



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE METEOROLOGIA

BÁRBARA FARIAS RIBEIRO

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS HIDROMETEOROLÓGICAS ASSOCIADOS ÀS FATORES  
AMBIENTAIS: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU**

**Nº : 438**

BELÉM – PA  
DEZEMBRO-2020

BÁRBARA FARIAS RIBEIRO

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS HIDROMETEOROLÓGICAS ASSOCIADOS ÀS FATORES  
AMBIENTAIS: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Área de Conhecimento: Meteorologia  
Linha de pesquisa: Hidrometeorologia.

Orientador: Prof. ° Dr. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz

BELÉM-PA  
DEZEMBRO-2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBDSistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R484e      Ribeiro, Bárbara Farias.  
              Estudo das variáveis hidrometeorológicas associados a fatores ambientais : Bacia hidrográfica do Rio Xingu / Bárbara Farias Ribeiro. — 2020.  
              57 f. : il. color.

              Orientador(a): Prof. Dr. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz  
              Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2020.

              1. Meteorologia. 2. Estatística. 3. Rio Xingu. I. Título.

CDD 551.5

---

BÁRBARA FARIAS RIBEIRO

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS HIDROMETEOROLÓGICAS ASSOCIADOS ÀS FATORES  
AMBIENTAIS: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia  
Linha de pesquisa: Hidrometeorologia.

**Aprovada em:** 11/ 12 / 2020

**Conceito:** Excelente

**Banca Examinadora**



---

Prof. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz – Orientador  
Doutor em Meio Ambiente  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. José Carvalho de Moraes - Examinador Interno  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

**Gustavo Francesco de Moraes Dias** Assinado de forma digital por  
Gustavo Francesco de Moraes Dias  
Dados: 2020.12.11 10:26:17 -03'00'

---

Prof. Gustavo Francesco de Moraes Dias - Examinador externo  
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Instituto Federal do Pará

Dedico este trabalho primeiramente á Deus por ser essencial em minha vida, a minha família que sempre me incentivaram nesta jornada acadêmica e iluminaram de maneira especial meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado chegar até aqui me dando saúde e força para superar as dificuldades. Gostaria de dedicar esse TCC as seguintes pessoas que foram essenciais durante essa etapa profissional da minha vida:

Minha família, minha mãe Selma Ribeiro e meu pai Carlos Ribeiro e meu irmão Breno Berg e os demais familiares que me incentivaram com sabedoria, e estiveram comigo nas horas mais difíceis e felizes da minha vida. Em memória a minha tia Raimunda Monteiro e que sempre ficou feliz em me ver feliz.

Meu namorado Diego Freitas que sempre acreditou no meu potencial, grande incentivador e companheiro para todas as horas.

Meu professor/orientador Joaquim Queiroz, que me ajudou com seus ensinamentos e precisas pontuações e me deu oportunidade na iniciação científica durante dois anos na qual cresci como pesquisadora e amadureci meus conhecimentos profissionais, fatores estes que foram fundamentais na minha formação e evolução não só acadêmica, mas como pessoa.

Minhas amigas de longa data Carol, Cibelle e Camila Leal pelas conversas compartilhadas a respeito de todos os assuntos e me fizeram ter uma visão de mundo diferenciada.

A todos os docentes e discentes do curso de Meteorologia, que estiveram sempre comigo nessa longa jornada e pela troca de conhecimento e convivência em especial para minhas companheiras de sala Adrienne Cristina, Ariane Nunes, Camila Soares e Mariana Fonseca.

Meu amigo Denis Gomes, pela troca de ideia, ensinamento e compartilhamento de informações, produção de artigos, disponibilidade do Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais para realização dos meus projetos e pela amizade.

Muito obrigada a todas as outras pessoas que de forma direta ou indireta colaboraram na minha evolução.

“Se teus olhos forem bons, todo o teu corpo terá luz.”

*(Mateus 6:23)*

## RESUMO

A questão das mudanças nos níveis dos rios (cheias e vazantes) e a variabilidade da precipitação pluviométrica na região Amazônica, é um grande problema, pois atinge diretamente a população local. Isso realça a importância do planejamento ambiental, incluindo uma gestão adequada para as bacias que compõe essa região. Na região amazônica destaca-se, a bacia hidrográfica do rio Xingu que está localizada no estado do Mato Grosso e Pará., se desenvolve no sentido sul-norte. O objetivo deste trabalho é o uso dos modelos espaços- temporais com as variáveis hidro meteorológicas (precipitação e vazão) associados á fatores ambientais (como o uso da terra) para auxiliar na caracterização de áreas na bacia do rio Xingu. Para análise estatística dos dados pluviométricos e fluviométricos foram utilizados: modelos de regressão com a finalidade de avaliar as tendências para essas variáveis, estudo de correlação espacial através da geoestatísticas com mapeamento de variáveis e uso de modelos espaciais (econometria espacial), e o método k-means (formação de grupos homogêneos), através dos software Microsoft Excel e Programa R- *The R Project for Statistical Computing* 2015. De acordo com a série histórica anual (1988 a 2017), foi observado que a precipitação anual média na bacia é entre 1273,2 mm a 2645,3 mm. Enquanto a variabilidade média mensal mostra o período menos chuvoso caracterizado pelos meses de Maio a Outubro se observa flutuações com valores mínimos de 17,4 mm a 155,6 mm ocasionando o período de estiagem na área. A bacia apresenta maiores vazões no trimestre Fevereiro, Março e Abril sendo o maior valor em Março (7937,5 m<sup>3</sup>/s). O estudo de tendência para as duas variáveis mostrou que a média se manteve constante, ou seja, não houve tendência. Os índices de Moran Globais calculados para precipitações (I=0,7521) e vazões (I=7833) indicam que existe uma correlação espacial positiva para as duas variáveis. O uso da terra com maior predominância na bacia é floresta com (75,4%), concentrando em quase toda a extensão territorial da bacia predominando na parte central e nos municípios mais ao Norte .Os resultados obtidos neste estudo poderão contribuir para um maior conhecimento de possíveis relações entre variáveis hidro meteorológicas e ambientais na bacia do Xingu e de quanto esses resultados poderão ajudar a população próxima a área de estudo com os problemas de variabilidade do níveis dos rios, chuvas intensas e seus possíveis danos a comunidade local no fator econômico, material e ambiental.

**Palavras-chave:** Hidrometeorologia. Estatística. Rio Xingu

## ABSTRACT

The question of the changes in rivers' levels (floods and ebbs) and the variability of rainfall in the Amazon region is a major problem, as it directly affects the local population. This highlights the importance of environmental planning, including adequate management for the basins that make up this region. In the Amazon region, the hydrographic basin of the Xingu River, which is located in the state of Mato Grosso and Pará, develops in the south-north direction. The objective of this work is the use of space-time models with hydro meteorological variables (precipitation and flow) associated with environmental factors (such as land use) to assist in the characterization of areas in the Xingu River basin. For statistical analysis of pluviometric and fluvimetric data, regression models were used in order to assess trends for these variables, study of spatial correlation through geostatistics with mapping of variables and use of spatial models (spatial econometrics), and the k-means method (formation of homogeneous groups), using Microsoft Excel software and R-The R Project for Statistical Computing 2015. According to the annual historical series (1988 to 2017), it was observed that the annual average precipitation in the basin is between 1273.2 mm to 2645.3 mm. While the monthly average variability shows the least rainy period characterized by the months of May to October, fluctuations are observed with minimum values of 17.4 mm to 155.6 mm causing the drought period in the area. The basin has the highest flows in the months of February, March and April, with the highest value in March (7937.5 m<sup>3</sup> / s). The trend study for both variables showed that the average remained constant, that is, there was no trend. The Moran's global indices calculated for rainfall ( $I = 0.7521$ ) and flows ( $I = 7833$ ) indicate that there is a positive spatial correlation for these two variables. The land's use with the most predominance in the basin is forest with (75, 4%), concentrating in almost all the territorial extension of the basin, predominating in the cities located in central and in the cities concentrated in the north part of this region. The results obtained in this study may contribute to greater knowledge of possible relationships between hydro meteorological and environmental variables in the Xingu basin and how much these results can help the population near of the study area with the problems of the variability in the river level, heavy rains and their possible damage to the local community related to the economic, material and environmental factors.

**Keywords:** Hydrometeorology. Statistic. Xingu River.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Xingu.....	19
Figura 2-Modelo de semivariograma esférico .....	26
Figura 3-Espacialização Pluviométrica da média anual do período 1988 a 2017:Bacia Hidrográfica do Xingu. ....	33
Figura 4-Variabilidade pluviométrica da média mensal acumulada do período de 1988 a 2017: Bacia Hidrográfica do Rio Xingu .....	34
Figura 5-Variabilidade sazonal dos níveis do rio Xingu no período de 1978-2018.....	35
Figura 6-Vazões médias mensais do Rio Xingu no período de 1978-2018.....	36
Figura 7-Espacialização Pluviométrica da média mensal: Bacia Hidrográfica do Xingu. ....	37
Figura 8-Espacialização Fluviométrica da média mensal: Bacia Hidrográfica do Xingu. ....	38
Figura 9-Tendência de precipitação na estação Arapari (1982 a 2015) .....	39
Figura 10-Tendência de precipitação na estação Altamira (1982 a 2015) .....	40
Figura 11-Tendência de vazão na estação Arapari (1972 a 2016).....	41
Figura 12-Tendência de vazão na estação Altamira (1971 a 2014).....	41
Figura 13-Índice de Moran Global: Precipitação .....	43
Figura 14-Índice de Moran Global: Vazão .....	43
Figura 15-Teste de significância para os Índices Globais de Moran: a esquerda para precipitação .....	43
Figura 16- Teste de significância para os Índices Globais de Moran: a direita para vazão .....	43
Figura 17-Índice de Moran Local para as precipitações.....	44
Figura 18-Índice de Moran Local para as vazões .....	45
Figura 19-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 1).....	47
Figura 20-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 2) .....	48
Figura 21-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 3) .....	48

Figura 22-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 4 ) .....	49
Figura 23-Vazões características Bacia do Rio Xingu através do método k-means.....	50
Figura 24-Mapa de uso e cobertura da terra na bacia do Xingu. ....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Localização das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia em estudo no estado do Pará.....	21
Tabela 2-Localização das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia em estudo no estado do Mato Grosso .....	24
Tabela 3- Modelos de tendência linear para precipitação ( $y = \beta_0 + \beta_1x + \varepsilon$ ). .....	40
Tabela 4-Modelos de tendência linear para vazão ( $y = \beta_0 + \beta_1x + \varepsilon$ ).....	42
Tabela 5-Grupos de vazões (m <sup>3</sup> /s) nos municípios da bacia do Xingu. ....	46

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
CPC	Climate Prediction Center
ELETRO BRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FAC	Função Autocorrelação
FACP	Função Autocorrelação Parcial
GPCC	Global Precipitation Climatology Center
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LISA	Local Indicators of Spatial Association
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SECTAM	Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNPDC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
ST	Série Temporal
UC	Unidade de Conservação
UCS	Uso e Cobertura do Solo
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Objetivo Especifico</b> .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	19
3.1.1	Localização das estações da bacia em estudo .....	21
<b>3.2</b>	<b>Aquisição de dados</b> .....	25
<b>3.3</b>	<b>Métodos</b> .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSÕES</b> .....	32
<b>4.1</b>	<b>Espacialização Pluviométrica Anual</b> .....	32
<b>4.2</b>	<b>Variabilidade Sazonal da Precipitação</b> .....	34
<b>4.3</b>	<b>Caracterização Fluviométrica do Rio Xingu</b> .....	35
<b>4.4</b>	<b>Espacialização Pluviométrica Mensal</b> .....	36
<b>4.5</b>	<b>Espacialização Fluviométrica Mensal</b> .....	37
<b>4.6</b>	<b>Estudo de Tendência Linear</b> .....	38
4.6.1	Estudo de Tendência para Precipitação .....	39
4.6.2	Estudo de Tendência para Vazão .....	40
<b>4.7</b>	<b>Estudo da Correlação Espacial da Precipitação e Vazão para os municípios da Bacia do rio Xingu</b> .....	42
4.7.1	Índice de Moran Global para precipitação e vazão .....	42
4.7.2	Índice de Moran Local (LISA) para precipitação e vazão .....	44
<b>4.8</b>	<b>Caracterização da bacia do rio Xingu segundo as vazões</b> .....	45
<b>4.9</b>	<b>Uso e ocupação da terra</b> .....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	52
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Barella (2001) bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

De acordo com Tucci (1997), o termo bacia hidrográfica é como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

As sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km<sup>2</sup> e menores que 700 km<sup>2</sup> para Faustino (1996), já para Martins (2005), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km<sup>2</sup> a 300 km<sup>2</sup>). Para Santana (2004), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor.

As abordagens de planejamento e gerenciamento ambiental utilizando a bacia hidrográfica como unidade de estudo têm evoluído bastante, desde que as mesmas apresentam características biogeofísicas que denotam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos Dasmann, Milton e Freeman (1973). A caracterização tem grande aplicação como indicador para previsão do grau de vulnerabilidade da bacia a fenômenos como enchentes, inundações e erodibilidade, dentre outros (CARDOSO et al., 2006; VILLELA; MATTOS, 1975), além de ser uma informação que auxilia na compreensão dos eventos pluviais e suas consequências (VENTURA, 2011).

O rio Amazonas é o segundo rio mais extenso do planeta, é considerada a bacia mais importante em termo de área de drenagem e vazão. Ocupando uma área total de 6.925.674 km<sup>2</sup>, desde as nascentes do rio Amazonas nos Andes Peruanos até sua foz no Oceano Atlântico, a Região Hidrográfica Amazônica, tem no Brasil 63,88% do seu território (FILIZOLA et al., 2002).

O grande problema hidrológico nessa região é a questão da variabilidade no nível dos rios onde ocorre as cheias e vazantes atingindo diretamente a população local. Os principais afluentes da margem esquerda são o rio Japurá, o Negro e o Trombeta e da

margem direita o Juruá, o Purus, o Madeira, Tapajós e Xingu, este último tornando-se de grande destaque nos últimos anos. (IBGE, 2015).

A bacia hidrográfica do rio Xingu está situada dentro dos estados do Pará e do Mato Grosso e abrange cerca de 509,7 mil km<sup>2</sup>, onde o rio Xingu é o seu principal curso d'água. Representa um dos principais contribuintes da margem direita do rio Amazonas, tendo em torno de 60% de seu território recoberto por áreas protegidas (unidades de conservação e terras indígenas) (VILLAS-BÔAS et al., 2012).

Ao longo do trajeto da bacia há diferentes condições hidrológicas, ambiental e influência antrópica como a implementação da usina de Belo Monte que está localizada em um trecho de 100 km no Rio Xingu, no estado do Pará que certamente causará alterações na climatologia e hidrografia da região. “Mudanças no regime hídrico influenciam fortemente a flora e a fauna adaptada a determinadas flutuações do nível e da correnteza” (JUNK; MELLO, 1990).

Os fatores associados aos impactos no meio físico-biótico com a implantação do reservatório destacam-se: que a formação de um reservatório aumenta a pressão hidrostática sobre as nascentes situadas ao longo das margens do rio e nos rios que são represados, o que pode levar a alterações na alimentação natural e drenagem de aquíferos (ELETROBRAS, 2009).

Todos esses fatores e as suas interações são influenciados pelas atividades humanas, incluindo geomorfologia fluvial e clima. Dependendo da região de estudo, os impactos das alterações climáticas na vazão incluem aumentos e diminuições, com acompanhamento de mudanças na sazonalidade segundo Knox (2006), Graham et al. (2007), Christensen et al. (2004), e Regonda et al. (2005).

Nesse quesito, destaca-se a questão da variação de nível do rio Xingu na cidade de Altamira (esperada com a implantação da barragem), onde o outorgado pela Agência Nacional de Águas está na regularização do nível máximo nas cotas de cheias (ANA, Resolução n. 48, de 28 de fevereiro de 2011). Os efeitos adversos das cheias sazonais nas comunidades ribeirinhas estão dentre as principais consequências sociais causadas pela alteração do regime hidrológico (vazão reduzida em uma área e aumento da cota em outra) que podem ser associadas ao efeito de barragens.

A precipitação pluviométrica é uma variável chave neste controle, pois representa um importante meio de avaliação dos parâmetros de descarga (vazão) e variação de nível (cota) dos principais cursos drenantes, possibilitando analisar as consequências dos períodos de cheias e estiagens na região (BINDLISH; BARROS, 2000; ARAÚJO; GUETTER, 2007; COLLISCHONN et al., 2008.; SILVA et al., 2008; CUARTAS et al., 2012).

A intensificação do regime de precipitação na região, afeta o nível e vazão das bacias, pelo fato da precipitação ser a principal moduladora da variação das vazões nas bacias hidrográficas, logo, percebe-se a necessidade de buscar o entendimento do comportamento dinâmico dos meios por onde a água é transportada em suas diversas fases, que é primordial para obter uma resposta para as questões hidrológicas na escala hidrográfica, com isso, podendo prever as possíveis enchentes e seus possíveis danos socioeconômicos. Entretanto, a vazão que ocorre nos períodos entre os eventos de precipitação também pode ser derivada da drenagem de lagos, pântanos ou mesmo da lenta drenagem de solos rasos localizados em partes mais altas da bacia hidrográfica (HEWELLET; HIBBERT, 1963).

Conhecer a distribuição espacial da precipitação pluvial é de suma importância, pois possibilita avaliar o comportamento desta variável aplicado a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas (LI et al., 2010), *dinâmica de rios e estimativa de perdas de solo* (CUARTAS et al., 2012), e eventos extremos como enchentes e estiagem (KEENAN et al., 2014). A medição de precipitação em um determinado local utilizando instrumentos baseados na superfície é relativamente simples, as medições diretas e uniformes sobre grandes regiões são difíceis, dada a variabilidade espacial e temporal, o tipo e a ocorrência da precipitação (NOBREGA et al., 2008).

Então essa variabilidade tanto espacial como temporal desse fenômeno natural, não se tinha como prever a data e muito menos o nível que a cheia iria ocorrer, assim as populações ribeirinhas próximo a bacia não tinha como se preparar e muito menos a chance de se prevenir para superar este período sem muitos danos.

Com a necessidade de entender a variabilidade do nível do rio e minimizar danos causados a população ribeirinha surgem os modelos estatísticos de previsão de enchentes, modelos mais necessários e precisos que funcionam através de dados de estações pluviométricas, fluviométricas e hidrométricas, onde esses dados auxiliam no desenvolvimento do modelo. Os modelos espaço-temporais são modelos mais recentes e constituem uma área com grande potencial para pesquisa científica que em geral são

construídos de forma a representar probabilisticamente o comportamento dos dados coletados em várias localizações no espaço sendo que em cada localização estes também apresentam uma dependência temporal.

Vários problemas poderão ser solucionados através desses modelos prognostico na região da bacia em estudo principalmente no período da seca e cheia do rio que ocorre todos os anos, interferindo diretamente na vida de quem mora as margens do rio que sempre são as mais afetadas, e inúmeros setores como a navegação que uma das principais fonte de renda das famílias ribeirinhas que sobrevivem da pesca e também ser a condução principal para o transporte de mercadorias e pessoas. A constante circulação de pessoas e bens pelos rios é afetada diretamente por essa sazonalidade, presumindo assim, que as populações que habitam as margens dos rios e que deles dependem para a execução de suas atividades diárias, busquem adaptar-se a estas mudanças (SAMPAIO et al., 2012).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é o uso dos modelos espaços-temporais com as variáveis hidrometeorológicas (precipitação e vazão) associados á fatores ambientais (uso da terra) para auxiliar na caracterização de forma estatística de áreas na bacia do rio Xingu.

### **2.2 Objetivo Especifico**

- Avaliação de tendências de precipitação e vazões na Bacia do Xingu;
- Estudo da correlação espacial de precipitações e vazões;
- Caracterização da bacia do rio Xingu através do método K-means;
- Mapeamento de variáveis hidrológicas e climáticas com uso de técnicas de estatística espacial;
- Analisar os aspectos climatológicos regionais da precipitação na escala da bacia hidrográfica;
- Investigar os mecanismos dinâmicos de grande escala associados aos eventos extremos do regime hidrológico (vazão, cota e precipitação) observados na Bacia do rio Madeira;
- Realizar estudo de relações quantitativas entre as variáveis socioambientais.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

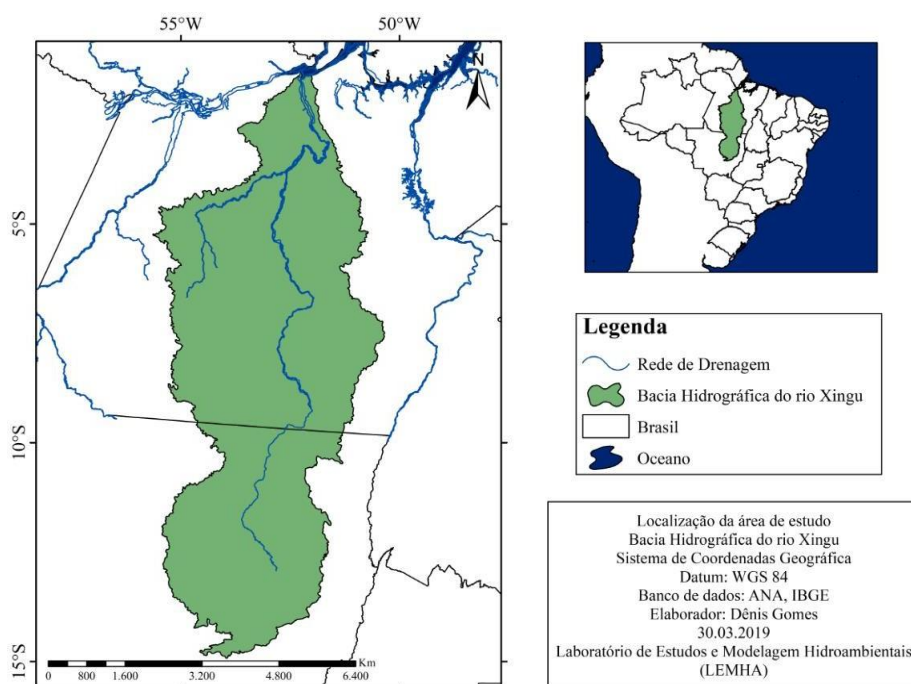
A bacia hidrográfica do rio Xingu (Figura 01) está localizada no estado do Mato Grosso e Pará, se desenvolve no sentido sul-norte. As coordenadas geográficas da bacia do rio Xingu, de acordo com os seus pontos extremos são: ao norte, o rio Amazonas com latitude - 01°23'24"N; ao sul, o estado do Mato Grosso com latitude -09°48'05"N; a leste, com longitude 50°19'44"W; e a oeste, com longitude de 55°15'06"W, pertencente a bacia do rio Tapajós (SECTAM, 2009).

Da área total 531.250 km<sup>2</sup>, sendo que (40,8%) pertencem ao Estado do Mato Grosso, e a área restante (59,2 %) pertence ao Estado do Pará, que ocupa uma área de aproximadamente 314.427 km<sup>2</sup> correspondente a 25,1% da área do estado (LUCAS, 2007).

Seus principais cursos d'água no Pará: rios Xingu, Irirí, Curuá, Fresco, Bacajá, Caeté, Ximxim e Chiche (DIAS et al., 2015).

Abrange uma área de drenagem de aproximadamente 520.00 km<sup>2</sup> e cerca de 2.000 km de comprimento de vazão média entre 2.582 e 9.700 m<sup>3</sup>/s (PETTENA et al., 1980; LATRUBESSE et al., 2005). A cobertura vegetal original é do tipo floresta tropical densa e o clima é tropical úmido. A pluviosidade se aproxima de 2000 mm a 2500 mm anuais, mas é irregular durante o ano.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Xingu.



Fonte: Autor.

A temperatura do ar na região mostra valores de temperatura média compensada anual entre 24 e 28 °C, temperatura máxima anual entre 28 e 30 °C e temperatura mínima anual entre 18 e 24 °C. Na parte sul da região verifica-se as maiores amplitudes térmicas anuais. A umidade relativa do ar apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano (INMET, 2008).

A bacia possui uma rica biodiversidade e contém também espécies animais e vegetais endêmicas, atualmente vivem 24 povos indígenas, populações ribeirinhas e migrantes de diversas partes do Brasil em toda a bacia do Xingu em Mato Grosso e no Pará. São 21 Terras Indígenas e 9 Unidades de Conservação (UC), que conformam um dos maiores corredores de áreas protegidas do Brasil e do mundo, somando um total de 28 milhões de hectares de grande importância socioambiental.

Contudo, as unidades de conservação constituem uma importante ferramenta para a proteção da socio biodiversidade, sendo amplamente utilizadas nas esferas estadual e federal, buscando evitar ou diminuir impactos ambientais e, ao mesmo tempo, auxiliar um processo de ocupação racional do espaço por meio de projetos de desenvolvimento local (BORGES et al., 2007).

### 3.1.1 Localização das estações da bacia em estudo

Os resultados do banco de dados georreferenciado das estações na área de estudo são organizados em tabelas com as variáveis de interesse, tal como a (Tabela 1) representando as estações referentes ao estado do Pará, em que são apresentadas as estações de monitoramento pluviométrico e fluviométrico selecionadas (28 estações) que correspondem ao municípios, bem como o código e coordenadas geográficas.

Na bacia do Xingu estão localizados no estado do Pará os municípios de Altamira, São José Porfírio, Vitoria do Xingu e São Felix do Xingu e na parte oeste do município de Anapú.

Tabela 1- Localização das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia em estudo no estado do Pará.

ESTAÇÃO	CODIGO	NOME	MUNICIPIO	LATITUDE	LONGITUDE
E1	18121002	Jusante da Barragem	Santarém	-2:47:0	-54:16:0
E2	18121006	Barragem- Conj 4	Santarém	-2:48:56	-54:18:6
E3	18150000	Lajeiro	MonteAlegre	-0:58:0	-54:26:0
E4	18200000	Arapari	MonteAlegre	-1:46:44	-54:23:50
E5	18250000	Uruará	Uruará	-3:40:38	-53:33:15
E6	18280000	Apalai	Almeirim	0,05086806	-54:39:25
E7	18295000	Porto Puxuri	Almeirim	-0:12:50	-53:50:49
E8	18300000	Fazenda Paquira	Almeirim	-0:25:0	-53:41:15
E9	18460000	Boa Sorte	São Félix do Xingu	-6:44:9	-51:59:43
E10	18470000	UHE São Félix	São Félix do Xingu	-6:47:52	-52:0:2
E11	18480000	Fazenda Rio Dourado	Cumaru do Norte	-8:19:37	-51:27:37
E12	18500000	Boa Esperança	São Félix do Xingu	-6:44:43	-51:46:25
E13	18510000	São Félix do Xingú	São Félix do Xingu	-6:36:15	-52:3:28

E14	18514000	UHE Pombal	São Félix do Xingu	-5:55:4	-52:35:27
E15	18520000	Belo Horizonte	Altamira	-5:23:34	-52:52:38
E16	18590000	Manoel Jorge	Altamira	-6:11:14	-54:5:1
E17	18600000	Laranjeiras	Altamira	-5:41:48	-54:14:44
E18	18620000	Cachoeira da Luz	Altamira	-8:46:0	-54:57:0
E19	18640000	Aldeia Baú	Altamira	-7:20:46	-54:49:25
E20	18650000	Cajueiro	Altamira	-5:39:0	-54:31:15
E21	18700000	Pedra do Ó	Altamira	-4:31:40	-54:0:45
E22	18849100	UHE Altamira	Altamira	-3:17:55	-52:12:7
E23	18850000	Altamira	Altamira	-3:12:53	-52:12:44
E24	18870000	Aldeia Bacajá	Sen. José Porfirio	-4:54:58	-51:25:42
E25	18880000	Fazenda Cipaubá	Anapu	-3:43:53	-51:34:3
E26	18901080	UHE Belo Monte Fazenda Boa	Sen. José Porfirio	-3:6:7	-51:46:43
E27	18940000	Esperança	Porto de Moz	-2:12:40	-52:48:0
E28	18960000	Porto do França	Porto de Moz	-1:47:0	-52:5:0

As estações representando o estado do Mato Grosso, contendo (9 estações) em estudo apresentando os dados da variável em estudo e denota em quais rios da bacia do Xingu estão situadas as estações fluviométricas e são exibidos na (Tabela 2).

Tabela 2-Localização das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia em estudo no estado do Mato Grosso.

ESTAÇÃO	CODIGO	NOME	MUNICÍPIO	ESTADO	LATITUDE	LONGITUDE
E1	18408900	Passagem da BR-309	Paranatinga	Mato Grosso	-14:36:47	-54:0:56
E2	18415000	Pousada Matrinxa	Canarana	Mato Grosso	-13:34:9	-53:4:34
E3	18420000	Fazenda Itaguaçu	Paranatinga	Mato Grosso	-13:8:27	-54:26:43
E4	18422000	Riacho de Deus	Marcelândia	Mato Grosso	-11:7:38	-54:28:36
E5	18423000	Consul	Feliz Natal	Mato Grosso	-12:21:57	-54:29:21
E6	18428000	Santa Cruz do Suia	Querência	Mato Grosso	-12:37:19	-52:3:32
E7	18430000	Passagem BR-080 Rio Comandante	Marcelândia	Mato Grosso	-10:46:38	-53:5:44
E8	18435000	Fontoura	São José do Xingu	Mato Grosso	-10:33:17	-52:11:0
E9	18436000	Jusante Rio Preto	Vila Rica	Mato Grosso	-10:2:50	-52:6:52

Fonte: Adaptado de ANA (2020).

## 2.2 Aquisição de dados

Os dados de precipitação mensal foram adquiridos na plataforma da HidroWeb, que disponibiliza medições dos pluviômetros distribuídos espacialmente pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2019) compiladas em <http://www.hidroweb.ana.gov.br>. e pelo Climate Prediction Center (CPC, pertencente a NOAA) obtidos no endereço <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Dispostos numa grade (matriz de dados nas dimensões latitude, longitude e tempo) sobre o Brasil com resolução horizontal de 0.5°, gerados através do sistema de análise de dados observacionais do Climate Prediction Center são baseados inteiramente nos registros das estações de superfície da rede meteorológica nacional e estadual (SILVA et al., 2007). Maiores detalhes sobre o controle

de qualidade e sobre a técnica de análise objetiva e interpolação usados na geração destes dados podem ser encontrados em (CHEN et al, 2008).

Foram usados dados pluviométricos anual no período de (1988 a 2017) do produto do *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC, 2018), com resolução espacial de  $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ , no qual os dados de estações são espacialmente interpolados por um complexo método empírico (PASSOW, 2010; BECKER et al., 2013; SANTOS et al., 2017).

Os dados de cota ou nível fluviométrico médio mensal utilizados são registrados nas régua limnométricas instaladas no rio Xingu, no município de Altamira-PA (Cód. 18850002), também foram obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA, 2019) e dispõe-se de uma série temporal de dados no período de 1982 a 2015.

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos no Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019) de acordo com Santos et al. (2017).

### 2.3 Métodos

O mapeamento da distribuição da vazão realizado com o uso da geoestatística utiliza uma ferramenta denominada semivariograma para a caracterização do padrão espacial da variável em estudo. Os conceitos e aplicações da geoestatística podem ser encontrados em livros textos como Journel (1987, 1989), Deustch e Journel (1996), Goovaerts (1997) e Deustch (2002).

O principal modelo de semivariograma, referido como modelo esférico (Figura 3) é expresso matematicamente, em termos gerais, como:

$$\begin{aligned} \gamma(\mathbf{h}) &= C_0 && \text{para } \mathbf{h} = 0 \\ \gamma(\mathbf{h}) &= C_0 + C \left( \frac{3a}{2\mathbf{h}} - \frac{a^3}{2\mathbf{h}^3} \right) && \text{para } 0 < \mathbf{h} \leq a \end{aligned} \quad (1)$$

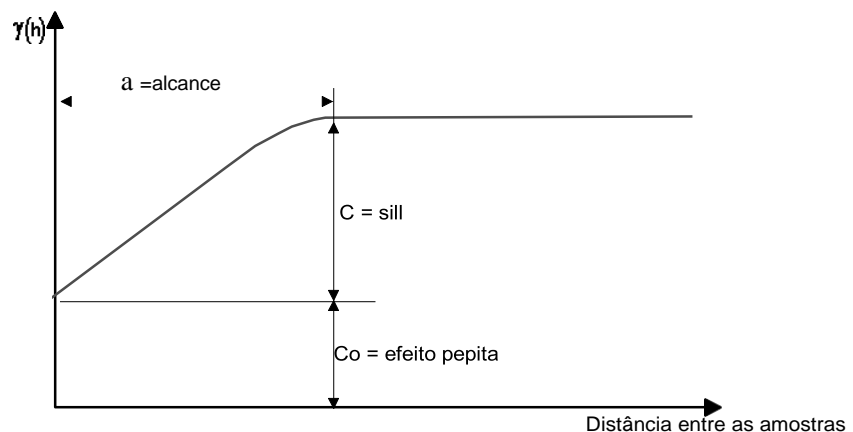
$$\gamma(\mathbf{h}) = C_0 + C \quad \text{para } \mathbf{h} > a$$

onde  $C_0$  é a variabilidade aleatória inerente das amostras na distância zero, denominado efeito pepita. A distância na qual as amostras tornam-se independente umas das outras é representada por  $a$ , referida como a faixa de influência (ou alcance). A semivariância constante onde os valores de  $\gamma(h)$  são nivelados a distâncias maiores do que  $a$ , é representada por  $C_0 + C$ , onde  $C$  é referido como o *sill* do semivariograma.

Os parâmetros do modelo são determinados interativamente por meio do ajuste do modelo aos resultados da análise do semivariograma amostral, esse modelo resultante é uma medida da variabilidade da amostra e, assumindo que as amostras são representativas, uma medida da variabilidade da variável regionalizada.

A estimativa de valores de uma variável regionalizada em áreas não amostradas pode ser realizada pela aplicação de técnicas geoestatísticas como a krigagem. A krigagem é a designação genérica adotada na geoestatísticas para uma família de algoritmos de regressão por mínimos-quadrados baseados no estimador de regressão linear  $Z^*(u)$  definido como:

Figura 2-Modelo de semivariograma esférico.



$$Z^*(\mathbf{u}) - m(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) [Z(\mathbf{u}_{\alpha}) - m(\mathbf{u}_{\alpha})] \quad (2)$$

onde  $\lambda_{\alpha}(\mathbf{u})$  é o peso atribuído a cada valor observado  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$  localizado dentro de determinada vizinhança  $W(\mathbf{u})$  centrado na localização  $\mathbf{u}$ . Os pesos  $\lambda_{\alpha}(\mathbf{u})$  são calculados de forma minimizar a estimação ou erro da variância  $\sigma^2(\hat{\mu}) = \text{Var}[Z^*(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u})]$ . Sob a condição de não-tendenciosidade do estimador.

Uma série temporal (ST) pode ser definida como um conjunto de observações,  $Y_t$  em função do tempo (MORETTIN; TOLOI, 2004). As principais ferramentas utilizadas para análise de séries temporais são: as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial.

A função autocorrelação (FAC) representa a correlação simples entre  $Y_t$  e  $Y_{t-k}$  em função da defasagem  $k$ . A função de autocorrelação de uma ST  $\{Y_t\}$  pode ser definida como:

$$\rho = \frac{\sum_{t=0}^{N-k-1} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=0}^{N-1} (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

onde,  $N$  representa o comprimento da ST e  $\bar{Y}$  é o valor esperado das observações, calculada para a variação temporal (*atraso*)  $k$ . O coeficiente de autocorrelação ( $\rho$ ) de uma ST varia entre  $-1$  e  $1$ , inclusive. Se  $\rho$  assume o valor  $1$ , então, diz-se que as duas variáveis medidas possuem uma autocorrelação positiva absoluta, caso contrário, se  $\rho = -1$ , diz-se que a autocorrelação negativa é absoluta. Quando  $\rho$  assume valor  $0$ , não existe autocorrelação entre as variáveis, ou seja, considera-se que as observações são independentes.

A função autocorrelação parcial (FACP) representa a correlação entre  $Y_t$  e  $Y_{t-k}$  como uma função da defasagem  $k$ , filtrado o efeito de todas as outras defasagens sobre  $Y_t$  e  $Y_{t-k}$ . A função de autocorrelação parcial é definida como a sequência de correlações entre ( $Y_t$  e  $Y_{t-1}$ ), ( $Y_t$  e  $Y_{t-2}$ ), ( $Y_t$  e  $Y_{t-3}$ ) e assim por diante, desde que os efeitos de defasagens anteriores sobre  $t$  permanecem constantes. A FACP é calculada como o valor do coeficiente  $\phi_{kk}$  na equação:

$$Y_t = \phi_{k1}Y_{t-1} + \phi_{k2}Y_{t-2} + \phi_{k3}Y_{t-3} + \dots + \phi_{kk}Y_{t-k} + u_t \quad (4)$$

O modelo desenvolvido pela metodologia de Box-Jenkins, conhecido como ARIMA (Auto Regressivo Integrado Médias Móveis), consiste basicamente de uma função de regressão populacional para  $Y_t$  em que há apenas 2 tipos de “variáveis explicativas”: a parte “auto-regressiva”, que representa os valores passados de  $Y_t$  e a parte “médias móveis”, que representa valores presente e passado do distúrbio normal  $u_t$  (ou “inovação”). A forma geral da equação (notação BOX; JENKINS, 1976) é:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + u_t - \theta_1 u_{t-1} - \dots - \theta_q u_{t-q} \quad (5)$$

onde  $p$  é a defasagem máxima de  $Y_t$  presente na equação,  $q$  é a defasagem máxima de  $u_t$  (médias móveis) presente na equação e  $\phi_p$  e  $\theta_q$  são os parâmetros (autorregressivos e média móveis, respectivamente) do modelo a serem determinados.

O tipo (autorregressivo ou médias móveis) e a quantidade de parâmetros a serem usados nos modelos são determinados pela análise das FAC e FACP. Livros texto como Moretin e Toloi (2002), mostram como é feita a escolha dos parâmetros por meio da análise das FAC e FACP. A classe de modelos ARIMA é extremamente flexível. Ela é capaz de produzir, com pouquíssimos parâmetros, séries temporais com os comportamentos mais variados. Em geral, os modelos são apresentados na forma de equações que incluem os operadores  $B$  que são operadores diferença,  $B^k Y_t = Y_{t-k}$ , ou seja:

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (6)$$

em que  $\phi$  e  $\theta$  são os parâmetros autorregressivos e médias móveis a serem estimados e  $\Delta^d = (1 - B)^d$  é o operador diferença, utilizado para tornar a série estacionária se for necessário.

Utilizou-se para o estudo de tendência para as precipitação e vazões os modelos de tendência linear para as series mais longas de precipitação e vazão na bacia do rio Xingu. Gluger (2007) explica que a tendência descreve o comportamento da variável retratada na série temporal no longo prazo, com três objetivos básicos na sua identificação: avaliar o seu comportamento para utilizá-lo em previsões, removê-la da série para facilitar a visualização das outras componentes, ou ainda identificar o nível da série (o valor ou faixa típica de valores que a variável pode assumir, se não for observado comportamento crescente ou decrescente no longo prazo). A obtenção da tendência foi realizada através de um modelo de regressão (como modelo linear-reta).

A linear (reta) aplicada para a tendência da precipitação e vazão em estudo foi:

$$T = b \times t + a \quad (7)$$

onde T é o valor da tendência, t é o valor do tempo, no caso linear b é o coeficiente angular da reta (se positivo indica tendência crescente, se negativo a tendência é decrescente) e a é o coeficiente linear da reta. Para o estudo da correlação espacial foi aplicado o semivariograma. Para a construção de mapas é necessário construir uma malha regular sobre a área de estudo e a estimativas dos valores da variável (precipitação e vazão) nos nós das malhas pode ser feito por um método de interpolação da geoestatística denominado krigagem.

Através destas técnicas, dentre as quais se destacam a krigagem e a simulação estocástica, é possível estimar ou simular um valor de uma dada propriedade ( fácies, permeabilidade, porosidade etc.) para um determinado local do espaço sem amostras (por exemplo, uma célula de uma malha tridimensional), valor este condicionado aos dados existentes (dados de poços, sísmica, amostras de solo, etc.) e a uma função de correlação espacial entre estes dados.

Segundo Landim (2003) a krigagem fornece, em média, estimativas pontuais não tendenciosas (a diferença entre valores estimados e verdadeiros para o mesmo ponto, em média, deve ser nula) e com variância mínima. A krigagem, portanto, garante a melhor estimativa espacial possível caso seja identificada a dependência espacial das variáveis analisadas a partir dos semivariogramas teóricos obtidos.

A correlação espacial da ocorrência de casos de uma ou entre duas variáveis em áreas poligonais (que podem representar municípios, estados, bairros, etc.), usam modelos de econometria espacial, como o Índice Global (e/ou o Índice Local) de Moran Global. Esses índices medem a correlação espacial do número de ocorrências da variável (ou das variáveis) em estudo

indicando possível influência da variável (ou de uma variável em relação à outra) nas áreas vizinhas. O Índice Global de Moran indica se há correlação espacial e o Índice Local de Moran mostra os locais onde as correlações são significativas.

Uma forma de se fazer a caracterização de populações é por meio da formação de grupos (ou regiões) homogêneas em relação a determinada (ou determinadas) variável. O método *K-Means* apresenta um procedimento simples de classificar um determinado conjunto de dados através de certo número de grupos fixados a priori.

A ideia principal é definir  $k$  centroides, um para cada grupo, que devem ser colocados o máximo possível longe um do outro. O próximo passo é tomar cada ponto pertencente a um determinado conjunto de dados e associá-lo ao centroide mais próximo. Quando nenhum ponto estiver pendente, o primeiro passo é concluído e uma grupagem inicial é feita. Neste ponto, deve-se recalculá-los  $k$  novos centroides como baricentros dos grupos resultantes do passo anterior.

Em seguida, deve-se fazer uma nova ligação entre os mesmos pontos de ajuste de dados e o centroide novo mais próximo. Um *loop* foi gerado. Como resultado deste *loop*, pode-se notar que os  $k$  centroides mudam sua localização passo a passo até que não haja mais alterações feitas. Finalmente, esse algoritmo visa minimizar uma função objetiva, neste caso, uma função de erro ao quadrado definida como:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^j - c_j\|^2 \quad (8)$$

Onde  $\|x_i^j - c_j\|^2$  é uma medida de distância escolhida entre um ponto de dados e o centro do grupo (MACQUEEN, 1967).

O software utilizado durante todo o processo do estudo foi Programa R - The R Project for Statistical Computing (R VERSION 3.1.1., 2015), que é uma linguagem de programação estatística e gráfica para análise e visualização dos dados. No procedimento de tabulação de dados foi usado o software Excel. Para procedimentos operacionais envolvendo produções de mapas utilizamos o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de programas e equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma de torna possível a coleta, o armazenamento o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação. (TEIXEIRA, 1995).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Espacialização Pluviométrica Anual

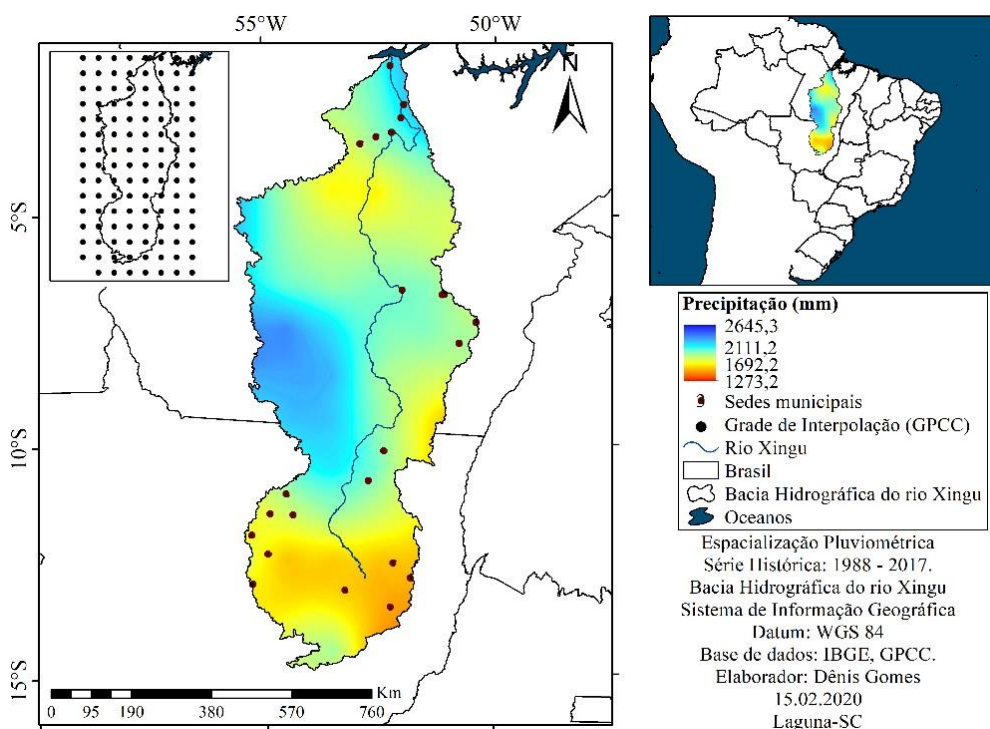
Segundo Almeida (2000), a precipitação pluviométrica configura-se como o elemento climático mais irregular, espacial e temporalmente, causando impactos em diversas atividades humanas. Sousa et al. (2000) afirma a importância da variabilidade pluviométrica anual associada a mecanismos oceânicos moduladores de precipitação e apontam seus efeitos na região amazônica como regular outras variáveis meteorológicas em eventos de ENOS, alterações na hidrologia regional relacionados com o dipolo do Atlântico.

Para Bertoni e Tucci (2001), a disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação e o abastecimento de água doméstico e industrial.

Para a série histórica dos dados (1988 a 2017), foi observado que para a bacia hidrográfica do rio Xingu a precipitação anual média varia de 1273,2 mm a 2645,3 mm. A distribuição espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Xingu verifica-se que a precipitação varia de 1500 a 2500 mm ano (LUCAS et al., 2006).

Os menores valores de precipitação (Figura 04) encontram-se na região da nascente com 1692,2 mm e os maiores valores na região da foz com 2111,2 mm. O baixo Xingu é o trecho entre Belo Monte e sua foz, onde sua declividade é baixa, ou seja, durante toda sua extensão o rio apresenta-se muito largo (em forma de estuário), estreitando somente na sua foz.

Figura 3-Espacialização Pluviométrica da média anual do período 1988 a 2017:Bacia Hidrográfica do Xingu.



Fonte: Adaptado de GPCC (2020).

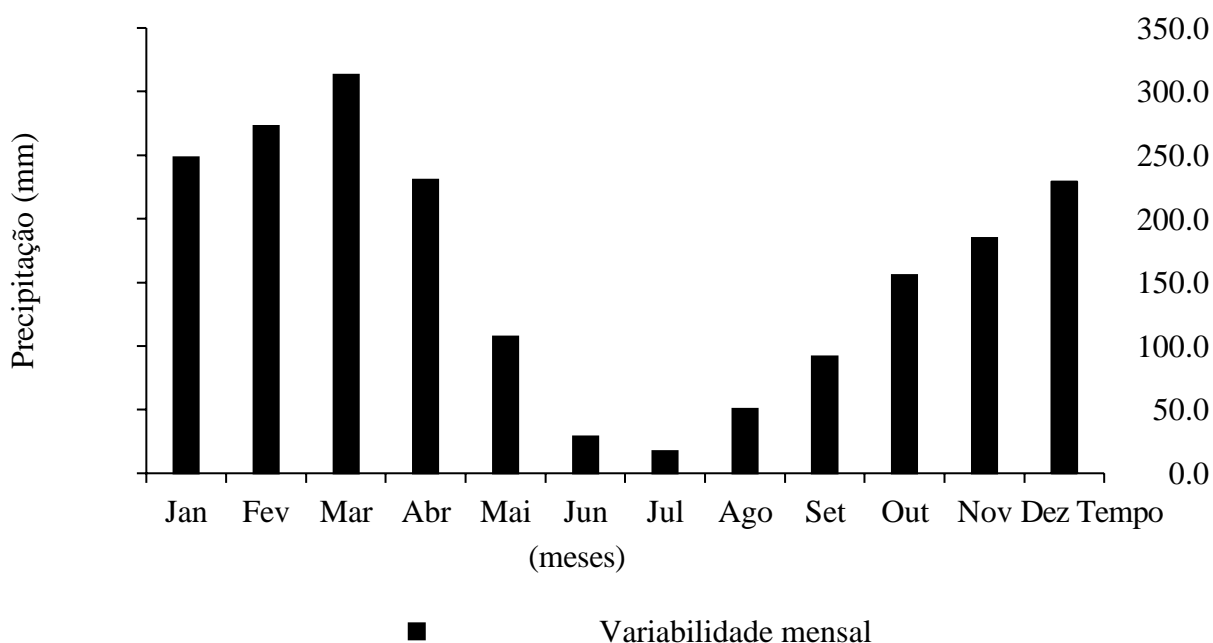
A parte norte e sudoeste da bacia verifica-se os maiores valores de precipitação, principalmente influenciados pela atuação dos sistemas atmosféricos como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

#### 4.2 Variabilidade Sazonal da Precipitação

A variabilidade média mensal da precipitação ao longo do rio Xingu é observada na (Figura 5), ao longo do tempo percebemos a atuação de sistemas sinóticos nessa região, como a ZCIT que contribuem para a pluviosidade regional (baixo Xingu). O período menos chuvoso caracterizado pelos meses de Maio a Outubro se observa flutuações com valores mínimos de 17,4 mm a 155,6 mm ocasionando esse período na área.

No período chuvoso de novembro a abril verificam-se precipitações com valores de 185,1 mm a 313,4 mm, favorecendo o fornecimento hídrico da bacia hidrográfica do Rio Xingu podendo ocasionar eventos de cheias nesta área nesse período. Segundo dados da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SNPDC), no ano de 2009 houve inundações no município de Monte Alegre (PA) havendo a necessidade de reconhecimento de situação de emergência. Enquanto no município de Água Boa (MT) no ano de 2003 sofreu com chuvas intensas na região.

Figura 4-Variabilidade pluviométrica da média mensal acumulada do período de 1988 a 2017: Bacia Hidrográfica do Rio Xingu.



Fonte: Adaptado de ANA (2020).

A ocorrência de precipitações na Região Norte do Brasil durante o verão é determinada em grande parte pela intensidade e manutenção da ZCIT, um dos principais fenômenos meteorológicos de escala sinótica, sendo responsável por grandes volumes pluviométricos.

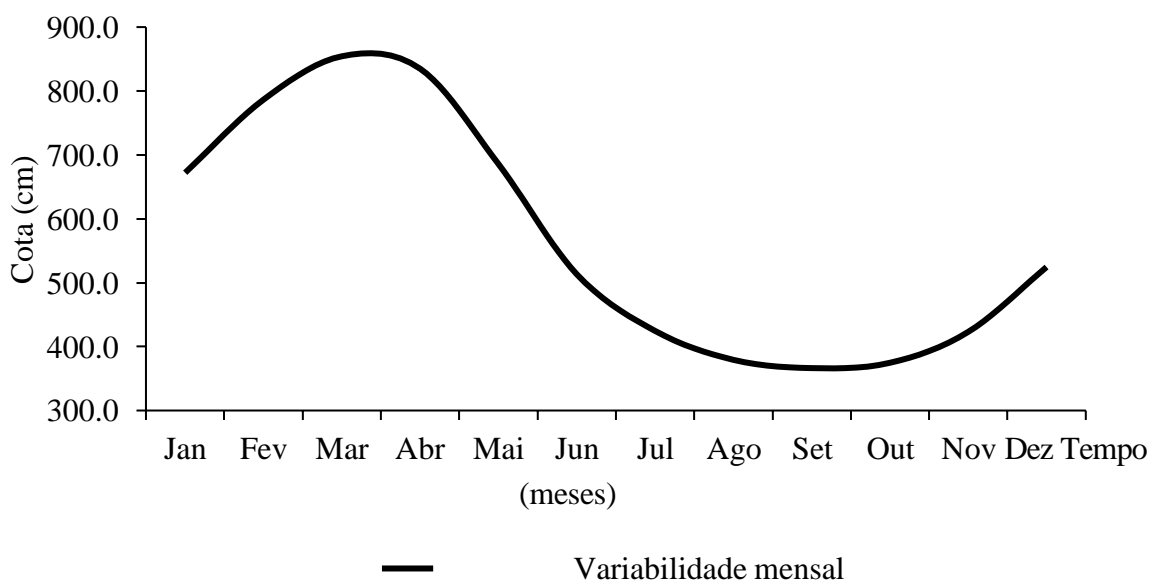
Estas precipitações, frequentemente estão associadas a sérios transtornos à população, e podem ser enquadrados como eventos extremos, conforme a intensidade do fenômeno (ocorrência de precipitação de magnitude excepcionalmente acima do normal) e também do tempo de duração do fenômeno (persistência de vários dias chuvosos na mesma região) (D.BATISTA DA SILVA FERREIRA, 2008).

### 4.3 Caracterização Fluviométrica do Rio Xingu

Souza et al. (2010) comentam a importância do estudo da dinâmica fluvial, pois a variação sazonal do rio influencia diretamente no cotidiano da população ribeirinha devido na época das cheias o rio atingir cotas altas transbordando toda a área da várzea ocupada pelo povo de terras baixas, agravando essa relação socioambiental pelo fato destes habitantes da várzea terem que adaptar-se a estas condições, ficando a mercê das mudanças do regime hidroclimático, além de deixar sedimentos depositados quando chega a estação da estiagem, susceptibilizando o solo e comprometendo sua estabilidade, assim como a segurança da população que habita esta área.

A variabilidade do Rio Xingu observados na (Figura 6), para o período de 1978-2018 ao longo dos meses onde se percebe o trimestre das cheias em Fevereiro (786,2 cm), Março (854,2 cm) e Abril (834,7 cm), onde o rio atinge sua cota máxima nesse trecho. Os meses de estiagem começam em Junho (424,3 cm), Julho (379,6 cm), Agosto (366,1 cm).

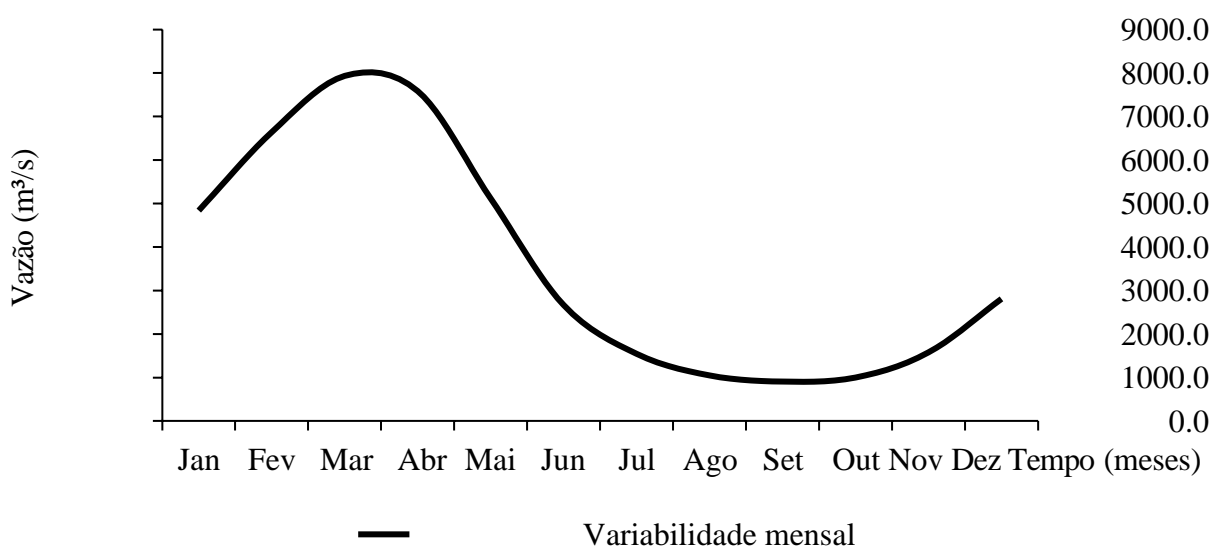
Figura 5-Variabilidade sazonal dos níveis do rio Xingu no período de 1978-2018.



Fonte: Adaptado de ANA (2020).

O conhecimento da vazão de um rio ou de um corpo hídrico é extremamente relevante para criar planos de manejo sustentáveis, controle de cheias, dimensionamento de barragens, liberação de outorgas além de solução de conflitos hídricos entre os diversos usuários da água (agricultura, consumo humano, dessedentação de animais, etc) (ANA, 2009). Como mostra na (Figura 7), a variabilidade intersazonal da vazão fluviométrica do Rio Xingu, onde se destaca as maiores vazões nos meses de Fevereiro (6643,4 m<sup>3</sup>/s), Março (7937,5 m<sup>3</sup>/s) e Abril (7589,5 m<sup>3</sup>/s), associados aos maiores valores de precipitações nesses meses. O trimestre com menores valores estão nos meses de Agosto (1049,5 m<sup>3</sup>/s), Setembro (908,9 m<sup>3</sup>/s) e Outubro (1001,0 m<sup>3</sup>/s).

Figura 6-Vazões médias mensais do Rio Xingu no período de 1978-2018.



Fonte: Adaptado de ANA (2020).

Logo, a vazão mínima conforme é apresentada por Genz *et al.* (2008) é de suma importância para os períodos de seca, onde a precipitação da água possui uma menor intensidade o que pode acarretar problemas relacionados ao abastecimento de água urbano e de pequenas centrais hidrelétricas.

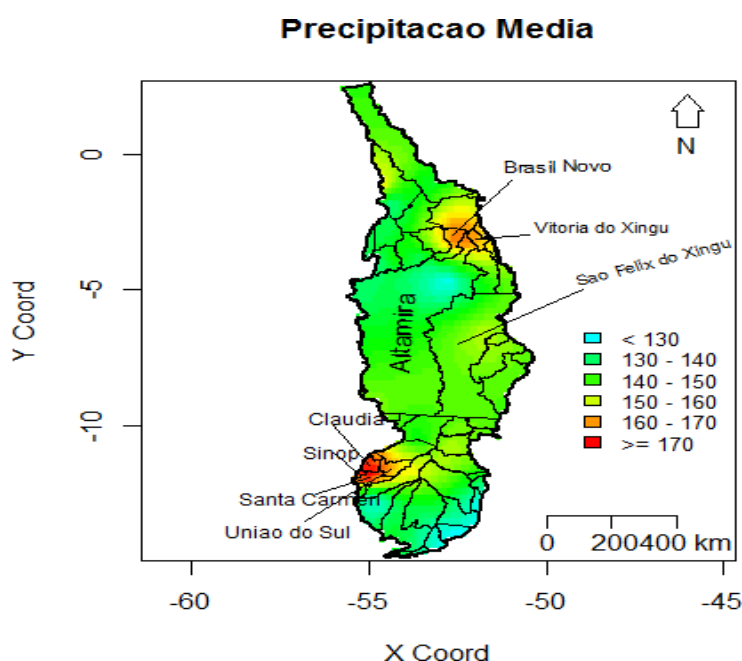
#### 4.4 Espacialização Pluviométrica Mensal

Devido ao aumento da frequência de eventos extremos (HIRABAYASHI *et al.*, 2008), o estudo da variabilidade espacial da precipitação torna-se cada vez mais imprescindível. Informações espaciais sobre a variação temporal mensal e trimestral da precipitação pluviométrica é de grande importância para o gerenciamento de recursos hídricos disponíveis

tanto para a agropecuária, quanto para o abastecimento urbano, além de ser importante em estudos climatológicos e meteorológicos, bem como suporte técnico para mitigação de desastres naturais.

Foi construído o mapa das precipitações médias com auxílio da geoestatística, mostrado (Figura 8). Observa-se neste mapa de precipitações médias, que os municípios de Claudia, Sinop e Santa Carmem que estão mais ao sul da bacia com os valores mais altos de precipitações médias mensais acima de (170 mm). Ao norte da norte da bacia, nos municípios de Brasil Novo e Vitória do Xingu também observa-se valores relativamente elevados de precipitação (entre 150 e 170 mm). Nos municípios de São Felix do Xingu, Altamira e na maior parte da bacia prevalecem valores médios de precipitação variando entre 130 a 150 mm.

Figura 7-Espacialização Pluviométrica da média mensal: Bacia Hidrográfica do Xingu.



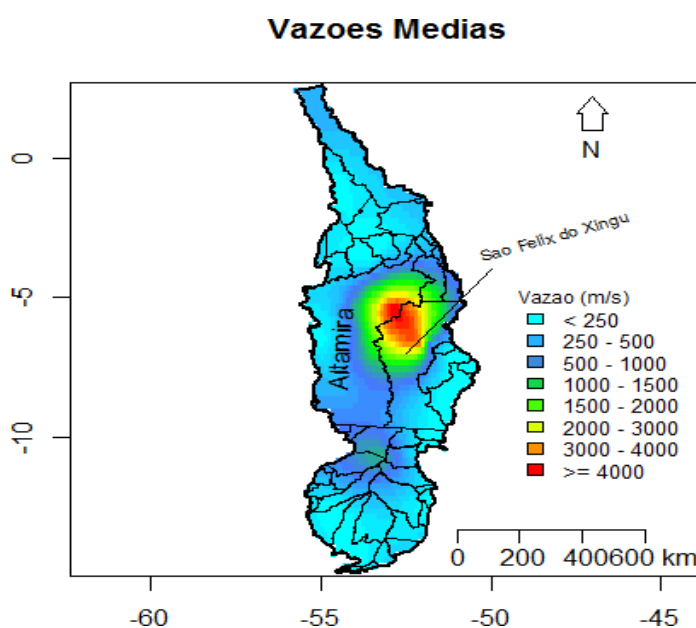
Fonte: Adaptado de ANA (2020).

#### 4.5 Espacialização Fluviométrica Mensal

Aplicando a técnica de interpolação por krigagem a partir dos semivariogramas teóricos ajustados, se obtiveram os mapas mostrados (Figura 9). Representado as medias das vazões estudadas na bacia.

Os resultados de vazões médias mostraram que ao Sul da bacia nos municípios de Claudia, Sinop e Santa Carmem com os valores menores em torno de (250 m<sup>3</sup>/s). Dentro do municípios de Altamira e São Felix do Xingu observa-se os valores mais altos de vazão (acima de 2.000 m<sup>3</sup>/s). No centro Oeste da bacia há variação de vazões com valores são intermediários entre (250 m<sup>3</sup>/s a 1.000 m<sup>3</sup>/s).

Figura 8-Espacialização Fluviométrica da média mensal: Bacia Hidrográfica do Xingu.



Fonte: Adaptado de ANA (2020).

A supressão da vegetação reduz a interceptação da água, fazendo-a cair diretamente no solo, que sem a cobertura vegetal, acentua parcela de escoamento superficial e, conseqüentemente, os picos de vazões (TUCCI; CLARKE, 1997; SANTOS, 2010).

#### 4.6 Estudo de Tendência Linear

A utilização de métodos para tratamento de dados e a verificação de tendências em séries históricas são indispensáveis em estudos e pesquisas que avaliam comportamentos ao longo do tempo. Esses dois fatores, muito utilizados e relacionados nas áreas de hidrologia e climatologia, colaboram para se evitar dificuldades de interpretação dos dados ou análises equivocadas (DINIZ, 2002) e auxiliam na caracterização e variabilidade do objeto em análise.

Foi feito um estudo nas séries históricas de vazão e precipitações na bacia do rio Xingu, para avaliação dos níveis de vazão e precipitação ao longo do tempo. Utilizamos o estudo de tendência para as duas variáveis.

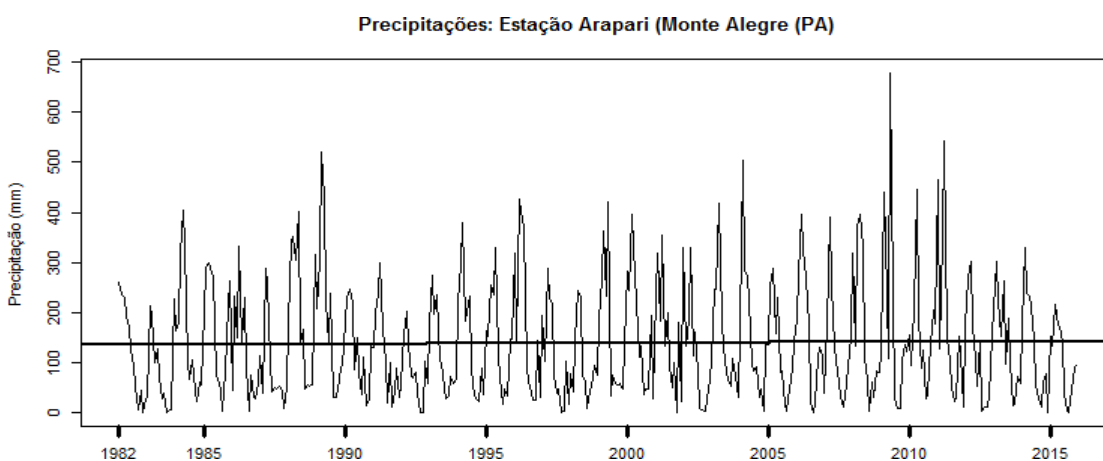
#### 4.6.1 Estudo de Tendência para Precipitação

A precipitação é caracterizada como o elemento mais importante do ciclo hidrológico, sendo a variável climática de maior variabilidade temporal e espacial (ALMEIDA et al., 2014). Desta forma, o conhecimento e o entendimento de alterações climáticas em escala local ou global apresenta relevância em vários ramos da pesquisa, em especial, os que tratam dos regimes de precipitação (KOSTOPOULO; JONES, 2005).

Desta maneira, o estudo da tendência temporal da precipitação é fundamental, pois analisando as séries históricas, é possível verificar o comportamento da precipitação, auxiliando na gestão de recursos hídricos.

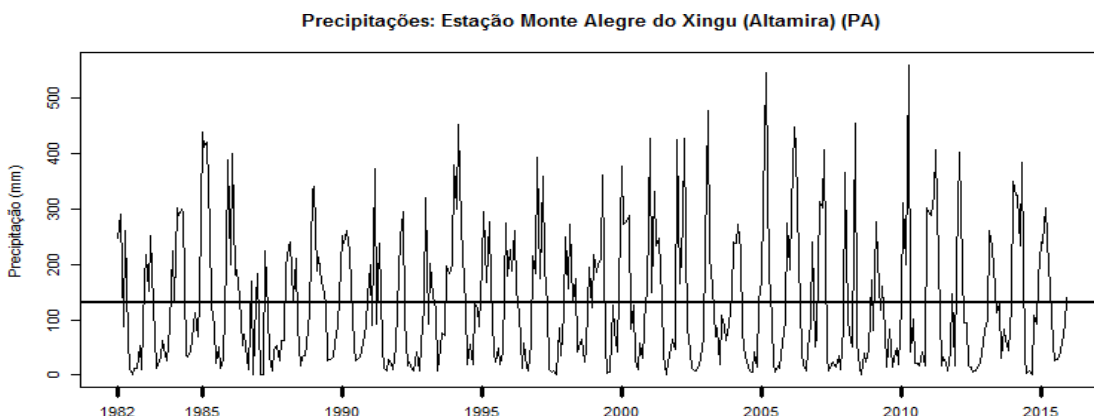
Utilizamos duas estações diferentes com o conjunto das séries mais longas no tempo. Para a variável precipitação utilizamos as estações (E6 e E20) do nosso conjunto de dados, que são referentes a estação Arapari (Monte Alegre) e Monte Alegre do Xingu (Altamira) com início no ano de 1982 a 2015, respectivamente (Figuras 10 e 11).

Figura 9-Tendência de precipitação na estação Arapari (1982 a 2015).



Fonte: Autor.

Figura 10-Tendência de precipitação na estação Altamira (1982 a 2015).



Fonte: Autor.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados do modelo de tendência linear primeiramente para a precipitação. Observa-se que a média se manteve constante nessa variável, ou seja, não houve tendência, onde a estação Arapari o coeficiente angular  $\beta_1$  (de tendência), foi mais significativo que a estação Monte Alegre. Em que pode-se afirmar que as estimativas dos coeficientes  $\beta_1$  (de tendência) foram estatisticamente não significativos durante o período estudado.

Tabela 3- Modelos de tendência linear para precipitação ( $y = \beta_0 + \beta_1x + \varepsilon$ ).

<i>Série Precipitação (mm)</i>	$\beta_0$	$\beta_1$	$t(\beta_1)$	$Prob(\beta_1) > t$
<i>Arapari (Monte Alegre)</i>	<i>136.958</i>	<i>0.02100</i>	<i>0.43</i>	<i>0.667 NS</i>
<i>Monte Alegre (Altamira)</i>	<i>131,867</i>	<i>-0,0014</i>	<i>-0.028</i>	<i>0.978 NS</i>

Fonte: Autor.

$\beta_0$ : constante;  $\beta_1$ : coeficiente angular;  $\varepsilon$ : erro

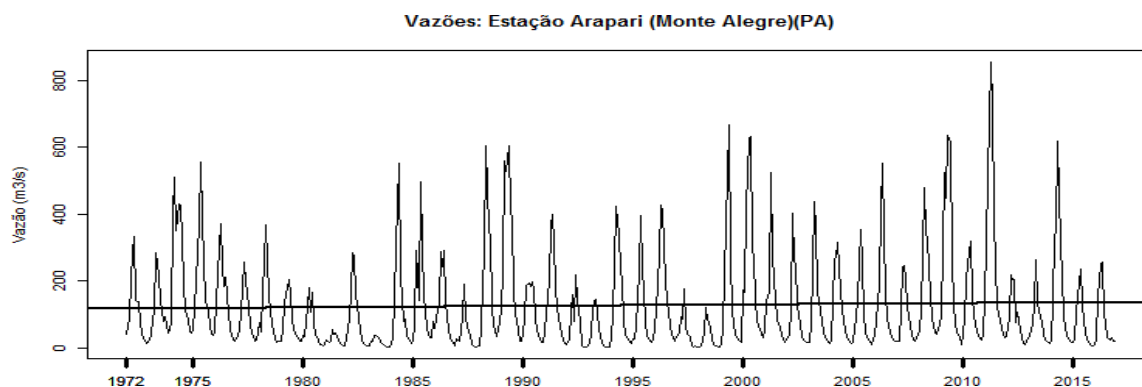
\* : Significativo a 5%      NS : Não significativo

#### 4.6.2 Estudo de Tendência para Vazão

A vazão de cursos d'água é uma das principais variáveis para avaliar a disponibilidade hídrica e, atualmente, tem sido intensamente estudada, visto que pequenas flutuações geram significativos impactos sociais e econômicos (COSTA; ALVES, 2011). Segundo Joseph, Falcon e Sharif (2013), a identificação de tendências anuais e sazonais na vazão dos cursos d'água regionais contribui para o entendimento das mudanças climáticas e é essencial para o desenvolvimento de modelos hidrológicos, a previsão hidrológica e o planejamento dos recursos hídricos.

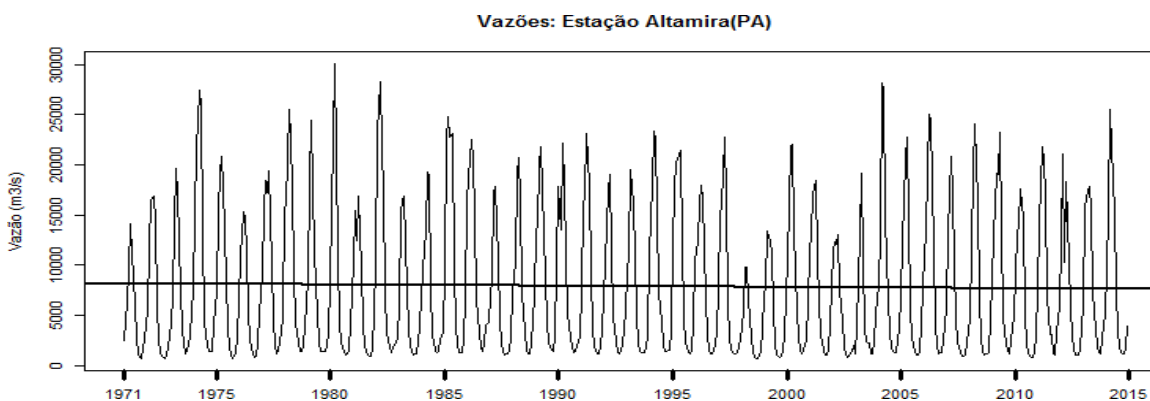
O comportamento da vazão durante o período de estudo vistos nas (Figuras 12 e 13), para as duas séries mais longas localizadas nas estações E4 e E31, com início no ano de 1972 a 2016 para a estação Arapari e de 1971 a 2014 para a estação Altamira.

Figura 11-Tendência de vazão na estação Arapari (1972 a 2016).



Fonte: Autor.

Figura 12-Tendência de vazão na estação Altamira (1971 a 2014).



Fonte: Autor.

Os resultados de modelo de tendência linear mostrados na (Tabela 04) esse modelo de tendência para a variável vazão utilizamos as estações (E4 e E31), com início no ano de 1972 a 2016 a Arapari e 1971 a 2014 Altamira, indicam ausência de tendência no período considerado.

Tabela 4-Modelos de tendência linear para vazão ( $y = \beta_0 + \beta_1x + \varepsilon$ )

<i>Série Vazão (m<sup>3</sup>/s)</i>	$\beta_0$	$\beta_1$	$t(\beta_1)$	<i>Prob (<math>\beta_1</math>) &gt; t</i>
Arapari (Monte Alegre)	116.508	0.039	0.992	0.321 NS
Monte Alegre (Altamira)	8213.173	-0.966	-0.466	0.641 NS

Fonte: Autor.

$\beta_0$  : constante;  $\beta_1$  : coeficiente angular;  $\varepsilon$  : erro

\* : Significativo a 5%      NS : Não significativo

## 4.7 Estudo da Correlação Espacial da Precipitação e Vazão para os municípios da Bacia do rio Xingu

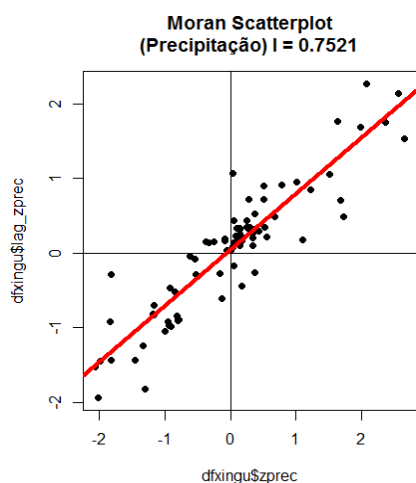
### 4.7.1 Índice de Moran Global para precipitação e vazão

Foram consideradas as médias das precipitações e vazões acumuladas em cada município da bacia do Xingu e avaliada existência de correlação espacial dessas variáveis entre os municípios.

O índice Moran Global mede o grau de correlação entre pares de variáveis ponderados pela proximidade geográfica, ou seja, atribui um único valor como medida de associação espacial para todo o conjunto de dados (BEZERRA FILHO et al., 2007; BRASIL/MS, 2007; FRANCESCHINI et al., 2009). Deste modo, foi realizada um estudo das relações espaciais das vazões e precipitações utilizando ferramentas da estatística (ou econometria) espacial.

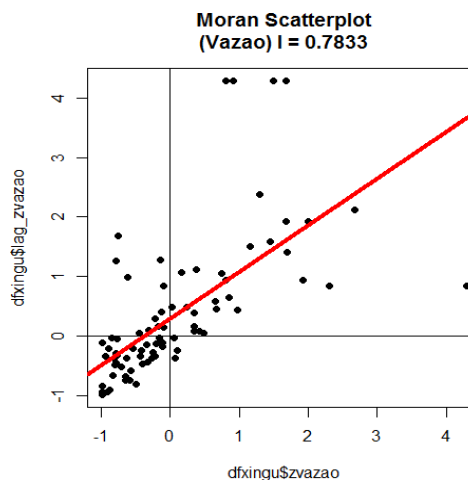
Os Índices de Moran Globais calculados para precipitações ( $I=0,7521$ ) e vazões ( $I=7833$ ) indicam que existe uma correlação espacial positiva para as duas variáveis como podemos observar nas Figuras 14 e 15. No gráfico de dispersão, temos a representação dos 51 municípios, sendo que, no eixo x são representadas as precipitações (Ou vazões) padronizadas e no eixo y são representadas as precipitações (ou vazões) médias das áreas vizinhas a cada município. Pontos próximos à origem dos eixos (0,0) indicam baixas precipitações (ou vazões) no município e vizinhanças. Neste caso, pode-se afirmar que precipitações e vazões nos municípios, influenciam os municípios vizinhos.

Figura 13-Índice de Moran Global: Precipitação



Fonte: Autor .

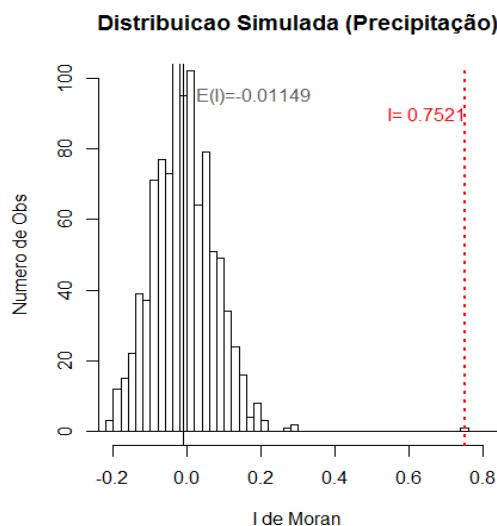
Figura 14-Índice de Moran Global: Vazão



Fonte: Autor.

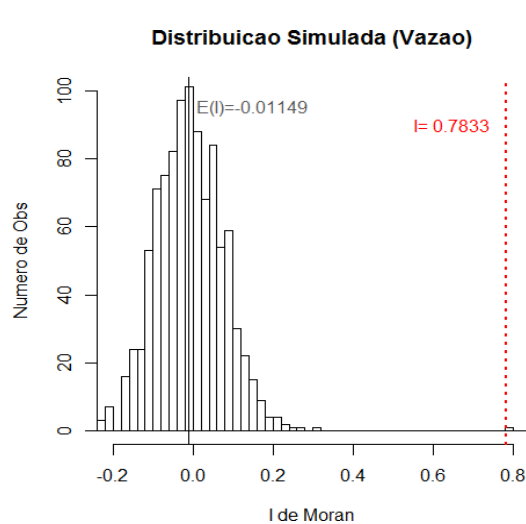
Uma vez calculado o Índice Moran Global, deve-se verificar a sua significância estatística. Para estimar a significância do índice, a abordagem mais comum é um teste de pseudo-significância (BRASIL/MS, 2007; CÂMARA et al., 2004). O teste de significância apresentado na (Figura 16) para os respectivos Índices de Moran, onde se pode observar que a correlação espacial é significativa, ou seja, diferente de zero.

Figura 15-Teste de significância para os Índices de Moran (Precipitação).



Fonte: Autor.

Figura 16- Teste de significância para os Índices Globais de Moran (Vazões).



Fonte: Autor.

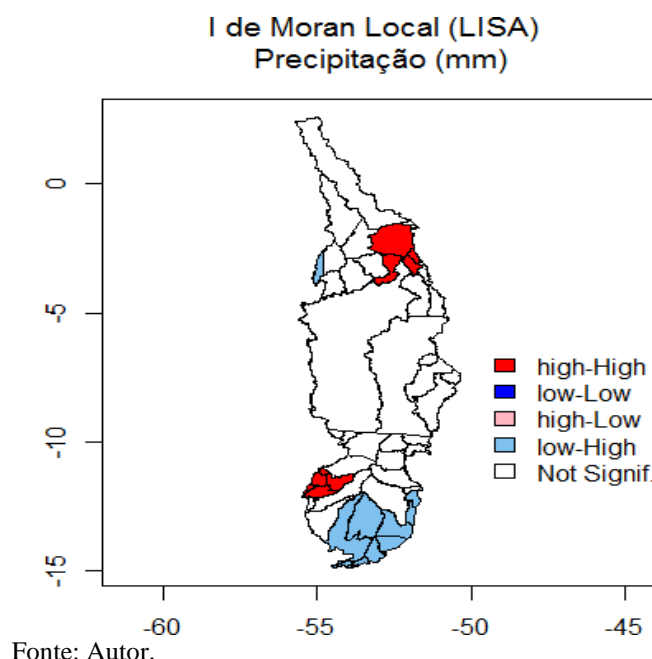
#### 4.7.2 Índice de Moran Local (LISA) para precipitação e vazão

O Índice de Moran Local foi proposto por Luc Anselin (1992) como uma ferramenta estatística para testar a autocorrelação local e para detectar objetos espaciais com influência no indicador Moran Global. O índice de Moran local (LISA) indica em quais municípios são significativas as relações espaciais.

Os mapas da Figura 17 e 18 mostram os resultados para o Índices de Moran local. Para precipitações (Figura 17) observa-se que os municípios ao norte da sub-bacia (como Brasil Novo e Vitoria do Xingu) e ao sudoeste (Sinop e Claudia, por exemplo) apresentam correlação espacial positiva, ou seja, municípios com alta ocorrência de precipitação influenciam altas precipitações em municípios vizinhos.

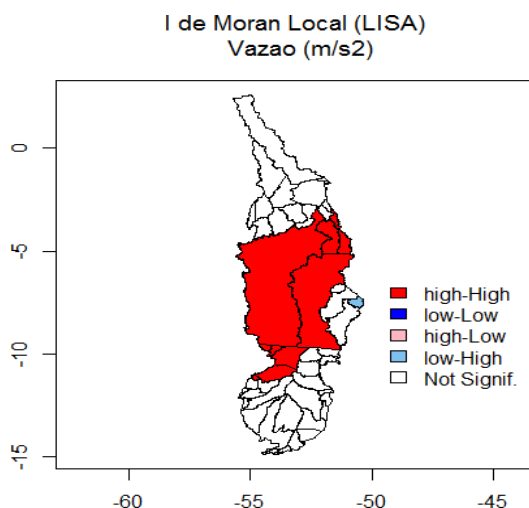
Alguns municípios ao sul (em azul) mostram correlação negativa, ou regiões de transição. Neste caso, municípios com baixas precipitações podem estar circundados municípios com alta precipitação. são responsáveis pela alta correlação espacial positiva. Esses resultados indicam que esses locais com alta (ou baixa) ocorrência de precipitação estão influenciando os municípios vizinhos.

Figura 17-Índice de Moran Local para as precipitações.



Para as vazões (Figura 18), nos municípios da região central da bacia, como Altamira e São Feliz do Xingu são observadas correlação espacial positiva, isto é, são os que apresentam maior influência no seu entorno. Nesses municípios são observadas as maiores ocorrências de vazões.

Figura 18-Índice de Moran Local para as vazões



Fonte: Autor.

#### 4.8 Caracterização da bacia do rio Xingu segundo as vazões pelo método k-means

Foi feita uma caracterização da bacia do Xingu com base nos regimes de vazão estudados. Neste caso, foram estimadas, com base no método geoestatísticas da krigagem, as vazões médias mensais no período de 1971 a 2016 (Figura 19, 20, 21 e 22), compondo, deste modo, os regimes de vazão de cada um dos 76 municípios que compõe a bacia. Em seguida, com o uso do método *k-means*, pode-se comparar os regimes de vazão de cada município (Figura 23) e, a partir desta análise, a bacia foi dividida em 4 regiões com regimes de vazão característicos. Os resultados são apresentados (Tabela 05).

Tabela 5-Grupos de vazões (m<sup>3</sup>/s) nos municípios da bacia do Xingu.

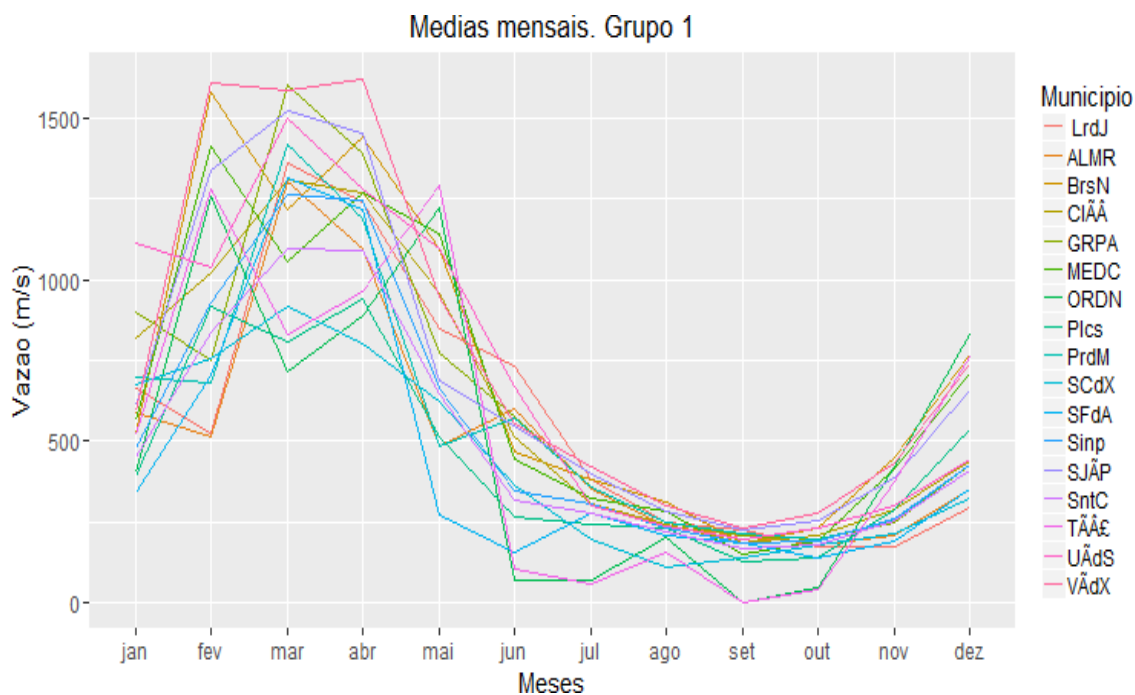
GRUPO	MINIMO	MÉDIA	MEDIANA	MÁXIMO	N
1	0.0	587.8	435.8	1624.0	18
2	0.0	284.3	201.9	1365.2	24
3	752.7	3718.0	2577.0	8566.0	1
4	208.4	1026.0	777.4	3497.0	8

Fonte: Autor.

Para uma visualização geral das vazões sobre a sub-bacia do Xingu, foram criados para cada estação correspondente, o regime de vazões mensais no período de 1971 a 2016. Na (Figura 19) são apresentados os resultados para o grupo 1 que correspondem a 17 estações selecionadas da bacia.

Pode-se observar que os regimes de vazão apresentam padrões bastante diferenciados, no primeiro semestre os valores de vazões estão elevados, em decorrência da influência do aumento da precipitação nesse período. Enquanto no segundo semestre os regimes de vazões encontram-se mais baixo em todas as estações a bacia. A distribuição espacial da precipitação influencia diretamente o regime hidrológico da bacia amazônica e o comportamento de subida (cheia) e descida (vazante) dos níveis ou cota dos rios amazônicos (SANTOS, 2008).

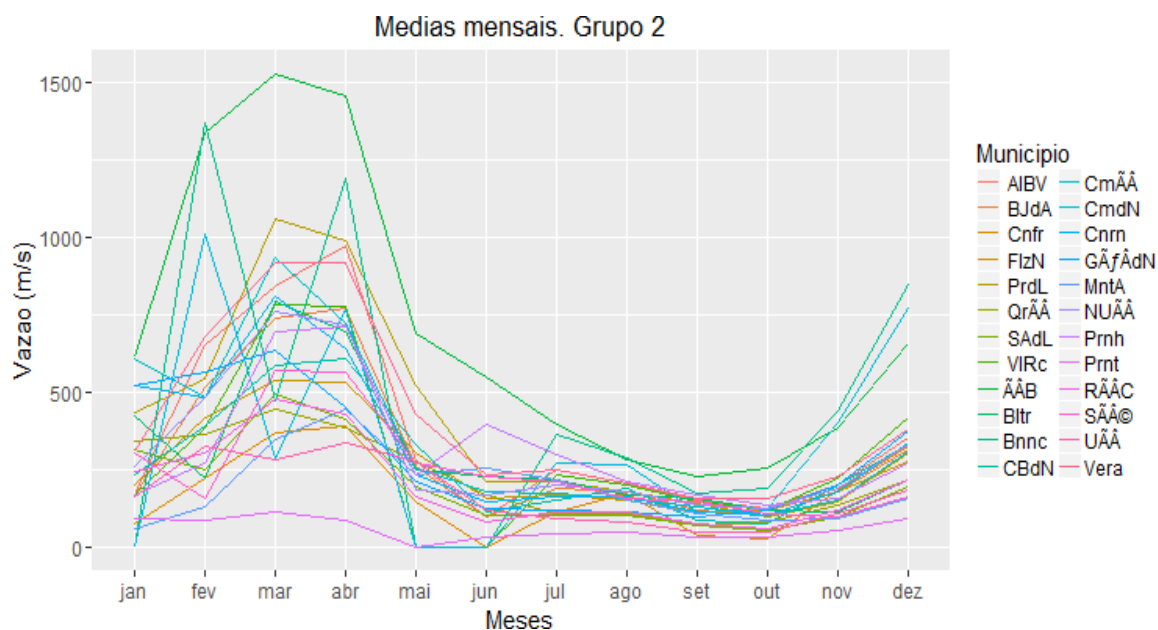
Figura 19-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 1).



Fonte: Autor.

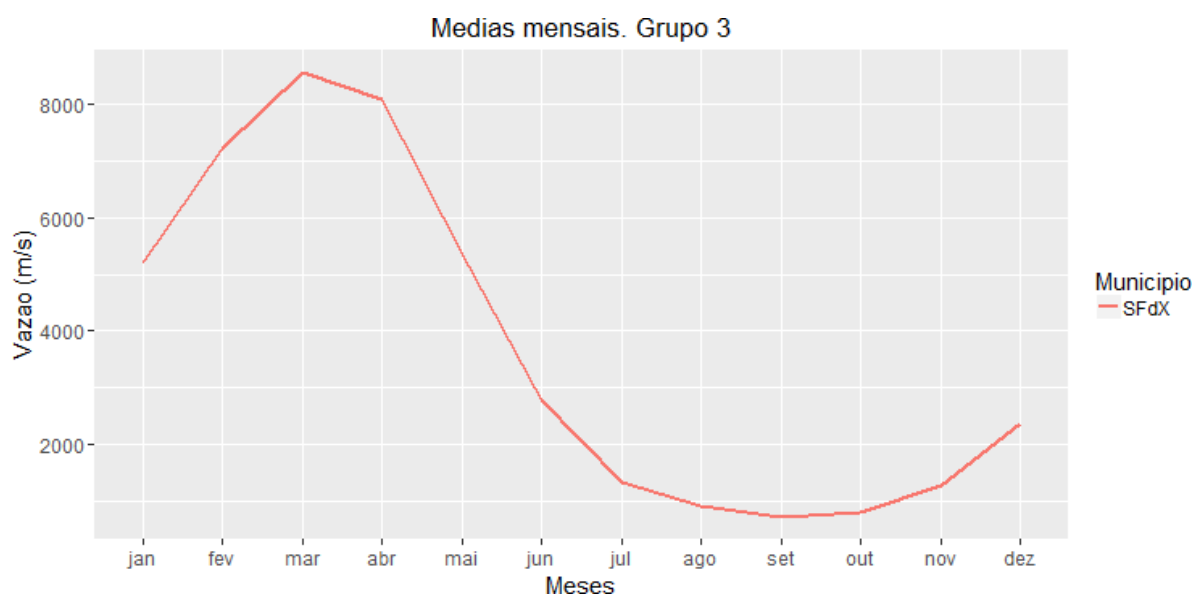
No grupo 2 esses regimes diferenciados de vazões são representados por 24 estações (Figura 20), onde se observa que os padrões de vazões são bastante diversificados os maiores amplitude de vazão que se destaca é do município Vitória do Xingu ( $1500 m^3/s$ ).

Figura 20-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 2).



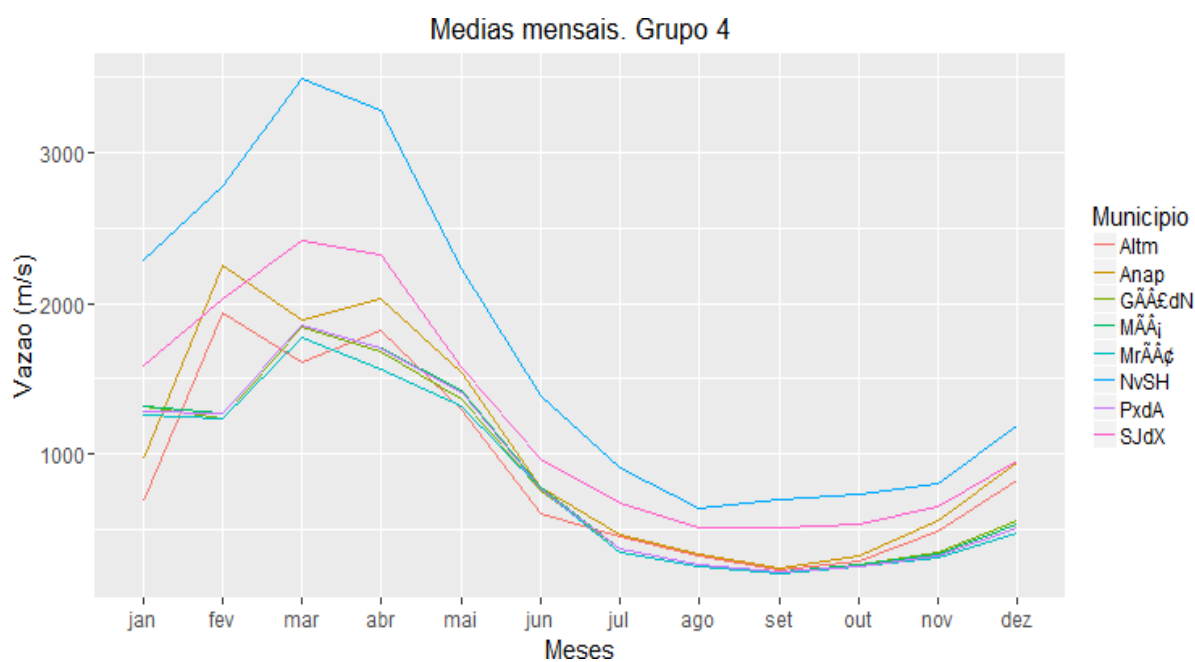
O grupo 3 é representado pelo município São Felix do Xingu (Figura 21), onde identifica-se no primeiro semestre a amplitude da vazão que se destaca é no mês de março (8.000 m<sup>3</sup>/s), enquanto no segundo semestre os valores diminuem em torno de (2.000 m<sup>3</sup>/s).

Figura 21-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 3).



São apresentados os resultados para o grupo 4 que correspondem as 7 estações selecionadas (Figura 22), onde se destaca o município de Marcelândia (3.000 m<sup>3</sup>/s), em seguida o município de Altamira ( 2.500 m<sup>3</sup>/s) e os outros municípios entre (2.000 a 1.000 m<sup>3</sup>/s).

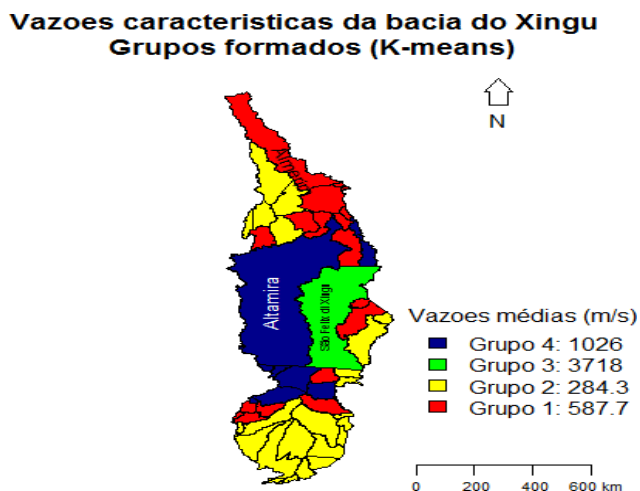
Figura 22-Vazões médias mensais das estações selecionadas no período de 1971 a 2016 (Grupo 4 ).



Fonte: Autor.

Foram caracterizadas 4 regiões caracterizadas na (Figura 24) com vazões características: os grupos 1 e 2, com menores vazões, indicados pelos municípios com cores amarela e vermelha e municípios com cores azul e verde caracterizando municípios com maiores vazões. Os municípios dos grupos 1 e 2 localizam-se principalmente ao norte e sul da bacia, enquanto os municípios do grupo 3 (Altamira) e 4 estão na região central da bacia.

Figura 23-Vazões características Bacia do Rio Xingu através do método k-means.



Fonte: Autor.

#### 4.9 Uso e ocupação da terra

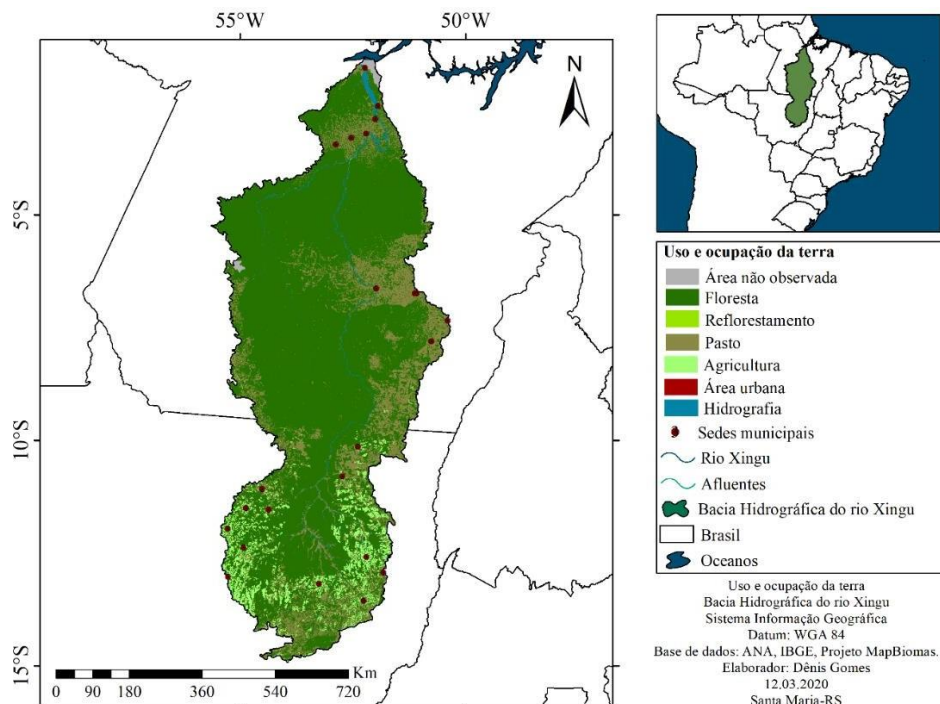
O desenvolvimento de políticas públicas para uma gestão sustentável dos recursos naturais, torna-se imprescindível o monitoramento do Uso e da Cobertura do Solo (UCS), através de informações espaço-temporais detalhadas das modificações ocorridas na paisagem (JANSEN; DI GREGÓRIO, 2004; SOUTHWORTH et al., 2004; MENDOZA et al., 2011).

Uma comparação com o mapa de uso e cobertura da terra (Figura 20) mostra as diversas formas de ocupação e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Xingu proposta pelo Projeto MapBiomias (2020), representando o ano 2018 com categorias Floresta, Reflorestamento, Pasto, Agricultura, Áreas Urbanas e Hidrografia onde observa-se que nos municípios de menor vazão predominam áreas de pastagens, enquanto os municípios de maior vazão têm maior área de floresta.

A classe de uso da terra com maior predominância na bacia é floresta com (75, 4%), concentrando em quase toda a extensão territorial da bacia predominando na parte central (Altamira, São Feliz do Xingu) e nos municípios mais ao Norte (Brasil Novo, Porto de Moz).

A segunda maior categoria em extensão de cobertura vegetal é a pastagem com (17,2 %), na qual sua presença prevalece na parte Leste da bacia e ao Sul. A agricultura é composta por (5,5 %) com destaque ao Sul da bacia nos municípios (Claudia, Santa Carmem, Água Boa, Alto da Boa Vista etc...). Em relação a Hidrografia constitui uma área de 420,7 km<sup>2</sup> (1,1 %). A classe de uso e ocupação do solo com menor abrangência em torno (0,3 %).

Figura 24-Mapa de uso e cobertura da terra na bacia do Xingu.



Fonte: Autor.

Os estudos realizados por Hamilton (1990) e Wilk, Andersson e Plermkamon (2001), indicam que o impacto da mudança do uso do solo nas descargas observadas diminui com o tamanho da bacia, e que a relação entre a resposta hidrológica da bacia e a mudança do uso do solo só ocorrem em bacias menores, enquanto que nas bacias maiores a resposta hidrológica é dependente principalmente da variabilidade da precipitação.

## 5 CONCLUSÃO

As análises das variáveis hidro meteorológicas na bacia do rio Xingu, verificou-se o quanto a precipitação é a principal moduladora da cota e vazão, assim o estudo da distribuição sazonal da precipitação na bacia mostra que os maiores valores de chuva estão sendo influenciados pelos sistemas meteorológicos ZCIT E ZCAS que são fundamentais para determinar a climatologia na região.

Estudos de precipitações e vazões na bacia do Xingu devem considerar as relações espaciais para essas variáveis, uma vez que, essas relações interferem nos resultados. A bacia do Xingu apresenta regimes de vazões bastante diferenciados, podendo se considerar 4 padrões de vazões na sua caracterização, regimes de vazões mais elevados predominam no estado do Pará ( valores médios acima de 587,7 m<sup>3</sup>/s), no estado do Mato Grosso predomina os regimes de vazões mais baixos ( valores médios em torno de 284,3 m<sup>3</sup>/s).

A bacia do Xingu não apresenta tendência de crescimento ou diminuição tanto para precipitação quanto para vazões, as duas variáveis apresentam correlação espacial na bacia a precipitação com os municípios ao Norte ao Sul e a Sudoeste apresentaram correlações espaciais positivas (municípios com altos (ou baixos) histórico de chuvas têm vizinhanças (municípios) com altos (ou baixos) históricos de chuvas.

A variável vazão apresenta correlação espacial positiva predominando na área central da bacia do Xingu (Municípios cm altos históricos de vazões circundados por municípios com altos históricos de vazão).

Com o aumento da precipitação e conseqüentemente o do regime fluvial, que está possivelmente relacionado a intensa alteração do uso da terra, no qual o acelerado avanço das áreas de pastagem podem estar acarretando esses elevados valores fluviais enquanto nas áreas de floresta (maior área na bacia) o ciclo hidrológico se mantem em equilíbrio.

Os resultados obtidos neste estudo poderão contribuir para um maior conhecimento de possíveis relações entre variáveis hidro meteorológicas e ambientais na bacia do Xingu e de quanto esses resultados poderão ajudar a população próxima a área de estudo com os problemas de variabilidade do níveis dos rios, chuvas intensas e seus possíveis danos a comunidade local no fator econômico, material e ambiental.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Resolução n. 48**, de 28 de fevereiro de 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/48-2011.pdf>. Acesso em: 10/03/2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS -ANA. **Medições históricas**. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf). Acessado em: 10/03/2020.
- ALMEIDA, B.M.; JOSÉ, J.V.; DUARTE, S.N.; FRIZZONE, J.A.; ARRAES, F.D.; PERBONE, A. Análise de tendência temporal da precipitação diária máxima no Estado de São Paulo. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v.3, n.1, p.1-12, 2014.
- ALMEIDA, I. R. de. **Variabilidade pluviométrica interanual e produção de soja no Estado do Paraná**. 2000. 200f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2000.
- ANSELIN, L. **SpaceStat 1.8 user's guide**. Technical Report S-92, National Center for Geographic Information and Analysis, 1992.
- ARAÚJO, G. L.; REIS, E. F.; MARTINS, C. A. S. Desempenho comparativo de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência. **Rev. Bras. de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 2, p. 84-95, 2011.
- BARRELLA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. *In*: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. v. 2, p. 187-207. achei como 2000.
- BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A. RUDOFF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the global precipitation climatology centre with sample applications including centennial (trend) analyses from 1901-present. **Earth System Sci. Data**, v. 5, p. 71-99, 2013.
- BERTONI, J. C.; TUCCI C. E. M. Precipitação. *In*: TUCCI, C. E.M (org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2001. p.177-241.
- BEZERRA FILHO, J.G. *et al.* Distribuição espacial da taxa de mortalidade infantil e principais determinantes no Ceará, Brasil, no período 2000-2002. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n.5, p. 1173-1185, mai. 2007.
- BINDLISH, R.; BARROS, A. Disaggregation of rainfall for one-way coupling of atmospheric and hydrological models in regions of complex terrain. **Global Planet**, v. 25, p. 111-132, 2000.
- BORGES, S. H.; IWANAGA, S.; MOREIRA, M.; DURIGAN, C. C. Uma análise geopolítica do atual sistema de unidades de conservação na Amazônia Brasileira. **Política Ambiental**, n. 4, p. 3-42, ago. 2007.
- BOX, G.E.P.; TIAO, G.C. Comparioson of forecast and actuality. **Applied Statistica**, v. 25, n.3, p. 195 – 200, 1976.
- CÂMARA G.; CARVALHO M.S.; CRUZ O.G.; CORREA V. Análise espacial de áreas. *In*: EMBRAPA Cerrados. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa, 2004. p. 157-209.
- CARDOSO, C. A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CHEN, M., SHI, W., XIE, P., SILVA, V., KOUSKY, V. E., HIGGINS, R. W., JANOWIAK, J. E. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres** [on line], v.113, D04110, 2008. DOI:10.1029/2007JD009132.

CHRISTENSEN, N.C.; WOOD, A.W.; VOISON, N.; LETTENMAIER, D.P.; PALMER, R.N. Os efeitos das mudanças climáticas na hidrologia e nos recursos hídricos da bacia do rio Colorado das alterações climáticas, **Climatic Change**, v.62, p. 337-363, 2004.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. **Journal of Hydrology**, v. 360, p. 207-216, 2008.

COSTA, B.; ALVES, C. Análise de tendências e padrões de variação das séries históricas de vazões do operador nacional do sistema (ONS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais[...]**. Maceió, 2011. p. 1-17.

CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; NOBRE, C. A.; HODNETT, M. G.; WATERLOO, M. J.; MOTA DE OLIVEIRA, S. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 462-463, p. 15-27, 2012.

CLIMATE PREDICTION CENTER - CPC. **Ligação clima e tempo**: El Niño e La Niña. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Acessado em: 20/05/2020.

DASMANN, R. F.; MILTON, J. P.; FREEMAN, P. H. **Ecological principles for economic development**. Washington D. C., USA: John Wiley & Sons Ltd., 1973.

DEUTSCH, C.V.; JOURNAL, A. G. **GSLIB**: geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University Press, 1992. 339p.

DIAS, L.C.P.; MACEDO, M.N.; COSTA, M.H.; COE, M.T.; NEILL, C. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.4, p. 108–122, 2015.

DINIZ, G. B. **Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. 2002. 188 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

ELETROBRAS. **Avaliação ambiental integrada aproveitamentos hidrelétricos da bacia hidrográfica do Rio Xingu**. São Paulo-SP: Governo Federal; ELETROBRAS, 2009. v. 1, 204p.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J.L; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FREITAS, M.A. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. In: RIVAS, A; FREITAS, C. (org.). **Amazônia uma perspectiva interdisciplinar**. Manaus: EDUA, 2002. p. 33-53.

GENZ, F. *et al.* Vazão mínima para estuários: um estudo de caso no rio Paraguaçu/BA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos- RBRH**, v. 13, n.3, p. 73- 82, jul/set. 2008.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 481p.

GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY CENTER- GPCC. Disponível em: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>. Acessado em:25/05/2020.

HAMILTON, L.S. Tropical forests: identifying and clarifying issues. an overview paper. *In*. MARKHAM, A. **Tropical forests task force of the pacific economic cooperation council**. Kuala Lumpur: Issues for the Tropical Forests Task Force of the Pacific Economic Cooperation Council, 1990.

HIRABAYASHI, Y.; KANAE, S.; EMORI, S ; OKI, T.; KIMOTO, M. Projeções globais de mudanças nos riscos de inundações e secas em um clima em mudança. **Hydrol. Sci. J.**, v.53, p. 754 – 772, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. **Normais climatológicas**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acessado: 12/10/2020.

JANSEN, L. J. M.; DI GREGORIO, A. Obtaining land-use information from a remotely sensed land cover map: results from a case study in Lebanon. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.5, p.141-157, 2004.

JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic trends and correlations in South Texas river basins: 1950- 2009. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 12, p. 1653-1662, 2013.

JOURNEL, A.G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. California: Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department,1988.85p.

JUNK, W.J.; MELLO, J.A.S.de. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estud. Av.**, São Paulo, v. 4, n. 8, p. 126-143, apr. 1990.

KEENAN, R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 2, p. 145-167, 2014.

KOSTOPOULO, E.; JONES, P. D. Assesment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Viena, v. 89, p. 69-85, 2005.

KURTZ, F.C.; ROCHA.J.S.M. da: KURTZ., S.M.J.M de; ROBAINA, A. D.: GARCIA, S.M.; SANTOS, A.H. O.: DILL, P. R. J.: ATAIDES, P. R. V.: MARTINS, F.B. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). (Estudo de caso). **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.129, p.109–127, 2002.

LUCAS, E.W. M. **Aplicação de modelos hidrológicos determinístico e estocástico mensais na bacia hidrográfica do Xingu – Pará**. 2007. 112f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2007.

MACQUEEN, J.B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *In*: BERKELEY SYMPOSIUM ON MATHEMATICAL STATISTICS AND PROBABILITY, fifth, 1967, California. **Proceedings** [...]. California: University of California, 1967. v.1, p. 281-297.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blücher,

2004.

PASSOW, M. TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. **Terra e Didática**. v. 6, n. 1, p. 3-8, 2010.

PETTENA, J.L.; BARROS, A. L. M. M.; MATOS, W.D.; RIBEIRO, A. C.O.; CARVALHO, R. M. Estudos de inventário hidrelétrico na Amazônia; a bacia do rio Xingu. *In: SIMPÓSIO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO- GEOTECTÔNICAS DA REGIÃO AMAZÔNICA*, 1980, [S.l.]. **Anais[...]**. [S.l.]: ABGE, 1980. p. 115-136.

PROJETO Mapbiomas. **Coleção 4.1 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22/06/2020.

SAMPAIO, F.P. R.; AGUIAR, D. G.; FILIZOLA JUNIOR, N. P. SCHORT. Níveis fluviométricos e o custo de vida em cidades ribeirinhas da Amazônia; o caso de Manacapuru e Óbidos. *In: SYMPOSIUM SELPER*, 2012 Earth Observation for a Green Co- Developed World. 15.2012, Caiena. **Anais[...]** Caiena: SELPER, 2012. p.1-9.

SANTANA, D.P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10. n. 6, p. 1721-1729, 2017.

SANTOS, D. M. **Análise e modelagem hidrometeorológica na bacia do Tocantins em Marabá-PA**. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2008.

SANTOS, D. M. **Análise e modelagem hidrometeorológica na Bacia do Tocantins em Marabá-PA**. 118f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém – Pará, 2008.

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL- SNPDC. **Sistema integrado de informações sobre desastres naturais (S2iD)**. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em: 22/05/2020.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 12, n. 3, p. 258-265, 2008.

SILVA, V. B., KOUSKY, V. E., SHI, W., HIGGINS, R. W. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. **Journal of Hydrometeorology** [on line], v.8, n.4, p. 847-861, 2007.

SOUTHWORTH, J.; MUNROE, D.; NAGENDRA, H. Land cover and landscape fragmentation-comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.101, p.185-205, 2004. TEIXEIRA, A. *et al.* Qual a melhor definição de SIG. **Revista FATOR GIS**, v.3, n 11, p. 20-24, 1995.

SOUZA, E. B. de *et al.* On the influence of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

245 p.

VENTURA, R. M. G. **Caracterização ambiental e hidrológica da Bacia do Córrego do Barbado em Cuiabá-MT**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

VILLAS-BÔAS, A. (org). **De olho na bacia do Xingu**. São Paulo: Instituto Socioambiental. 2012. 61 p.

WILK, J.; ANDERSSON, L.; PLERMKAMON, V. Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in large river basin in Thailand. **Hydrological Processes** v.15, p. 2729- 2748, 2001.