 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | -0.2 |
| 2013 | -0.4 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.3 |
| 2014 | -0.5 | -0.6 | -0.4 | -0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.6 |

Figura 5. Ocorrência de El Niño e La Niña de acordo com valores de ION.

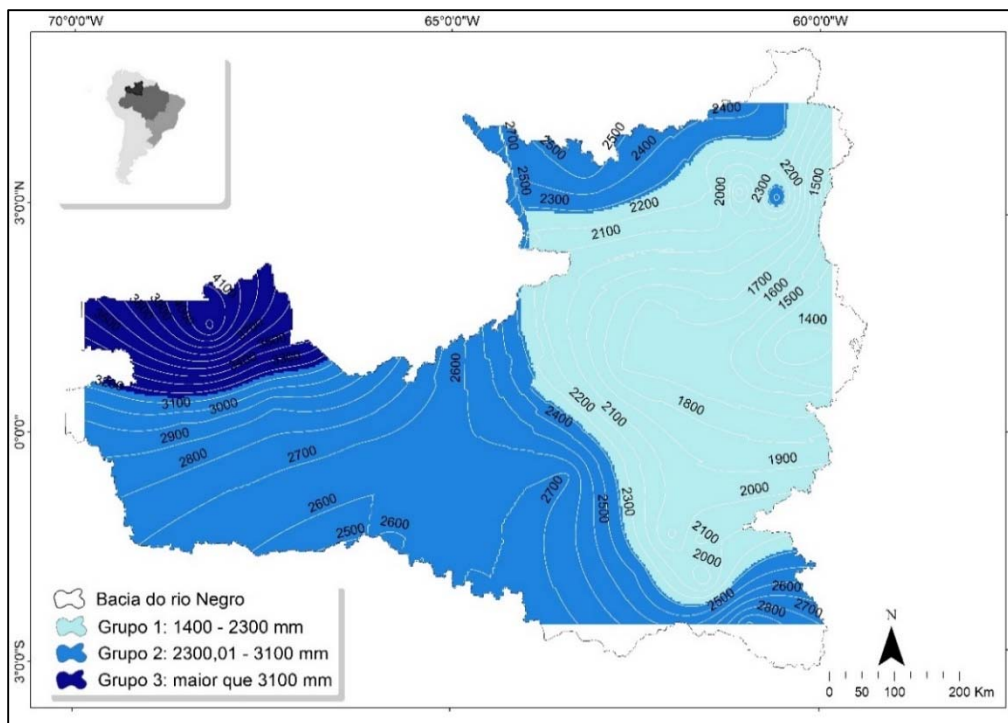


Figura 6. Isoietas anuais da bacia hidrográfica do rio Negro.

Os maiores e menores índices pluviométricos, bem como o comportamento da precipitação ao longo dos 31 anos, são apresentados na Figura 7, no entanto, não se pode afirmar se há tendência na série histórica, pois somente a aplicação de testes não paramétricos é capaz de fornecer essa informação, visto que as séries de chuva não se comportam de acordo com uma distribuição normal.

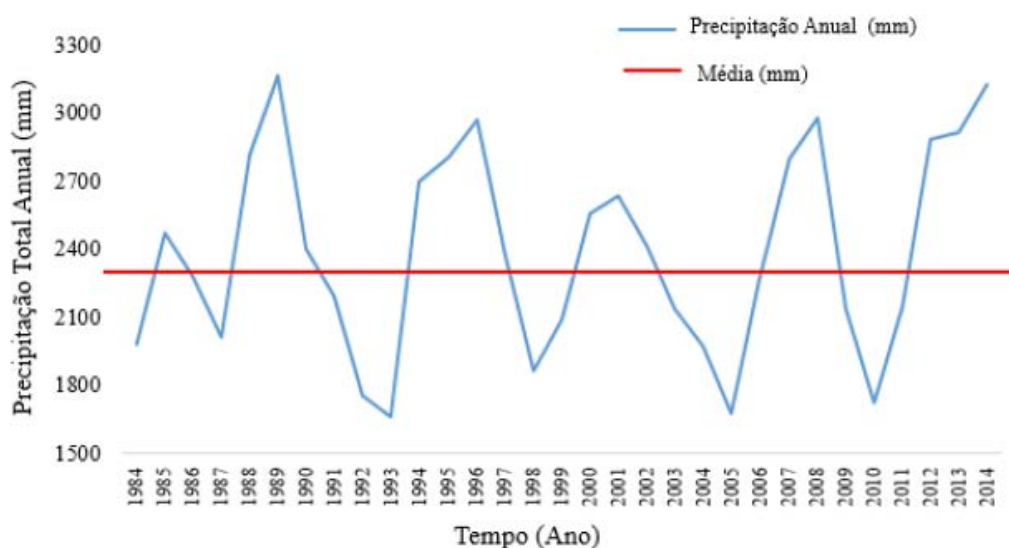


Figura 7. Comportamento das chuvas na bacia hidrográfica do rio Negro.

Os valores anuais totais de precipitação de 1984 a 2014 indicaram o ano de 1989 com maiores registros, ficando aproximadamente 784 mm (24.74%) acima da média da série temporal de 2383.96 mm; já o ano mais seco foi 1993, ficando 722.86 mm (30.32%) abaixo da média.

Verificou-se que na bacia hidrográfica do rio Negro as maiores precipitações estão localizadas a Noroeste do Estado do Amazonas, na região conhecida como “cabeça do cachorro”, atingindo em sua maioria, valores superiores a 3.000 mm por ano. Este fato pode estar relacionado com a preservação da área, composta por vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa e Campinaranas, além de ser uma região de difícil acesso, o que reduz os índices de desmatamento; além disso, há forte ação dos ventos transportados pela ZCIT, os quais controlam a umidade presente na região.

Na bacia hidrográfica do rio Negro, as áreas com menores índices pluviométricos são encontradas a Norte e Leste da sub bacia, sendo normalmente inferiores a 2.400 mm/ano, podendo ser justificado pela predominância de vegetação do tipo savana, a qual geralmente apresenta precipitações inferiores a 2.000 mm/ ano; além disso a presença de áreas antropizadas pode influenciar na redução das chuvas nesta região.

A variação na dinâmica espaço-temporal das chuvas pode estar relacionada com as taxas de desmatamento na Amazônia, além da influência de diversos fatores meteorológicos. Alguns estudos (Coe *et al.*, 2009; Müller *et al.*, 2016) apontam que as alterações no uso e ocupação do solo para a criação de gado e expansão da agricultura podem provocar alterações climáticas, impactos à biodiversidade e modificações no regime pluviométrico da Amazônia.

A Figuras 8 ilustra o comportamento das chuvas através da aplicação da média móvel de 3 anos no volume médio anual na bacia hidrográfica do rio Negro, período médio de ocorrência do fenômeno ENOS, sendo possível identificar os períodos com índices acima e abaixo da média pluviométrica, além da interferência do fenômeno climático.

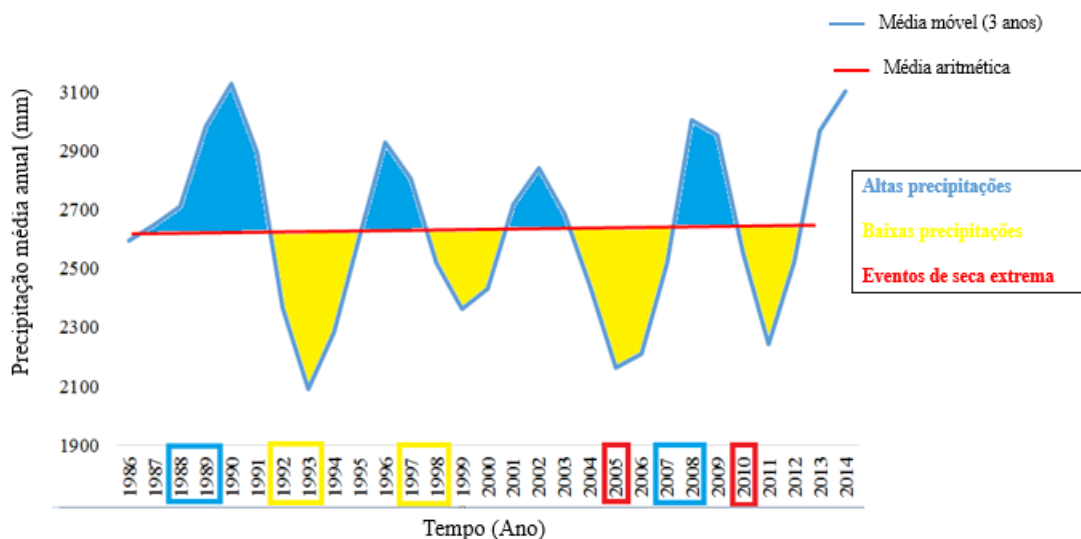


Figura 8. Variação das precipitações na bacia hidrográfica do rio Negro.

Nos anos de 2005 e 2010 a Amazônia sofreu eventos de seca extrema, o que pode ser percebido principalmente no ano de 2005 pela redução da chuva a níveis inferiores a 2.300 mm/ano na bacia.

Para Marengo *et al.*, (2008), o evento de seca que ocorreu na Amazônia em 2005 não foi ocasionado como consequência do fenômeno ENOS, e sim devido ao aquecimento das águas do oceano Atlântico, no entanto, a ocorrência do El Niño moderado também pode ter contribuído para alterações no regime das chuvas. Segundo Nijssen *et al.*, (2001), essas variações climáticas modificam os ambientes terrestres e aquáticos, além de as elevadas temperaturas favorecerem a ocorrência de um ciclo hidrológico mais forte, devido à alta taxa de evaporação das águas superficiais e a ocorrência de eventos de seca mais intensos e prolongados.

Os dados obtidos mostraram que não há tendência significativa ao nível de significância de 5%, para a precipitação média anual do rio Negro utilizando teste de Mann- Kendall (p -valor = 0.479) e Spearman (p -valor= 0.2389), pois considerando um teste bilateral, os valores encontrados foram bastante conclusivos por apresentarem-se dentro do intervalo dos valores críticos de $\pm 1,96$ com extremidades iguais a ± 0.025 , aceitando-se a hipótese nula e confirmando que não há tendência significativa na série de chuva selecionada neste estudo.

A pesquisa elaborada por Ishihara *et al.*, (2014) não identificou tendências na série história de 30 anos na região da Amazônia Legal.

Conclusões

A pesquisa foi realizada na porção brasileira da bacia hidrográfica do rio Negro, para caracterizar o regime pluviométrico dessa área e a possível interferência do fenômeno climáticos ENOS na dinâmica de precipitação.

A partir dos resultados levantados, foi percebido bom monitoramento das chuvas devido à espacialização em número considerável de estações pluviométricas ao longo da bacia.

O interpolador de Krigagem Ordinária Linear apresentou linhas suaves na elaboração dos mapas de isoietas, contudo, não reduziu, em alguns casos, a geração de “ilhas” isoladas de precipitação em alguns casos.

O comportamento das precipitações ao longo dos 31 anos acompanhou os anos de ocorrência do fenômeno ENOS, havendo aumento da precipitação em anos de La Niña e redução dos índices pluviométricos em anos de El Niño ou eventos de seca extrema, havendo forte relação entre a ocorrência dos eventos e os registros de chuva.

Com relação às análises de tendência, não foram identificadas tendências na série histórica da bacia hidrográfica do rio Negro, portanto, pôde-se inferir, de forma geral, que a área não sofreu alterações significativas nos seus volumes de chuva ao longo dos 31 anos, considerando nível de significância de 5%.

Referencias bibliográficas

- Amanajás, J. C., Braga, C. C. (2012) Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental Utilizando Análise Multivariada, *Revista Brasileira de Meteorologia*, **27**(4), 423-434.
- ANTAQ, Agência Nacional De Transportes Aquaviários (2013) Bacia Amazônica: Plano Nacional de Integração Hidroviária. Acesso em 23 novembro 2015, disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/PNIH/RTBaciaAmazonica.pdf>

- Britto, F.P., Barletta, R., Mendonça, M. (2008) Variabilidade espacial e temporal da Precipitação Pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul, *Revista Brasileira de Climatologia*, **3/4**, 37-48.
- Cashin, P., Mohaddes, K., Raissi, M. (2017) Fair weather or foul? The macroeconomic effects of El Niño, *Journal of International Economics*, **106**, 37-54.
- Coe, M.T., Costa, M.H., Soares-Filho, B.S. (2009) The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks, *Journal of Hydrology*, **369**, 165-174.
- Ishihara, J.H., Fernandes, L.L., Loureiro, G.E. (2014) Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007), *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **19**(1), 29-39.
- Islam, Z., Gan, T.Y. (2015) Potential combined hydrologic impacts of climate change and El Niño Southern Oscillation to South Saskatchewan River Basin, *Journal of Hydrology*, **523**, 34-48.
- Krave, A.S., Straalen, N.M.V., Verseveld, H.W.V., Röling, W.F.M. (2007) Influence of the El Niño and La Niña climate events and litter removal on inorganic nitrogen dynamics in pine forest soils on Central Java, Indonesia, *European Journal of Soil Biology*, **43**, 39-47.
- Kulkarni, M.K., Revadekar, J.V., Varikoden. H. (2013) About the variability in thunderstorm and rainfall activity over India and its association with El Niño and La Niña, *Nat Hazards*, **69**, 2005-2019.
- Loureiro, G. E., Fernandes, L.L., Ishihara, J.H. (2015) Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region, *Acta Scientiarum*, **37**(1), 89-98.
- Marengo, J. A., Nobre. C., Tomasella, J., Oyama, M.; Oliveira, G. S., Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L. M., Brown, I. F. (2008) The drought of Amazônia in 2005, *Journal of Climate*, **21**, 495-516.
- Montero, J.C., Latrubesse, E. M. (2013) The igapó of the Negro River in central Amazonia: Linking late-successional inundation forest with fluvial geomorphology, *Journal of South American Earth Sciences*, **46**, 137-149.
- Morishita, Y., Heki, K. (2008) Characteristic precipitation patterns of El Niño/La Niña in time-variable gravity fields by GRACE, *Earth and Planetary Science Letters*, **272**, 677-682.
- Müller, H., Griffith, P., Hostert, P. (2016) Long-term deforestation dynamics in the Brazilian Amazon—Uncovering historic frontier development along the Cuiabá–Santarém highway, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **44**, 61-69.
- Nijssen, B., O'donnell, G. M., Hamlet, A. F., Lettenmaier, D. P. (2001) Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change, *Climatic Change*, **50**, 143-175.
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions, 2016. Disponível em:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf
- Santos, J.S., Da Mota, M.A.S., Da Rocha, E.J.P. (2014) Classificação Climatológica da Energia Potencial Disponível para a Convecção na Cidade de Belém- PA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **29**, 60-72.
- Schwing, F.B., Murphree, T., Green, P.M. (2002) The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific, *Progress in Oceanography*, **53**, 115-139.
- Souza, E. B., Ambrizzi, T. (2003) Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise*. Acesso em: Dez. 2015. Disponível em:
<http://cptec.inpe.br/products/cliamanalise/artigos/artcien2.shtml>
- Trenberth, K. E., Stepaniak, D.P. (2001) Indices of El Niño Evolution, *Journal of Climate*, **14**, 1697-1701.
- Tucci, C. E.M. (org) (2012). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 4ª Edição, Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, Porto Alegre, Brasil, 944p.
- Varejão-Silva, M. A. (2006). *Meteorologia e Climatologia*. 2ª versão digital, Editora Pax, Recife, Brasil, 463p.
- Villar, J.C.E., Guyot, J.L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., De Oliveira, E., Ordoñez, J.J., Vauchel, P. (2009) Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004), *Journal of Hydrology*, **375**, 297-311.



- Villela, S. M., Mattos, A. (1975) *Hidrologia aplicada*, Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, Brasil, 245p.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G (2002). Power of the Mann- Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, *Journal of Hydrology*, **259**, 254-271.
- Zeidemann, V.K. (2001) *O Rio das Águas Negras*. In: Oliveira, A.A.; D.C. Daly; D. Varella. (Org.). Florestas do Rio Negro. 1° edição, Companhia das Letras, São Paulo, Brasil, **61**, 87-339.