



Universidade Federal  
Do Pará



Faculdade de  
Meteorologia



Instituto de  
Geociências

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CLEBER ASSIS DOS SANTOS

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU E  
MODELO DE PREVISÃO FLUVIOMÉTRICA PARA ALTAMIRA – PA

Nº: 370

Belém – PA  
2016

CLEBER ASSIS DOS SANTOS

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU E  
MODELO DE PREVISÃO FLUVIOMÉTRICA PARA ALTAMIRA – PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Meteorologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará –  
UFPA, em cumprimento às exigências para  
obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof. Dra. Aline Maria Meiguins  
de Lima

Belém – PA  
2016

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Santos, Cleber Assis dos, 1987 –

Características hidrológicas da bacia hidrográfica do rio Xingu e modelo de  
previsão fluviométrica para Altamira-PA / Cleber Assis dos Santos. – 2016.  
57 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Aline Maria Meiguins de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do  
Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2016.

1. Hidrologia-Amazônia. 2. Previsão. I. Título.

---

CDD 22 ed.551.4809811

CLEBER ASSIS DOS SANTOS

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU E  
MODELO DE PREVISÃO FLUVIOMÉTRICA PARA ALTAMIRA – PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Meteorologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará –  
UFPA, em cumprimento às exigências para  
obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline Maria Meiguins de Lima - Orientador  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. João de Athaydes Silva Júnior  
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará

---

Msc. Vania dos Santos Franco  
Mestre em Ciências Ambientais  
Universidade Federal do Pará

A minha mãe Eliana Assis e ao meu pai Alfredo Santos (*in memoriam*)...

...DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Eliana Mendes de Assis, por não medir esforços em me ajudar, investir e acreditar no meu futuro, sem ela, minha trajetória acadêmica seria extremamente difícil.

A Monique Farias, que me aguentou desde o início da graduação, me incentivou a continuar quando muitas vezes eu cogitava em parar o curso.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline Meiguins, que acreditou no meu trabalho, teve a grande paciência de me orientar por mais de dois anos, contribuindo maciçamente no meu crescimento e amadurecimento acadêmico e foi fundamental na elaboração deste trabalho de curso e de vários outros trabalhos durante sua orientação.

Ao Romero Wanzeler e Edivaldo Serrão, pelos momentos de brincadeiras, estresses e muito estudo durante esses anos de graduação.

Aos professores da UFPA que contribuíram no conhecimento na área das ciências atmosféricas, principalmente o Prof. José Paulo da Costa, que nunca me negou ajuda e sempre me apoiou nas atividades acadêmicas, a professora Maria do Carmo, professor Danilo Filho, Galdino Viana, Edson e Paulo Souza.

A equipe do Laboratório de Climatologia da Embrapa Amazônia Oriental, em especial ao Reginaldo Frazão que me deu várias dicas sobre os instrumentos meteorológicos de observação e ao Prof. Dr. Alailson Santiago, que me deu a primeira oportunidade de estágio na Embrapa e sempre fez o possível para me ajudar no crescimento científico.

Aos colegas do Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais – LEMHA, Layrson Gonçalves, Thallis Sampaio, Felipe Menezes, João Paulo Pedrosa e Iviny Barros, por me suportarem por todo esse tempo e compartilharem o conhecimento.

A Universidade Federal do Pará e a Faculdade de Meteorologia por concederem o curso de Meteorologia com bons professores e referência na região norte do Brasil.

“Você tem de agir. E você tem que estar disposto a fracassar... se você tem medo de fracassar, não irá muito longe.”

Steve Jobs

## RESUMO

A necessidade de entender a variabilidade da distribuição espacial da precipitação pluviométrica é de extrema importância para o desenvolvimento e planejamento na gestão dos recursos hídricos. A caracterização tem grande aplicação como indicador para previsão do grau de vulnerabilidade da bacia a fenômenos como enchentes, inundações, dentre outros. Na bacia hidrográfica do rio Xingu, destaca-se o município de Altamira – PA, o maior município do mundo. A sede municipal está localizada as margens do rio Xingu e sofre historicamente com eventos extremos de cheias que provocam inundações, causando grandes prejuízos à população que mora no entorno do rio Xingu, desalojando famílias e ocasionando a vulnerabilidade social. O objetivo deste trabalho é elaborar um modelo de previsão fluviométrica (cota-vazão), para a cidade de Altamira – PA em função da sazonalidade das características hidrológicas da bacia hidrográfica do rio Xingu. Para a análise estatística dos dados pluviométricos e fluviométricos foram executados os seguintes passos: verificação da independência da série temporal através do teste de autocorrelação serial e aplicação do teste tendência (Mann-Kendall) e para testar o desempenho do modelo proposto, em relação aos dados de cota medida e estimada foram utilizados o coeficiente de Nash-Sutcliffe e o coeficiente de determinação, através dos softwares Microsoft Excel 2013 e o Statistica 10.0. O modelo proposto neste trabalho, Modelo de Previsão Hidrológica Xingu Altamira – MOPHIXA, faz a previsão com dois meses de antecedência, da média mensal da cota fluviométrica do rio Xingu em Altamira – PA, através da média mensal acumulada de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu. Além disso, utilizando a curva chave, encontra a vazão do rio Xingu em Altamira – PA, com base na cota fluviométrica prevista pelo modelo. De acordo com a série histórica (1985 até 2013) de dados, observou-se que para a bacia do rio Xingu a precipitação anual média é de 1963,5 mm. O baixo curso (estação de Altamira), registra valores de vazão superiores a 17000 m<sup>3</sup>/s, onde concentram-se os máximos de precipitação, superiores a 2200 mm, caracterizando nesta região o maior potencial hídrico da bacia. As medidas de desempenho consideradas na validação do modelo de previsão mostraram bons resultados, com o coeficiente de Nash-Sutcliffe apresentando valor de NS = 0,83 e o coeficiente de determinação com valor de R<sup>2</sup> = 0,86. Esses modelos são importantíssimos para entender a sazonalidade dos eventos de cheias e estiagem do rio Xingu, sendo fundamentais para poder dar subsídios ao processo de tomada de decisão na cidade de Altamira – PA.

Palavras-chave: Hidrologia. Modelo de previsão. Amazônia.

## ABSTRACT

The necessity of understanding the variability of the spatial distribution of rainfall is extremely important for the development and planning of the water resources management. The characterization has wide application as an indicator to predict the degree of vulnerability of the basin phenomena like floods, inundations and others. In the Xingu River Basin, it stands out the municipality of Altamira - PA, the largest municipality in the world. The head municipality is located alongside the Xingu River and historically suffers extreme events of floods that cause inundations, causing great damage to the population that lives surrounding the Xingu River, displacing families and causing social vulnerability. The objective of this work is developing a Fluviometric Forecasting Model (quota-flow) for the city of Altamira - PA, due to the seasonality of the hydrological characteristics of the Xingu River Basin. For the statistical analysis of rainfall and fluviometric data, the procedure was: verification of the independence of the time series by serial autocorrelation and application of the trend test (Mann-Kendall) to test the performance of the proposed model, in relation to data about the measured and estimated quota, they were used the Nash-Sutcliffe coefficient and the coefficient of determination, through the softwares Microsoft Excel 2013 and Statistica 10.0. The proposed model proposed in this work, Hydrologic Forecasting Model Xingu Altamira – MOPHIXA, makes the prediction before two months of the occurrence of the monthly average of fluviometric quota of the Xingu River at Altamira - PA, through the cumulative monthly average of rainfall in the Xingu River Basin. In addition, using the rating curve it is possible to find the Xingu River flow in Altamira - PA based on fluviometric quota predicted by the model. According to the historical serie data (1985 to 2013), it was noticed that the annual average rainfall is 1963.5 mm for the Xingu River Basin. The lower course (Altamira Station) registered flow values exceeding 17000 m<sup>3</sup>/s, which concentrate the maximum of rainfall, exceeding 2200 mm, characterizing the largest hydropower potential in this region. The performance measures considered in the validation of this forecasting model showed good results, with the Nash-Sutcliffe coefficient is equal to NS = 0.83 and the determination coefficient is equal to R<sup>2</sup> = 0.86. These models are very important to understand the seasonality of events like floods and drought in the Xingu River, being fundamental to be able to provide informations to the decision-making process in the city of Altamira - PA.

Key words: Hydrology. Forecasting Model. Amazon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Distribuição geográfica da bacia hidrográfica de rio Xingu.....	19
Figura 02 - Localização das estações pluviométricas.....	20
Figura 03 - Fluxograma geral das principais etapas do MOPHIXA.....	28
Figura 04 - Média anual acumulada da precipitação pluviométrica.....	27
Figura 05 - Média mensal acumulada da precipitação pluviométrica.....	28
Figura 06 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação pluviométrica.....	29
Figura 07 - Zoneamento proposto para a bacia do rio Xingu.....	31
Figura 08 - Elevação topográfica na região do Baixo Xingu.....	32
Figura 09 - Curva chave do rio Xingu na estação fluviométrica de Altamira – PA.....	34
Figura 10 - Curva de permanência de cota e vazão na estação fluviométrica de Altamira – PA.....	34
Figura 11 - Variabilidade interanual da cota e vazão no rio Xingu em Altamira - PA.....	35
Figura 12 - Média mensal da cota e vazão no rio Xingu em Altamira – PA.....	36
Figura 13 - Regressão entre a média mensal da cota fluviométrica e precipitação média mensal acumulada na bacia do Xingu (1985 a 2005), para construção do modelo.....	37
Figura 14 - Cota observada e prevista para Altamira – PA (2006 a 2013).....	38
Figura 15 - Interface do Programa MOPHIXA.....	39
Figura 16 - Instalador do MOPHIXA.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Dados das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Xingu.....	20
Tabela 02 - Valores de Mann-Kendall encontrados para os meses da série após a aplicação do teste e a significância encontrada.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	- Agência Nacional de Águas
ARIMA	- Modelo Auto-Regressivo Integrado de Média Móvel
CERH	- Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
FORTTRAN	- Sistema de Tradução de Fórmula
MOPHIXA	- Modelo de Previsão Hidrológica Xingu-Altamira
NS	- Nash Sutcliffe
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
SUDAM	- Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
UFPA	- Universidade Federal do Pará
ZCAS	- Zona de convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1 Geral</b> .....	17
<b>2.1 Específicos</b> .....	17
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
<b>3.1 Área de estudo e dados</b> .....	18
<b>3.2 Preenchimento de falhas e análise estatística</b> .....	20
<b>3.3 Distribuição espacial da precipitação</b> .....	22
<b>3.4 Características do modelo de previsão hidrológica Xingu Altamira – MOPHIXA</b> ...	23
<b>3.5 O programa MOPHIXA</b> .....	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>4.1 Caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu</b> .....	26
<b>4.2 Caracterização fluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu</b> .....	29
<b>4.2.1 Caracterização fluviométrica na estação de Altamira – PA</b> .....	31
<b>4.3 Modelo de previsão hidrológica Xingu-Altamira</b> .....	35
<b>4.4 Programa MOPHIXA</b> .....	38
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41
<b>APÊNDICE</b> .....	47
<b>APÊNDICE A – SCRIPT DO MOPHIXA</b> .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório (CHRISTOFOLETTI, 2006). De acordo com Pinto et al. (2011), bacia hidrográfica é a área geográfica coletora de água de chuva que escoam pela superfície do solo.

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender o funcionamento do balanço hídrico, dos processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD; ROBINSON, 1993). 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).

A necessidade de entender a variabilidade da distribuição espacial da precipitação pluviométrica é de extrema importância para o desenvolvimento e planejamento na gestão dos recursos hídricos, permitindo compreender a oferta hídrica da bacia e quanto pode fornecer para o aproveitamento, em termos de usos múltiplos, e assim evitar situações de escassez local (seja qualitativa ou quantitativa) (LUCAS et al., 2009).

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. Segundo Machado et al. (2010), as chuvas influenciam na infraestrutura e nos recursos naturais dentro das cidades. A precipitação pluviométrica é um dos elementos mais irregulares espacial e temporalmente, causando impactos em diversas atividades humanas (MIRANDA; PEREIRA, 2011).

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). No Estado do Pará, compõe junto com as bacias dos rios Tapajós e Tocantins, o conjunto de bacias federais (que pertencem a mais de um Estado) que drenam mais de 50% do território paraense.

Em termos de processo de uso e ocupação do solo destaca-se o avanço da pecuária na região do Alto Xingu e crescimento da sede municipal de Altamira – PA ocorrido a partir da

década de 1970, motivado pela abertura da rodovia Transamazônica (BR-230) (VILLAS-BÔAS et al., 2012). Dessa rodovia, ainda partem estradas vicinais (os travessões) em direção ao interior da bacia, que facilitaram a ocupação nos últimos anos. A colonização da Rodovia Transamazônica, bem como o crescimento de Altamira e São Félix do Xingu (PA), trouxeram um novo modelo de ocupação para a bacia, baseado na exploração da pecuária e de grandes extensões de terra. Destaca-se que a bacia apresenta uma projeção populacional para os municípios da região de aumento de 340,5 mil pessoas até 2030 ou 101,3% no período (considerando o ano base de 2009) (PARÁ, 2010).

Outro fator que demonstra a importância da bacia é seu aproveitamento energético, atualmente discutido a partir da construção do reservatório de Belo Monte, que teve seu dimensionamento reduzido de 1.225 para 440 km<sup>2</sup> (11.181 MW), colocando o reservatório principal (o “Reservatório da Calha”) a montante da confluência do rio Bacajá (FEARNSIDE, 2006).

Na bacia hidrográfica do rio Xingu, destaca-se o município de Altamira – PA, o maior município do mundo com área de 161.445,93 km<sup>2</sup> e com uma população de 99.075 pessoas de acordo com o IBGE 2010 (FRANCO, 2014). A cidade de Altamira – PA, localizada as margens do rio Xingu, sofre historicamente com eventos extremos de cheias que provocam inundações, causando grandes prejuízos à população que mora no entorno do rio Xingu, desalojando famílias e ocasionando a vulnerabilidade social (FRANCO, 2014; MIRANDA NETO, 2014; SILVA et al., 2014). Segundo Carvalho et al. (2007), a cheia é a elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga.

A sazonalidade dos rios, alternando entre períodos de águas altas (cheias) e águas baixas (secas) produz espacialidades distintas no cenário amazônico. 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).

Como exposto por Breda (2008), as populações procuram se fixar às margens dos rios buscando facilidade nos recursos que este proporciona, porém, a ocupação inadequada das planícies, pode ter como consequência grandes prejuízos materiais e perdas humanas consideráveis. Segundo Cristo (2002), muitas cidades desenvolveram suas malhas urbanas ao longo dos leitos dos rios colocando em risco a população que periodicamente em consequências de chuvas intensas e concentradas sofre o problema do transbordamento nas margens das drenagens. Com o crescimento desordenado e acelerado das cidades, principalmente na segunda

metade do século passado, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo como consequência prejuízos humanos e matérias (TUCCI, 2005).

O conhecimento acerca da amplitude do transbordamento dos leitos fluviais é extremamente necessário na determinação das áreas de risco (SANDER et al., 2012). Segundo os boletins hidroclimáticos de monitoramento e previsão da SUDAM/UFPA, a cota de alerta do rio Xingu na cidade de Altamira – PA é de 600 cm, geralmente este nível é ultrapassado nos meses de cheia do rio (março, abril e maio).

Porém, a irregular e insuficiente rede hidrológica instalada na região Amazônica demanda por mecanismos que permitam otimizar os dados oriundos das estações com mecanismos estatísticos de regionalização. Neste contexto, os modelos hidrológicos são aplicados visando fornecer informações preliminares para construção de reservatórios de água, estudos de impactos das mudanças climáticas em bacias hidrográficas e avaliação sazonal de suprimento e demanda de água para os demais usos múltiplos.

A utilização de modelo de previsão para eventos de cheias e estiagens é imprescindível para gerar boletins informativos de alertas e na tomada de decisões em regiões hidrologicamente sensíveis, que segundo Walter et al. (2000), são áreas da bacia hidrográfica que apresentam maior probabilidade de geração de escoamento superficial por saturação. Para Marinho Filho et al. (2012), a utilização de modelos hidrológicos tem sido bastante difundida, tanto na simulação e previsão de cenários hipotéticos para avaliação de impactos, bem como ferramenta na elaboração de projetos hidrológicos ou hidráulicos.

Em função da relevância da bacia do rio Xingu para o Estado do Pará foram produzidos modelos que tem como proposta a avaliação do efeito das cheias/estiagens sazonais e suas consequências. À intensidade desses eventos soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e a atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com exatidão, pois são anomalias ou desvios que flutuam sobre um padrão médio ou habitual (OLIVEIRA et al., 2012).

Os modelos já desenvolvidos para a bacia hidrográfica do rio Xingu, podem indicar o comportamento geral da bacia e permitir a identificação das sub-bacias que tendem a apresentar uma maior variabilidade de comportamento durante as ocorrências de eventos extremos na bacia Amazônica; possibilitando o seu zoneamento em função do grau de sensibilidade caracterizado. Para Mata-Lima et al. (2007), existem vários métodos de cálculo do tempo de concentração em bacias, sendo comum recorrer-se aos métodos estritamente empíricos, provavelmente devido à facilidade associada à sua aplicação, descurando as limitações dos mesmos em representar a situação real.

Dentre os modelos aplicados a bacia hidrográfica do rio Xingu, citam-se: Lucas et al. (2009), que aplicaram o modelo hidrológico determinístico mensal de dois parâmetros e o modelo estocástico (ARIMA) para simulação da vazão mensal das sub-bacias da região hidrográfica do Xingu no Estado do Pará; Costa et al. (2012), que analisaram e aplicou modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões, por meio de análise de regressão múltipla, nas regiões hidrográficas da Calha Norte e do Xingu no Estado do Pará; Franco (2014), que realizou a caracterização climatológica do regime hidrológico da bacia do Xingu, com a elaboração de um modelo estatístico de previsão das cheias sazonais na cidade de Altamira – PA, baseado no método de regressão linear.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Elaborar um modelo de previsão fluviométrica, cota e vazão, para a cidade de Altamira – PA em função da sazonalidade das características hidrológicas da bacia hidrográfica do rio Xingu.

### **2.1 Específicos**

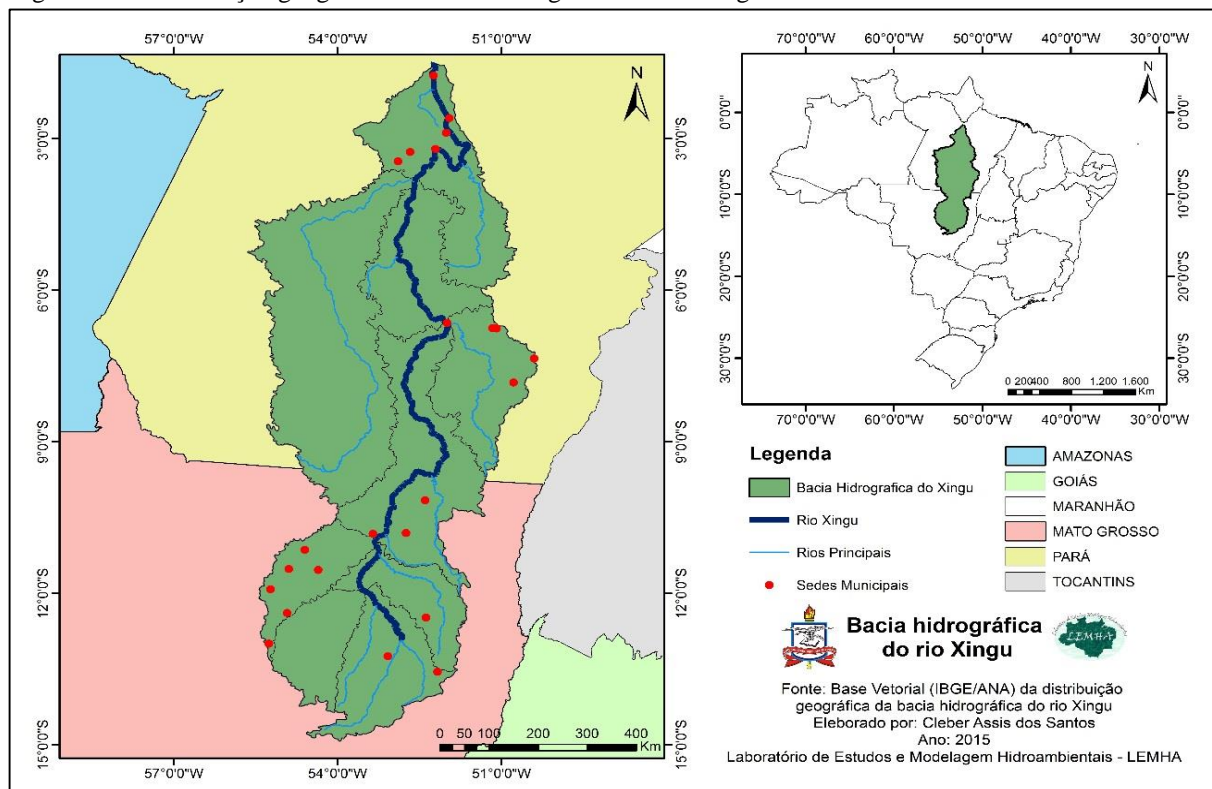
- Expor as características hidrológicas da bacia hidrográfica do rio Xingu.
- Elaborar um modelo de previsão fluviométrica para o rio Xingu em Altamira – PA.
- Elaborar um programa executável para a previsão fluviométrica do rio Xingu em Altamira – PA.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo e dados

O rio Xingu, formado pela confluência dos rios Culuene e Sete de Setembro, ambos procedentes da Serra do Roncador, tem suas nascentes com extensão de 2.271 km até sua foz, no rio Amazonas, que está na cota 3 a 4 m. Sua bacia tem direção S-N e ocupa uma área total de 509.685 km<sup>2</sup>, que corresponde a 46 municípios do Mato Grosso e 42 municípios do Pará. Seus principais afluentes são (de montante para jusante) o Suiá-Miçu, Auaiá-Miçu, Comandante Fontoura, Fresco e Bacajá pela margem direita; e Curisevo, Pardo, Iriri e Acarai, pela margem esquerda (Figura 01). A bacia do Iriri destaca-se pelo porte, com uma área de drenagem de 142.082 km<sup>2</sup>.

Figura 01 – Distribuição geográfica da bacia hidrográfica de rio Xingu.



Fonte: Autor.

Adotou-se a definição das sub-bacias hidrográficas, empregando os limites já definidos (traçados) pelo Sistema Ottobacias (Resolução n. 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos), nas “Ordens 2 e 3”. Espacialização destas segundo a rede pluviométrica e fluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), com a avaliação do comportamento da precipitação pluviométrica-cota-vazão por estação.

Os dados pluviométricos (chuva) e fluviométricos (cota e vazão) foram obtidos a partir do banco de dados históricos disponibilizados pela ANA, por meio de estações de coleta em diversos pontos da bacia do rio Xingu, sendo aproveitado apenas as estações com dados consistentes (menor número de falhas).

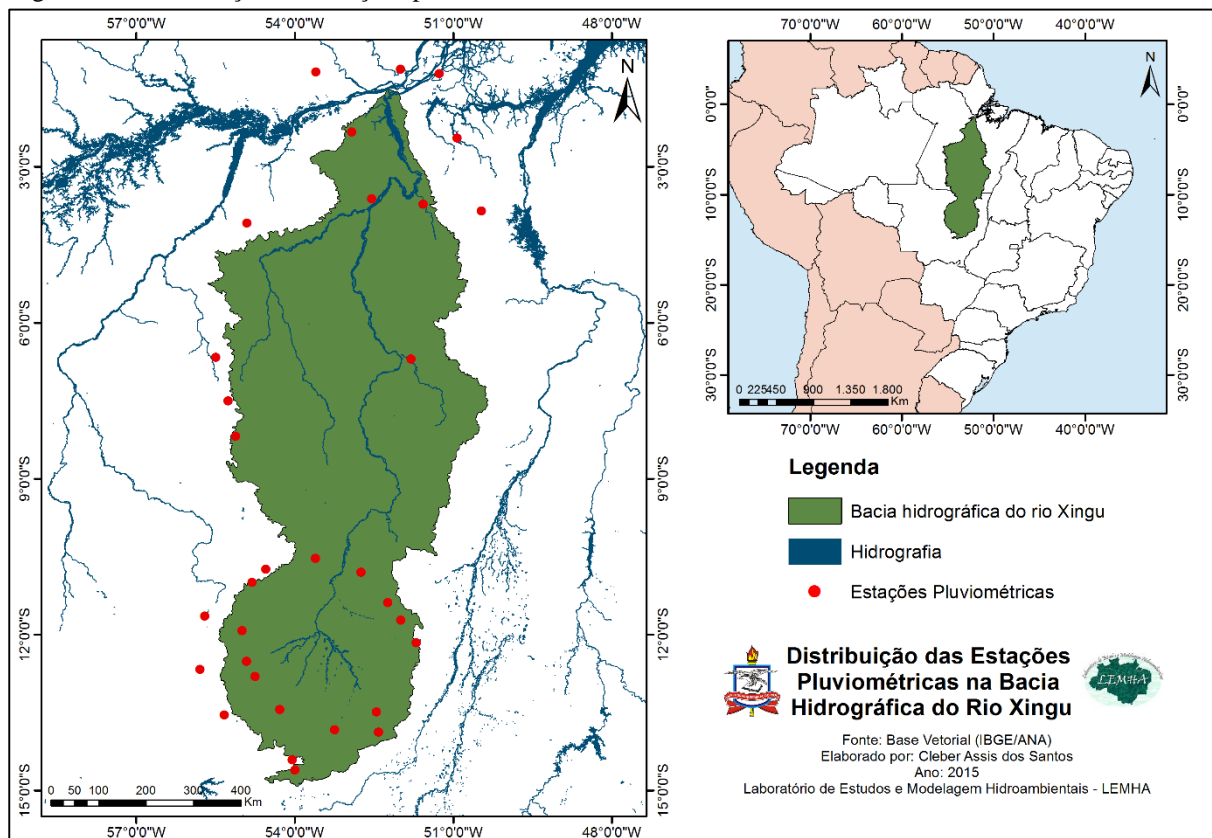
Para compreender a sazonalidade hidrológica da bacia do rio Xingu, utilizou-se informações de 8 estações fluviométricas, onde duas possuem apenas 13 anos de dados (Tabela 01) e 32 estações pluviométricas com série histórica de 1985 até 2013 (Figura 02).

Tabela 01 – Dados das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Xingu.

Estação	Código	Rio	Latitude	Longitude	Período
Pousada Matrinxã	18415000	Cuelene	-13°34'09''	-53°04'34''	2000-2013
Fazenda Itaguaçu	18420000	Ronuro	-13°08'27''	-54°26'43''	1977-2013
Consul	18423000	Atelchu	-12°21'57''	-54°29'21''	1997-2013
Jusante rio Preto	18436000	Comandante Fontoura	-10°02'50''	-52°06'51''	2000-2013
Boa Esperança	18500000	Fresco	-06°44'43''	-51°46'24''	1976-2013
Boa Sorte	18460000	Xingu	-06°44'09''	-51°59'43''	1977-2013
Pedra do Ó	18700000	Iriri	-04°32'30''	-54°00'03''	1976-2013
Altamira	18850000	Xingu	-03°12'53''	-52°12'44''	1971-2013

Fonte: ANA (2015).

Figura 02 – Localização das estações pluviométricas.



Fonte: Autor.

### 3.2 Preenchimento de falhas e análise estatística

Utilizando o Software Hidro 1.2 da ANA, foram exportados os dados hidrológicos para a planilha eletrônica Microsoft Excel 2013, onde foram identificadas algumas falhas nos dados que foram corrigidas.

O preenchimento de falhas fluviométricas (8 estações) foi obtido através da média aritmética simples do mês referente a falha e o preenchimento de falhas pluviométricas (32 estações) foi obtido através do método de ponderação regional (Equação 1). Utilizado normalmente para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, visando homogeneização do período de informações e a análise estatística das precipitações (BERTONI; TUCCI, 2001). São utilizadas no mínimo três estações pluviométricas próximas da estação com falhas com o mínimo de dez anos de dados.

$$P(x) = \frac{M_x}{M_a} P_a + \frac{M_x}{M_b} P_b + \frac{M_x}{M_c} P_c + \dots + \frac{M_x}{M_n} P_n \quad (1)$$

Esta equação nos diz que a observação na estação que existe a falha é proporcional as observações nas estações vizinhas A, B, C, ..., N em um período corrente. Onde,  $M_x$  é a média das observações da estação principal, ou seja, a que possui as falhas nos períodos que existem observações em outras estações;  $M_a, M_b, M_c, \dots, M_n$ , são as medidas das estações suplementares para o período comum à estação principal;  $P_a, P_b, P_c, \dots, P_n$ , são as observações nas estações suplementares no período comum da estação principal (com falhas).

Para a análise estatística dos dados pluviométricos e fluviométricas foram executados os seguintes passos: verificação da independência da série temporal através do teste de autocorrelação serial e aplicação do teste tendência (Mann-Kendall), onde foram utilizados os softwares Microsoft Excel 2013 e o Statística 10.0.

O Teste de Mann-Kendall consiste em um teste estatístico não-paramétrico aplicado na identificação de tendências demonstrando-se bastante robusto quanto aos desvios de normalidade e não-estacionalidade dos valores de uma série. Por esse motivo é uma técnica recomendada pela OMM para estudos de tendências climáticas em séries temporais longas (SANCHES et al., 2012). Para um conjunto de dados,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , com  $n > 4$ , o teste estatístico de Mann-Kendall, usa as seguintes fórmulas para a estatística (Equação 2):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (2)$$

onde a função *sign* é:

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Para séries com grande número de termos ( $n$ ), sob a hipótese nula ( $H_0$ ) de ausência de tendência,  $S$  apresenta uma distribuição normal com média zero e variância (Equação 3):

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

E, com repetições de dados, a variância fica sendo (Equação 4):

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (4)$$

Onde,  $g$  é número de grupos com dados repetidos e  $t_p$  é o número de dados no  $p$ -ésimo grupo. Logo  $S$  e  $\text{Var}(S)$  são utilizados para o cálculo da estatística  $Z$ , com distribuição normal padrão (Equação 5):

$$Z(MK) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Para a análise da tendência utiliza-se valor de  $Z$ . Um valor positivo de  $Z > 0$  significa uma tendência crescente e um valor negativo  $Z < 0$ , uma tendência decrescente.

O nível de significância  $\alpha$  adotado é de  $\alpha = 0,05 = 5\%$  para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade  $p$  do teste de Mann-Kendall for menor que o nível  $\alpha$ ,  $p < \alpha$ , uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor de  $p > \alpha$ , confirma uma tendência

insignificante. Para amostras onde não há tendências, o valor de Z é próximo de zero (DELGADO et al., 2012; FERRARI et al., 2012; KENDALL, 1975; MANN, 1945).

Para testar o desempenho do modelo proposto, em relação aos dados de cota medida e estimada foram utilizados o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O coeficiente de Nash-Sutcliffe varia de  $-\infty$  a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhor é o modelo para representar a massa de dados observados (PEREIRA et al., 2014). O coeficiente de NASH é definido como (Equação 6):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n^*} (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^{n^*} (E_m - E^*)^2} \quad (6)$$

onde NS é o coeficiente de Nash-Sutcliffe;  $E_m$  é o evento monitorado;  $E_s$  é o evento simulado;  $E^*$  é a média do evento observado no período da simulação; e  $n^*$  é o número de eventos.

O segundo critério utilizado foi o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Segundo Lapponi (2005), o coeficiente de determinação é definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (Equação 7). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) representa a associação linear entre os dados observados e calculados, variando de 0 a 1, com maior valor indicando menor variância do erro (MORIASI et al., 2007).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (7)$$

onde,  $\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2$  corresponde à variação explicada; e  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  corresponde à variação não explicada.

### 3.3 Distribuição espacial da precipitação

A distribuição espacial da precipitação foi definida a partir da média anual acumulada e da identificação da variabilidade da média mensal acumulada, no período de 1985 até 2013, ao longo da área delimitada da bacia hidrográfica do rio Xingu. As informações foram processadas e empregando o Software ArcGIS 10.0, utilizou-se um interpolador específico, pelo método de Krigagem. Segundo Jakob (2002), a Krigagem utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Berveglieri et al. (2011), considera que a Krigagem compreende

um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Este é o princípio da primeira lei da geografia de Tobler (1979), onde os elementos (atributos) mais próximo possuem maior correlação entre si que os mais distantes. A Krigagem mostrou-se mais eficiente, dada a distribuição das estações ao longo da bacia ser irregular.

### **3.4 Características do modelo de previsão hidrológica Xingu Altamira – MOPHIXA**

O modelo proposto neste trabalho (Modelo de Previsão Hidrológica Xingu Altamira – MOPHIXA), faz a previsão, com dois meses de antecedência, da média mensal da cota fluviométrica do rio Xingu em Altamira – PA, através da média mensal acumulada de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu. Além disso, utilizando a curva chave, encontra a vazão do rio Xingu em Altamira – PA, com base na cota fluviométrica prevista pelo modelo.

O MOPHIXA (Modelo de Previsão Hidrológica Xingu-Altamira) é do tipo concentrado, determinístico e empírico. Segundo Rennó e Soares (2008), o modelo é considerado concentrado quando todas as variáveis de entrada e de saída são representativas de toda área estudada. A utilização da chuva média como variável de entrada neste tipo de modelo é o mesmo que admitir a uniformidade espacial da precipitação representada por estatística pontual (TUCCI, 2005).

O modelo determinístico é caracterizado pelo fato de uma dada ação de entrada de dados implicar uma mesma resposta (QUINTELA; PORTELA, 2002). Kaiser (2006), admite que o modelo determinístico é adequado para descrever as fases do ciclo hidrológico que não contém componentes aleatórios, logo em uma determinada situação, o modelo produzirá a mesma resposta final. De acordo com Moreira (2005), o modelo empírico é baseado em dados observacionais, são modelos úteis no cotidiano, entretanto são simples já que representa apenas a região onde a relação foi estimada.

No processo de construção, calibração e validação do modelo adotou-se os seguintes passos:

1. Organizar as médias mensais acumuladas de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu, de 1985 até 2005 (para a construção do modelo) e as médias mensais de cota fluviométrica medida na cidade de Altamira – PA, no mesmo período.

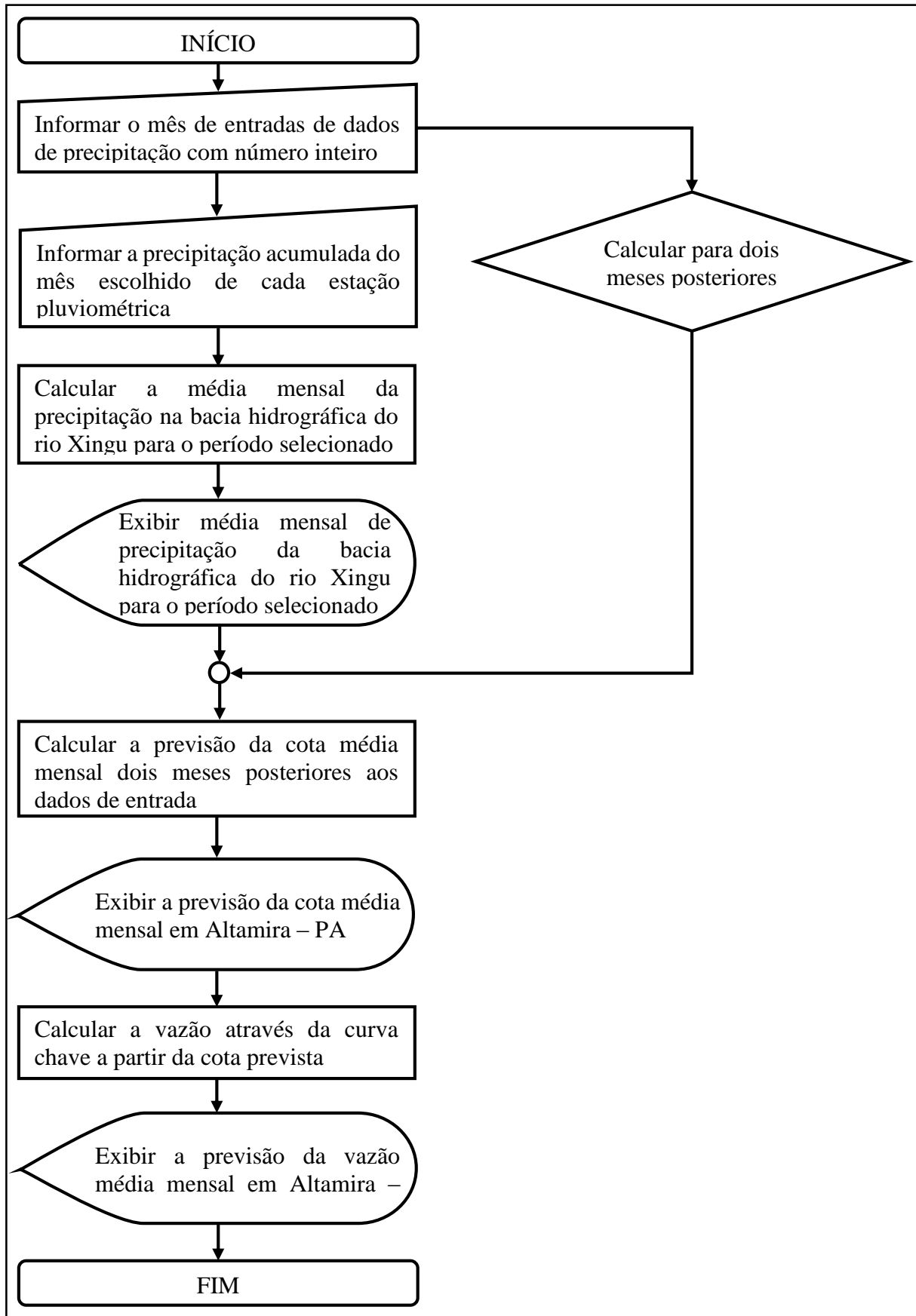
2. Relacionar os dados médios mensais de precipitação e cota medida em Altamira – PA.
3. Calibrar o modelo pelo método de tentativas (MOREIRA, 2005), para obter o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e gerar a equação que informe a cota fluviométrica de Altamira – PA em função da precipitação média mensal acumulada da bacia hidrográfica do Xingu.
4. Validar o modelo com a equação encontrada, utilizando os anos de 2006 até 2013.
5. Utilizar a curva chave, que é a correlação entre o nível de água (cota fluviométrica) e vazão numa seção de um rio (GARCEZ; ALVAREZ, 1988), para estimar a vazão no rio Xingu em Altamira – PA em função da resposta de cota fluviométrica do modelo.

### **3.5 O programa MOPHIXA**

Na Figura 03 apresenta-se o fluxograma geral do MOPHIXA. Este programa visa facilitar a obtenção da previsão de cota e vazão fluviométrica em Altamira – PA. O programa foi desenvolvido na linguagem FORTRAN (script no APENDICE – A), baseado no modelo proposto neste trabalho. O MOPHIXA trabalha da seguinte maneira:

1. Escolher o mês de entrada de dados de precipitação.
2. Entrar com o acumulado mensal de cada uma das estações pluviométricas utilizadas para a construção do modelo (32 estações).
3. Por fim, o MOPHIXA apresenta três saídas: a média mensal acumulada da bacia hidrográfica do rio Xingu; a previsão da cota fluviométrica do rio Xingu, em Altamira – PA, com dois meses de antecedência; e a previsão da vazão do rio Xingu, em Altamira – PA, com dois meses de antecedência.

Figura 03 – Fluxograma geral das principais etapas do MOPHIXA.



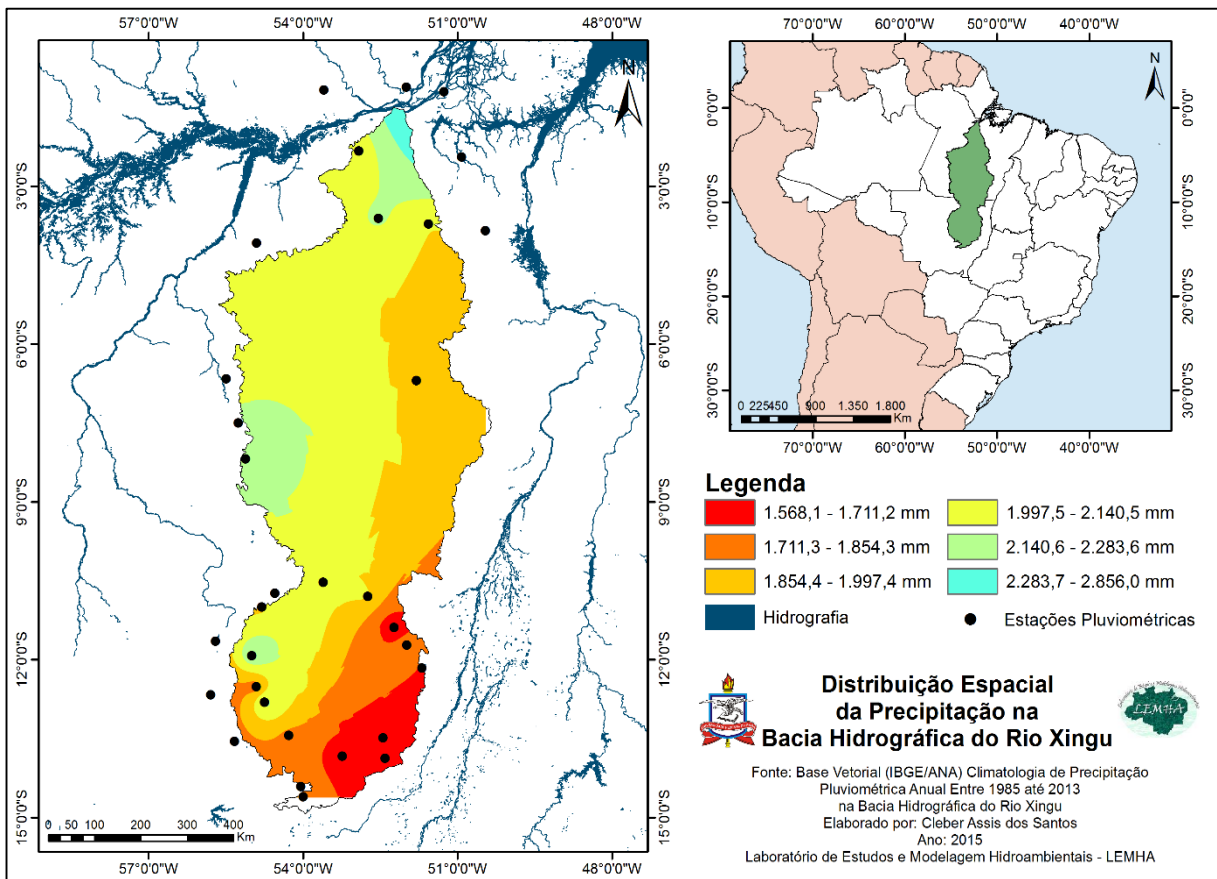
Fonte: Autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu

De acordo com a série histórica (1985 até 2013) de dados, observou-se que para a bacia do rio Xingu a precipitação anual média é de 1963,5 mm. Os menores valores de precipitação, encontram-se na região da nascente da bacia hidrográfica e ao Leste (média de 1782,3 mm) e os maiores valores, encontram-se na região da foz e ao Oeste (média de 2426,7 mm) (Figura 04).

Figura 04 - Média anual acumulada da precipitação pluviométrica.



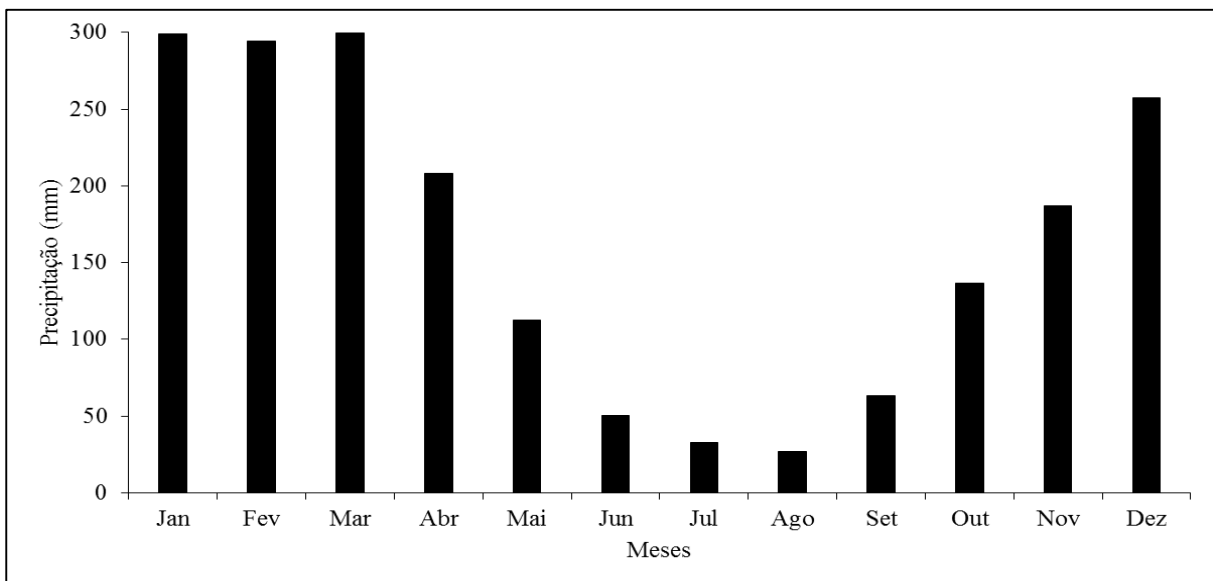
Fonte: Autor.

Os anos de 1985, 1988 e 1989 houveram as maiores ocorrências de precipitação (média aritmética de 2185,0 mm/ano) e 1987, 1997, 1998 e 2007 os anos menos chuvosos (média aritmética de 1732,1 mm/ano), estes períodos coincidem respectivamente com as influências dos fenômenos de La Niña e El Niño na região Amazônica (CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS, 2014), assim como identificado por Franco et al. (2015), que comprovou que em anos de La Niña as respostas fluviométricas na cidade de Altamira –

PA, são mais elevadas quando comparado aos anos El Niño, onde os valores fluviométricos são menos intensos.

Durante o período observado, a precipitação pluviométrica se concentrou entre os meses de novembro e abril (1541 mm). Por outro lado, entre os meses de maio a outubro, as chuvas têm menor intensidade (estação menos chuvosa na Amazônia), onde a média acumulada nesse período foi de 422 mm (Figura 05).

Figura 05 - Média mensal acumulada da precipitação pluviométrica.

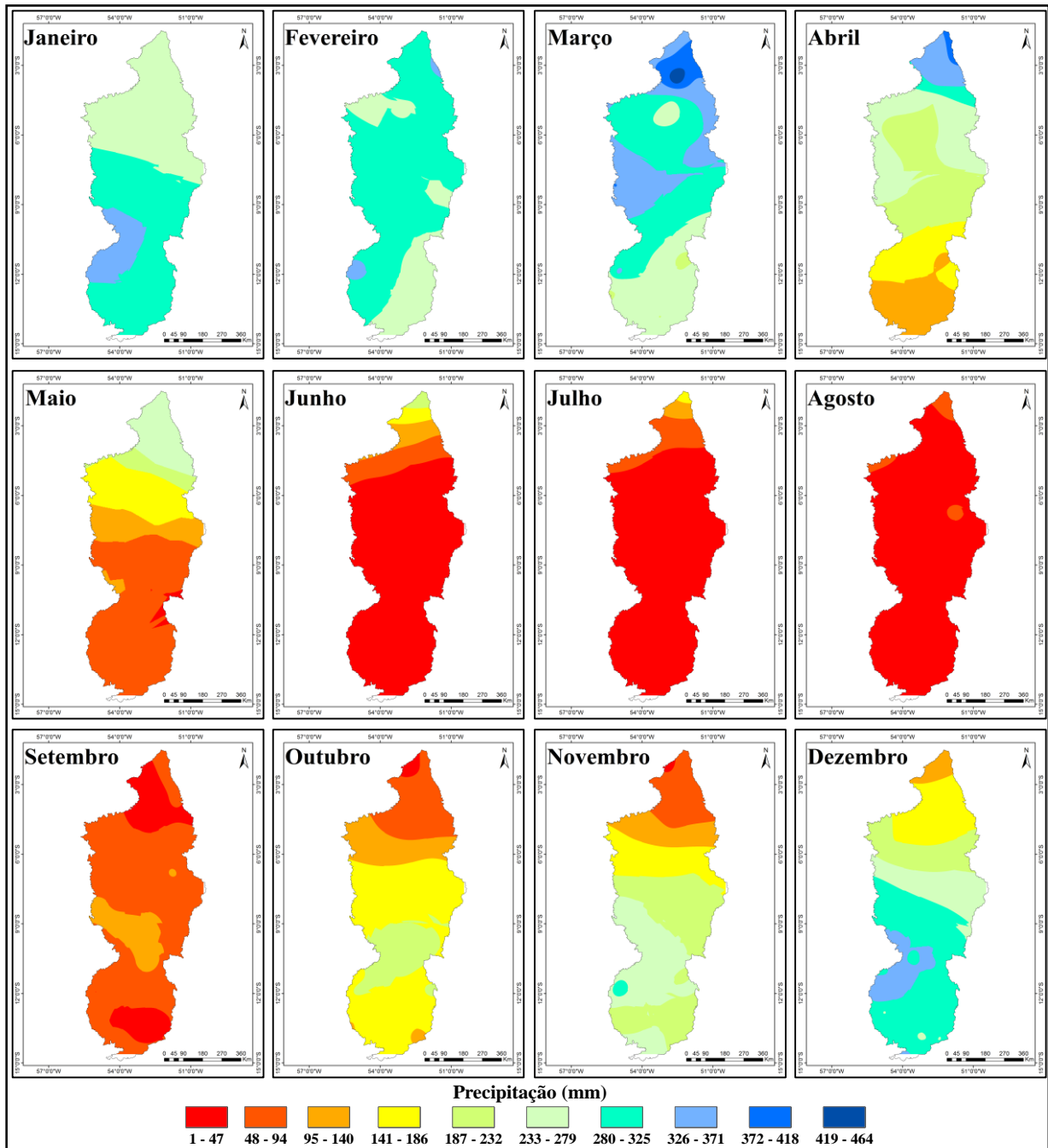


Fonte: Autor.

A figura 06, mostra a sazonalidade média mensal da distribuição espacial de precipitação pluviométrica acumulada. Ao acompanhar a variabilidade mensal da pluviosidade da bacia hidrográfica do rio Xingu, observa-se a influência de sistemas meteorológicos de escala sinótica e global que atuam na região amazônica. Dentre os sistemas, destacam-se dois principais: a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). Esses dois sistemas meteorológicos são fundamentais para definir a climatologia da região, elevando a precipitação na sua área de atuação.

A ZCIT atua diretamente na precipitação da região Norte do Brasil (REBOITA et al., 2010). Segundo Nobre et al. (2000), em anos chuvosos, o posicionamento da ZCIT pode atingir até 5° a 6° de latitude Sul. Carvalho (2011), aponta que a ZCIT está na sua posição mais austral nos meses de março e abril.

Figura 06 – Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação pluviométrica.



Fonte: Autor.

Segundo Quadro et al. (2012), a ZCAS atua principalmente nos meses de verão (21 de dezembro a 21 de março) no Hemisfério Sul, elevando os índices pluviométricos sobre a região de atuação. Climatologicamente, este fenômeno atua na América do Sul no sentido noroeste leste (NW-SE), se estendendo do Sul da Amazônia até o Sudeste do Brasil; tem atuação entre as regiões centro-oeste e sudeste do Brasil entre os meses de outubro a abril (primavera/verão estendido), gerando grande quantitativo de precipitação praticamente em todos os anos (CARVALHO; JONES, 2009).

Os resultados obtidos pela análise conjunta da distribuição da precipitação pluviométrica, demonstram que há dois principais sistemas meteorológicos precipitantes, que atuam no Xingu, um aproximadamente entre os meses de outubro a fevereiro (ZCAS) na região Sul da bacia hidrográfica e outro aproximadamente entre os meses de março a maio (ZCIT) ao norte do rio Xingu, seguindo para a jusante da bacia hidrográfica. Nos meses entre abril a setembro, o sul da bacia hidrográfica, apresenta baixa pluviosidade, mostrando que nesse período, climatologicamente, há pouca atividade de sistemas meteorológicos precipitantes.

#### **4.2 Caracterização fluviométrica da bacia hidrográfica do rio Xingu**

Segundo Costa (2005), o potencial hídrico, refere-se ao potencial de produção de água de uma bacia hidrográfica, ou seja, uma bacia de alto potencial hídrico é aquela que apresenta altas taxas de fluxo de base, conseguindo manter por muito tempo um nível razoável de vazão mesmo em épocas de estiagens.

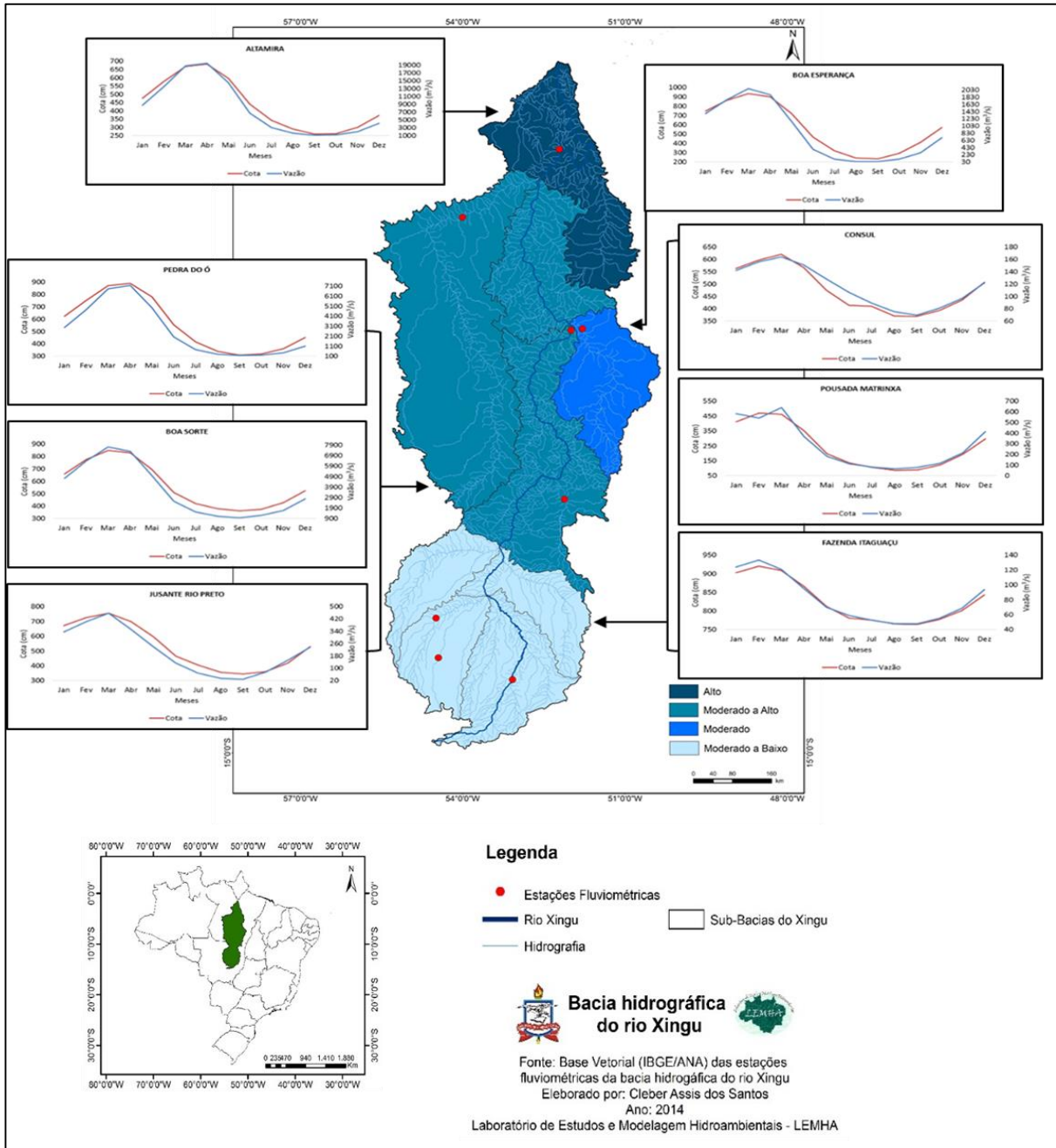
A figura 07 ilustra o zoneamento proposto do potencial hídrico da bacia do rio Xingu. No alto curso (estações: Pousada Matrinxa, Fazenda Itaguaçu e Consul) os valores máximos de cota e vazão fluviométrica, ocorrem entre os meses de fevereiro à março e os valores mínimos, entre agosto e setembro. As maiores contribuições de vazões (período de máximas) variam de 130 a 600 m<sup>3</sup>/s, equivalendo a precipitações em torno de 1566,1 a 1997,4 mm (Figura 04), anuais acumulados, caracterizando um potencial “Moderado a Baixo”. Nas sub-bacias do alto curso as variações de nível de cota entre o período chuvoso e menos chuvoso são as menores da bacia, em torno de 200 a 300 cm.

No médio curso (estações: Jusante Rio Preto, Boa Esperança, Boa Sorte, Pedra do Ó), os valores máximos de cota e vazão fluviométrica, ocorrem de março à abril e os valores mínimos, entre agosto à outubro. A bacia do rio Fresco contribui diretamente para o leito do rio Xingu com uma vazão de superior a 2000 m<sup>3</sup>/s e a bacia do rio Iriri com valores superiores a 6000 m<sup>3</sup>/s. Neste setor a precipitação é mais concentrada na porção ocidental do que na oriental, porém é capaz de atingir os valores máximos definidos para a bacia, superiores a 2000 mm acumulados durante o ano, indicando um potencial “Moderado e Moderado a Alto”. Como resultado as sub-bacias principais do médio curso (Fresco e Iriri) indicam os maiores valores de variação de nível de cota entre o período chuvoso e menos chuvoso, em torno de 500 a 600 cm.

O baixo curso (estação de Altamira), registra valores de vazão superiores a 17000 m<sup>3</sup>/s, onde concentram-se os máximos de precipitação, superiores a 2200 mm, caracterizando nesta

região o maior potencial hídrico da bacia. A estação referente a esta região apresenta variações de nível de cota entre o período chuvoso e menos chuvoso de 400 cm.

Figura 07 – Zoneamento proposto para a bacia do rio Xingu.



Fonte: Autor.

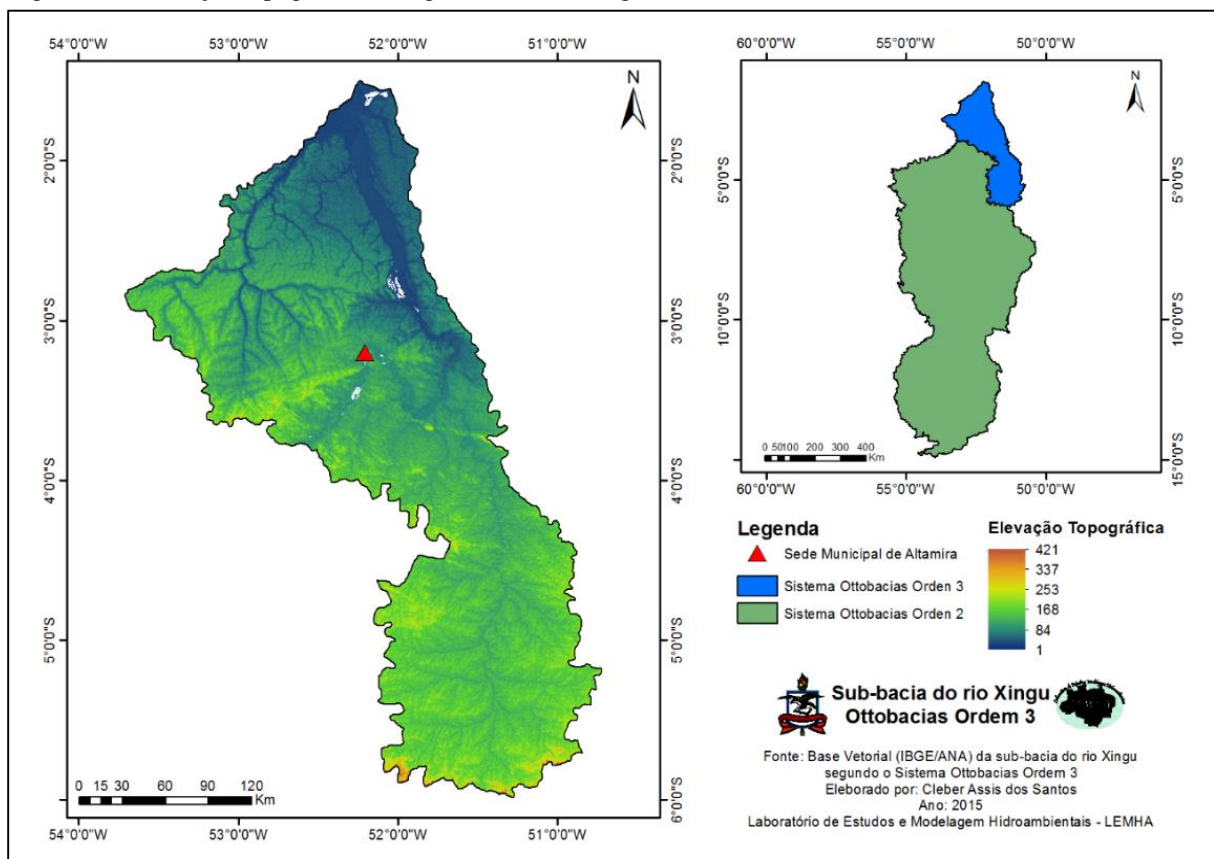
Para Branco (2006), conhecer as disponibilidades hídricas disponíveis de uma região é fundamental, para melhor compatibilizar seus usos múltiplos e reduzir os riscos de um conflito pelo uso da água.

#### 4.2.1 Caracterização fluviométrica na estação de Altamira – PA

Devido ao seu alto potencial hídrico, sua grande relevância na literatura (COSTA et al., 2012; FRANCO, 2014; LUCAS et al., 2009), grande variabilidade hidrológica e seus dados (vazão e cota fluviométrica) apresentarem maior consistência, a zona hidrológica que servirá de base nesse estudo, tem como referência o posto pluviométrico localizado em Altamira – PA, pertencente a região do baixo curso do rio Xingu.

Esta região tem uma das menores elevações topográficas da bacia (Figura 08), representando uma zona hidrológicamente sensível, principalmente em eventos de cheia do rio Xingu. Segundo Pereira e Teixeira Filho (2009), são consideradas áreas hidrológicamente sensíveis, áreas onde existem maior formação de fluxo de água superficial e saturação do solo após um evento de chuva.

Figura 08 – Elevação topográfica na região do Baixo Xingu.



Fonte: Autor.

Nesta área, o rio Xingu recebe seu principal afluente, o rio Iriri, os efeitos de retenção dos deflúvios nas baixadas marginais são mais acentuados, ocasionando retardo e atenuação das descargas, na época de enchente, e acréscimos nas vazões na época da vazante. Nas

imediações da cidade de Altamira – PA, o rio Xingu sofre uma acentuada deflexão formando a chamada Volta Grande, de grandes corredeiras, com um desnível de 85m em 160 km (FRANCO, 2014).

Na análise de tendência de longo prazo encontrada, buscando possíveis evidências de mudanças no comportamento no decorrer dos anos, na variabilidade de vazão e cota fluviométrica, em Altamira – PA (Tabela 02), verifica-se que os dados de cota fluviométrica apresentaram tendência positiva nos meses de janeiro, abril, agosto e dezembro, os demais meses da série demonstraram tendência negativa. Já os dados de vazão apresentam tendência positiva nos meses de janeiro, abril e agosto, com os demais meses apresentando tendência negativa.

No entanto, considerando o nível de significância proposto (95%), em todas as séries a hipótese  $H_0$  foi aceita, ou seja, as tendências encontradas não puderam ser consideradas como significativas para mudanças de comportamento no período. Como a probabilidade (p) calculada é maior que o nível de significância  $\alpha=0,05$ , não rejeita-se a hipótese nula. Segundo Franco et al. (2014), não se pode afirmar que os eventos fluviométricos do rio Xingu em Altamira – PA estejam sofrendo tendência positiva ou negativa sistemática.

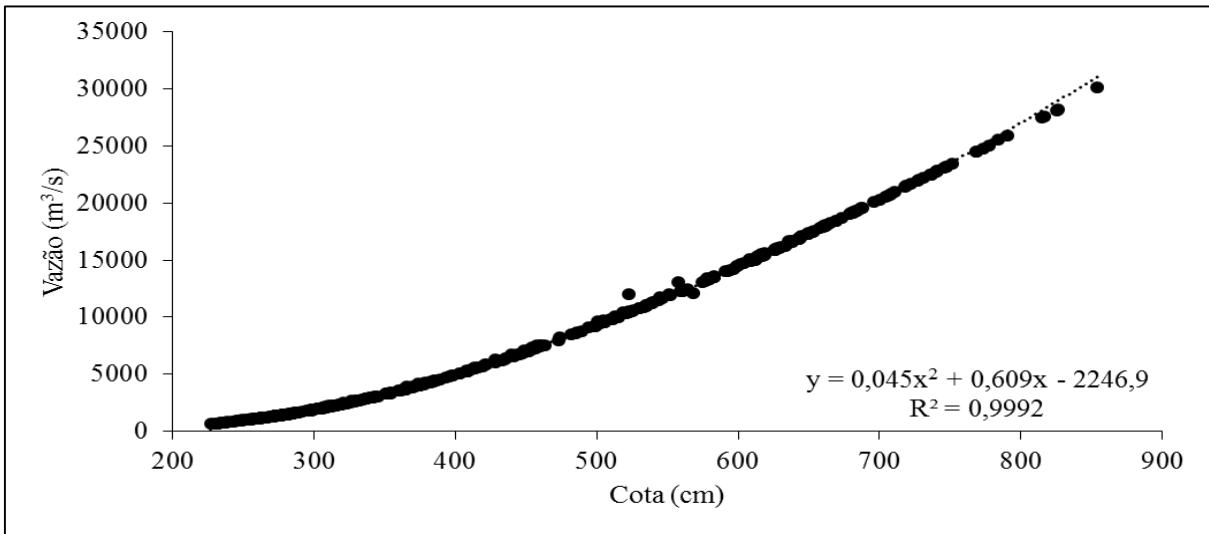
Tabela 02 – Valores de Mann-Kendall encontrados para os meses da série após a aplicação do teste e a significância encontrada.

Séries Mensais analisadas	Cota (1985-2013)		Vazão (1985-2013)	
	Teste de Mann-Kendall	Probabilidade (p)	Teste de Mann-Kendall	Probabilidade (p)
Janeiro	0,069	0,523	0,167	0,157
Fevereiro	-0,068	0,530	-0,111	0,350
Março	-0,050	0,645	-0,029	0,818
Abril	0,073	0,496	0,149	0,207
Maió	-0,102	0,341	-0,117	0,323
Junho	-0,064	0,551	-0,127	0,284
Julho	-0,061	0,572	-0,105	0,379
Agosto	0,047	0,668	0,001	0,989
Setembro	-0,074	0,496	-0,017	0,892
Outubro	-0,110	0,309	-0,073	0,540
Novembro	-0,103	0,335	-0,092	0,441
Dezembro	0,027	0,810	-0,006	0,968

Fonte: Autor.

A figura 09 ilustra a curva chave, com alto coeficiente de determinação ( $R^2=0,9992$ ), dos dados de cota fluviométrica e de vazão média mensal na estação de Altamira – PA. Segundo Pereira Filho et al. (2003), a correta determinação da curva chave constitui-se em pré-requisito essencial para a qualidade dos resultados do estudo hidrológicos.

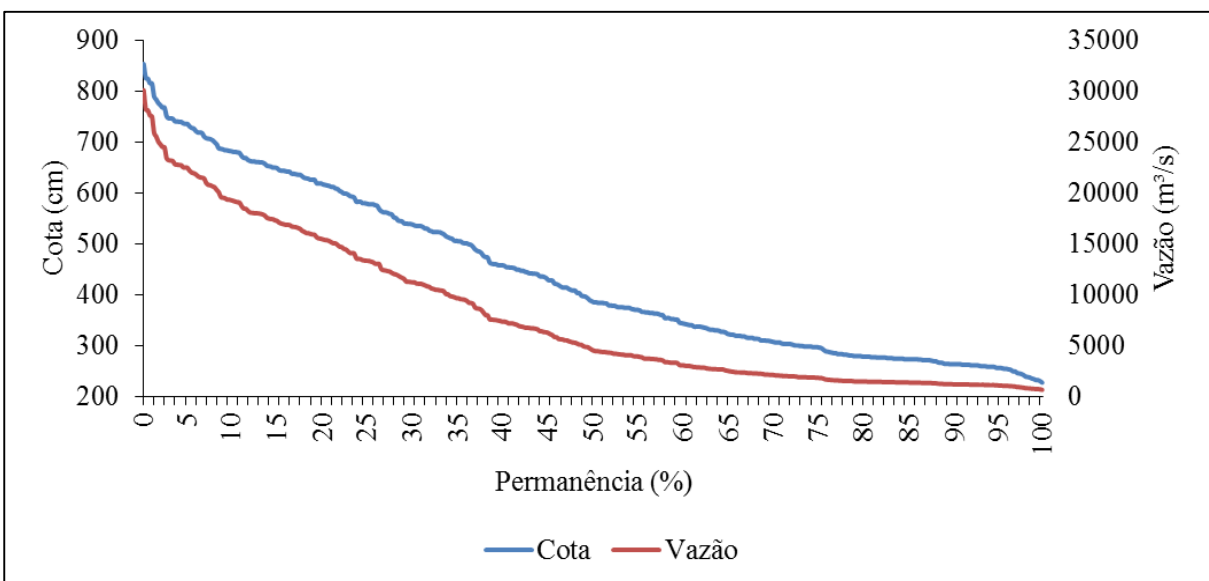
Figura 09 – Curva chave do rio Xingu na estação fluviométrica de Altamira – PA.



Fonte: Autor.

A figura 10 mostra a curva de permanência de cota e vazão para o posto fluviométrico de Altamira – PA. Segundo Cruz e Tucci (2008), a curva de permanência ou de duração de vazões relaciona a vazão (geralmente no eixo das ordenadas) e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção (geralmente no eixo das abscissas). Verificou-se que a vazão em  $Q_{95}$  foi de 1069 m³/s (média anual de 7935 m³/s) e a cota em  $C_{95}$  foi de 256 cm (média anual de 440 cm).

Figura 10 – Curva de permanência de cota e vazão na estação fluviométrica de Altamira – PA.

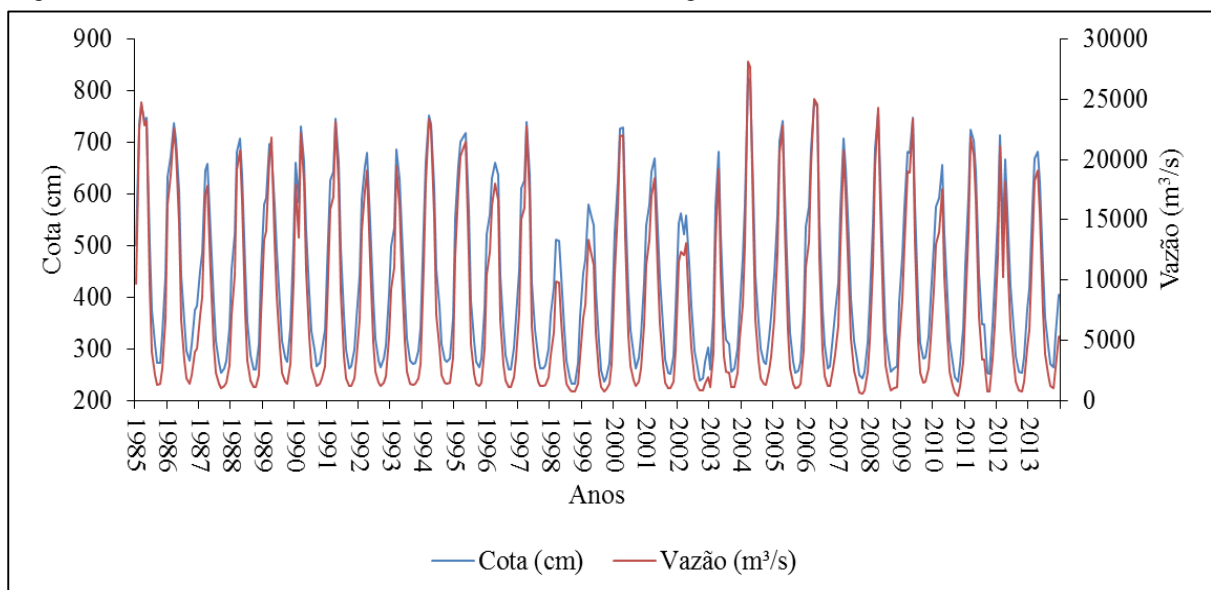


Fonte: Autor.

A curva de permanência foi estabelecida com base em valores mensais, extraindo-se o valor de  $Q_{95}$ , que corresponde a 95% de permanência mensal das vazões na estação em estudo. No território nacional, cada estado adota um critério para estabelecer a vazão de referência para outorga de direitos de uso da água (SILVA et al., 2006), onde estados do Pará (Diário Oficial do Estado do Pará n. 31770 de 11/10/2010, Resolução n. 10 - CERH) e do Mato Grosso (Resolução Nº 27 de 2009), adotam como referência a vazão de 95%. A curva de permanência relaciona a vazão ou o nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada (TUCCI, 2001). Para Pinto et al. (2011), curva de permanência permite visualizar de imediato a potencialidade natural do rio, destacando a vazão mínima e o grau de permanência de qualquer valor de vazão.

A figura 11 apresenta variabilidade interanual de cota e vazão sazonal no rio Xingu, na estação fluviométrica de Altamira, no período de 1985 até 2013. Neste período, os valores máximos de cota e vazão, ocorreram em 2004 (816 cm e 27639  $m^3/s$ ), e os valores mínimos ocorreram em 1998 (510 cm e 9817  $m^3/s$ ).

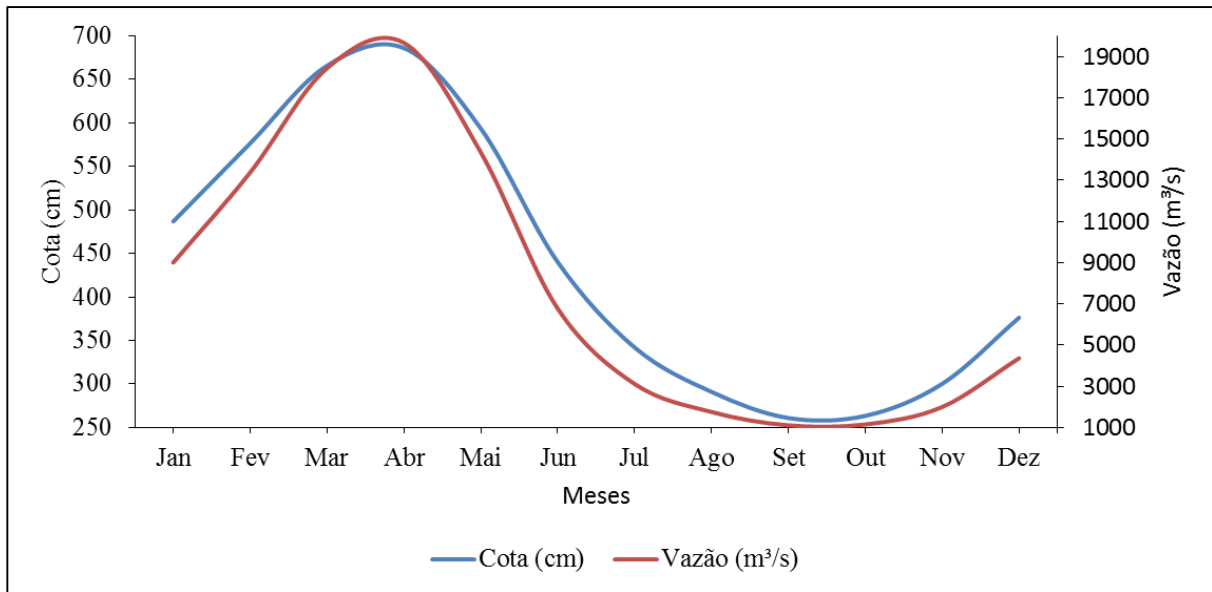
Figura 11 – Variabilidade interanual da cota e vazão no rio Xingu em Altamira - PA.



Fonte: Autor.

A figura 12 mostra a média (1985 a 2013) da variabilidade mensal de cota e vazão no posto fluviométrico de Altamira – PA. Em média, o mês de abril apresenta os valores máximos de cota (682 cm) e vazão (19527  $m^3/s$ ), a partir deste mês os níveis começam a cair, atingindo os valores mínimos de cota (260 cm) e vazão (1153  $m^3/s$ ) no mês de setembro.

Figura 12 – Média mensal da cota e vazão no rio Xingu em Altamira – PA.



Fonte: Autor.

### 4.3 Modelo de previsão hidrológica Xingu-Altamira

Após a comparação entre as médias mensais de precipitação pluviométrica acumuladas na bacia hidrográfica do rio Xingu (Figura 05), e as médias mensais de cota fluviométrica do rio Xingu na cidade de Altamira – PA (Figura 12), observou-se que em média, assim como constatado por Franco (2014), o período de resposta do nível médio mensal do rio Xingu em Altamira – PA, ocorre dois meses após a média mensal de precipitação acumulada na bacia.

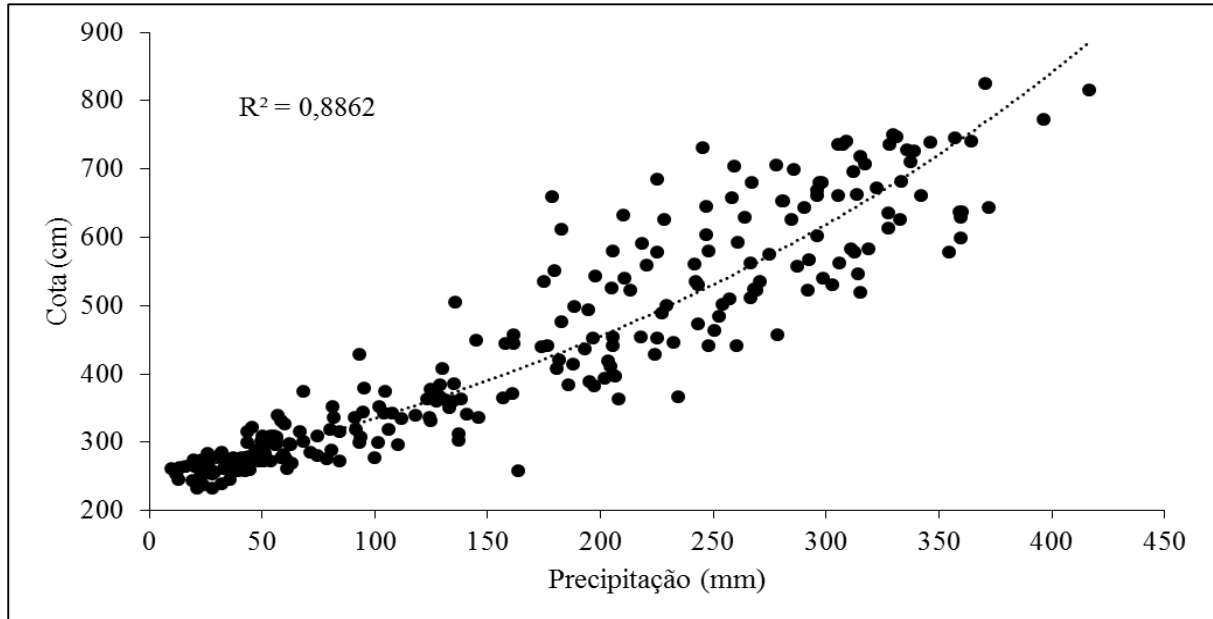
Essa relação fica mais evidente em uma análise conjunta da distribuição espacial mensal da precipitação pluviométrica na bacia do rio Xingu (Figura 06) com a média mensal da cota e vazão no rio Xingu em Altamira – PA. Podemos observar que a partir do mês de setembro, há o aumento gradual nos níveis pluviométricos na região do médio e alto Xingu, em resposta, há o aumento paulatino dos níveis fluviométricos em Altamira – PA. No mês de abril, onde ocorrem os valores máximos de cota e vazão, o médio e alto curso do Xingu apresentam menores valores de precipitação, entretanto o baixo curso apresenta valores mais elevados, culminando com a atuação da ZCIT.

Em maio, mesmo com a influência da ZCIT, os níveis fluviométricos iniciam sua queda, mostrando que a precipitação no médio e alto curso do Xingu tem maior influência nos níveis fluviométricos em Altamira – PA com atuação da ZCAS.

Assim, trabalhando com uma defasagem de dois meses entre as médias mensais de precipitação acumulada na bacia hidrográfica do rio Xingu e a média mensal da cota

fluviométrica do rio Xingu na cidade de Altamira – PA, no período de 1985 a 2005, obteve-se (calibrando pelo método de tentativas), através de uma regressão do tipo exponencial (Figura 13), a equação que apresentou o melhor coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,8862$ ) para a previsão da cota do rio Xingu em Altamira – PA.

Figura 13 – Regressão entre a média mensal da cota fluviométrica e precipitação média mensal acumulada na bacia do Xingu (1985 a 2005), para construção do modelo.



Fonte: Autor

A equação encontrada (Equação 8), realiza com dois meses de antecedência a previsão da média mensal da cota fluviométrica no rio Xingu, na cidade de Altamira – PA.

$$Y = 246.93e^{0.0031x} \quad (8)$$

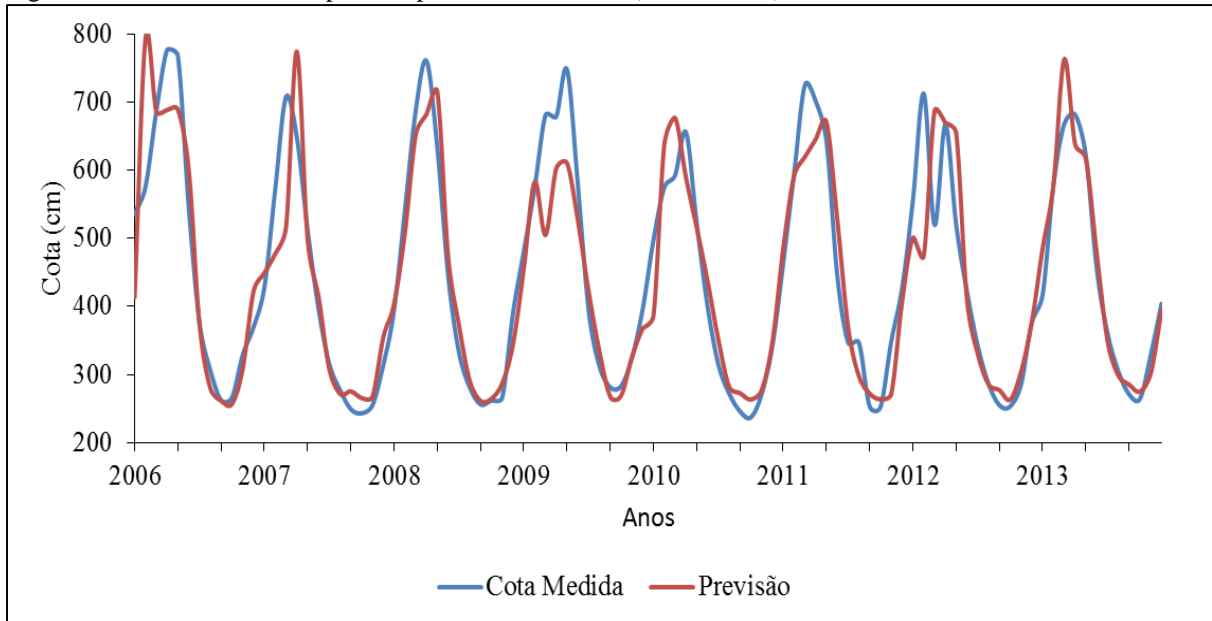
onde, Y representa a previsão da média mensal da cota fluviométrica (cm), com dois meses de antecedência; x representa o valor atual da média mensal de precipitação (mm) acumulada dentro da bacia hidrográfica.

Portanto o MOPHIXA realiza a previsão da cota média mensal do rio Xingu na cidade de Altamira – PA com dois meses de antecedência em função da média mensal de precipitação acumulada, ou seja, quando a entrada de dados de precipitação pluviométrica é do mês de fevereiro, o modelo fará a previsão da cota fluviométrica para o mês de abril.

Na fase de validação do MOPHIXA, comparou-se os resultados da previsão de cota média mensal com os dados medidos, no período de 2006 a 2013 (Figura 14). Segundo Wilks (2006), a validação avalia a qualidade das previsões definida pelo grau de similaridade entre as

observações e previsões. Para Collischonn (2001), no desenvolvimento de um modelo hidrológico deve-se incluir a avaliação do modelo nas tarefas as quais ele se destina, para verificar quanto os resultados previstos pelo modelo se aproximam da realidade observada.

Figura 14 – Cota observada e prevista para Altamira – PA (2006 a 2013).



Fonte: Autor.

As medidas de desempenho consideradas na validação apresentaram bons resultados, com o coeficiente de Nash-Sutcliffe apresentando valor de  $NS = 0,83$ , este valor em um modelo hidrológico, para Collischonn e Tucci (2001), é considerado adequado e bom, pois o valor supera  $NS = 0,75$ . O coeficiente de determinação apresentou o valor de  $R^2 = 0,86$ , segundo Moriasi et al. (2007), os valores acima de  $R^2 = 0,5$  são considerados como aceitáveis.

O modelo mostra bastante coerência nos resultados, confirmados pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe e de determinação mostrados anteriormente. O melhor resultado foi encontrado no ano de 2008, com  $R^2 = 0,93$  e  $NS = 0,94$  e o ano que apresentou resultado com menor coeficiente foi 2012, com  $R^2 = 0,72$  e  $NS = 0,62$ .

O ano de 2012 mostra que o modelo ainda precisa de alguns ajustes, principalmente no que se refere a ocorrência de eventos extremos de precipitação na região da bacia do Xingu. Outro fator que pode causar a grande diferença entre os dados medidos e previstos é a informação inconsistente dos dados de precipitação, que é a variável de importância no modelo. Como expõe Piscoya et al. (2013), devido a problemas de equipamento, erros do observador (falsas leituras de cotas pelo observador, erros de cópia, erro de metro, erro de complemento e

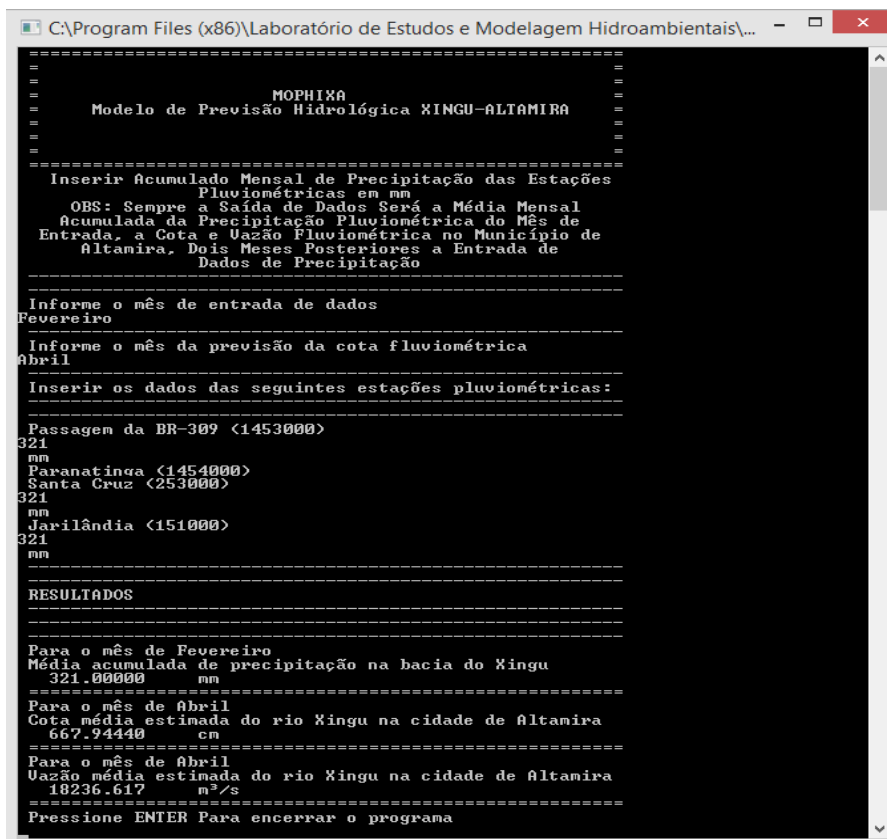
leitura errônea de cotas negativas, etc.) ou problemas na alimentação no banco de dados, podem levar a inconsistência dos dados pluviométricos e fluviométricos.

#### 4.4 Programa MOPHIXA

De acordo com Siqueira Júnior (2010), utilizando as medições (vazão, precipitação, etc.) realizadas por instituições como a ANA, torna-se possível realizar análise do ciclo hidrológico de determinada bacia hidrográfica. Como proposto por Ribeiro Neto (2006), uma forma de se obter a variação temporal dos processos hidrológicos em grandes bacias é por meio do uso de modelos matemáticos, que utilizam dados de precipitação como variável de entrada, gerando equações empíricas para a representação desses processos.

O Programa MOPHIXA (Figura 15) utiliza em seu script a média mensal das estações pluviométricas; a equação 8 para a previsão da cota fluviométrica, com dois meses de antecedência; a curva chave (Figura 09) para informar a vazão em função da cota fluviométrica prevista, ou seja, se a previsão de cota e vazão é para o mês de abril, os dados acumulados mensais de precipitação de cada estação, devem ser provenientes do mês de fevereiro.

Figura 15 – Interface do Programa MOPHIXA.



```

=====
MOPHIXA
Modelo de Previsão Hidrológica XINGU-ALTAMIRA
=====
Inserir Acumulado Mensal de Precipitação das Estações
Pluviométricas em mm
OBS: Sempre a Saída de Dados Será a Média Mensal
Acumulada da Precipitação Pluviométrica do Mês de
Entrada, a Cota e Vazão Fluviométrica no Município de
Altamira, Dois Meses Posteriores a Entrada de
Dados de Precipitação
=====
Informe o mês de entrada de dados
Fevereiro
=====
Informe o mês da previsão da cota fluviométrica
Abril
=====
Inserir os dados das seguintes estações pluviométricas:
=====
Passagem da BR-309 <1453000>
321
mm
Paranatinga <1454000>
Santa Cruz <253000>
321
mm
Jarilândia <151000>
321
mm
=====
RESULTADOS
=====
Para o mês de Fevereiro
Média acumulada de precipitação na bacia do Xingu
321.00000 mm
=====
Para o mês de Abril
Cota média estimada do rio Xingu na cidade de Altamira
667.94440 cm
=====
Para o mês de Abril
Vazão média estimada do rio Xingu na cidade de Altamira
18236.617 m³/s
=====
Pressione ENTER Para encerrar o programa

```

Fonte: Autor.

Além disso, foi criado um Setup (Figura 16) para o programa que permite o MOPHIXA ser instalado no sistema operacional Windows de qualquer versão.

Figura 16 – Instalador do MOPHIXA.



Fonte: Autor.

Para Andrade (2006), as populações são surpreendidas por eventos extremos, que causam danos diversos, e com um sistema de alerta antecipado é possível minimizar danos provocados por estes eventos.

Logo, foi possível construir um programa simples com a utilização do modelo de previsão da cota fluviométrica do rio Xingu na cidade de Altamira – PA. Este programa é de fácil manuseio, podendo ser utilizado pela defesa civil ou órgãos competentes, para gerar boletins de alerta, desde que haja os dados de entrada para rodar o programa.

## 5 CONCLUSÃO

O zoneamento da bacia do rio Xingu mostrou que umas das áreas que apresentam resultados mais significativos para os eventos de cheias e estiagens é a região Baixo Xingu, mais especificamente na cidade de Altamira – PA, onde o mês que ocorrem os eventos de cheia é abril e setembro é mês onde ocorrem os menores valores fluviométricos. Esses eventos ocorrem em resposta à sazonalidade da precipitação pluviométrica, onde a resposta fluviométrica é de aproximadamente dois meses após os eventos pluviométricos da bacia hidrográfica do rio Xingu.

As análises realizadas para as séries temporais de cota e vazão pelo método de tendência de Mann-Kendall mostraram que não há tendências significativas para mudanças de comportamento fluviométrico no período estudado (1985-2013) para o posto fluviométrico de Altamira.

Modelos para estimar e prever eventos hidrológicos extremos, principalmente na região amazônica, são ferramentas que auxiliam a resolução de um problema grave recorrente na Amazônia, o da baixa densidade de informação fluviométrica, tanto de cota como de vazão.

O modelo de previsão proposto (MOPHIXA) é exclusivo para a previsão fluviométrica na cidade de Altamira – PA, apresentando bom desempenho, tanto no coeficiente de Nash–Sutcliffe com 0,83 quanto no coeficiente de determinação com 0,86. Apresentando compatibilidade com os resultados obtidos por outros autores que empregam a estação de Altamira – PA como referência, local onde ocorre maior vulnerabilidade hidrológica, principalmente no contexto de cheias do rio Xingu.

Esses modelos são importantíssimos para entender a sazonalidade dos eventos de cheias e estiagem do rio Xingu, sendo fundamentais para poder dar subsídios ao processo de tomada de decisão na cidade de Altamira – PA.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. P. M. *Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas*. 2006. 99 f. Universidade de São Paulo, Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2006.
- BERVEGLIERI, A.; MENEGUETTE, M.; PITERI, M. A. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos, comparando-se os casos de isotropia e anisotropia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBSR, 2011. p. 7222-7229.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001. p. 177-241.
- BRANCO, O. E. de A. *Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade*. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-H%C3%ADrica.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução N° 11 de 2002. Adota a metodologia de Otto Pfafstetter de subdivisão e codificação de bacias hidrográficas. *Diário Oficial da União*. Brasília, Brasil, mar/2003.
- BREDA, Â. *Avaliação de melhorias para um sistema de previsão hidrológica horária*. 2008. 159 f. Universidade Federal do Paraná, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor Tecnológico, Curitiba, 2008.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
- CARVALHO, M. A. V. *Variabilidade da largura e intensidade da zona de convergência intertropical atlântica: aspectos observacionais e de modelagem*. 2011. 154 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), São José dos Campos, 2011.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A. (Org.). *Tempo de clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 95-125.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Orgs.). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. 176 p.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). *El Niño e La Niña*. Disponível em:< <http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. In: CHRISTOFOLETTI, A. (Org.). *Geomorfologia*, São Paulo: Edgard Blucher, 2006. p. 52-78.

COLLISCHONN, W. *Simulação hidrológica de grandes bacias*. 2001. 270 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 1, p. 95-118, 2001.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 4, p. 413-422, 2012.

COSTA, F. M. *Análise por métodos hidrológicos e hidroquímicos de fatores condicionantes do potencial hídrico de bacias hidrográficas – Estudo de casos no Quadrilátero Ferrífero – MG*. 2005. 147 f. Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais), Departamento de Geologia, Ouro Preto, 2005.

CRISTO, S.S.V. *Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina*. 2002. 211 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Florianópolis, 2002.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

DELGADO, R. C.; SOUZA, L. P.; RODRIGUES, R. A.; OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, R. S. Tendência climática de aumento da temperatura mínima e da pressão de saturação do vapor d'água na Amazônia Ocidental. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 14, p. 2584-2598, 2012.

FEARNSIDE, P. M. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's Hydroelectric Development of the Xingu River Basin. *Environmental Management*, v. 38, n. 1, p. 16-27, 2006.

FERRARI, A. L.; VECCHIA, F.; COLABONE, R. O. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 10, n. 1, p. 30-46, 2012.

FRANCO, V. S. *Previsão hidrológica de cheia sazonal na sub-bacia do rio Xingu e análise de vulnerabilidade social em Altamira-PA*. 2014. 68 f. Universidade Federal do Pará, Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Belém, 2014.

FRANCO, V. S.; SOUZA, E. B.; PINHEIRO, A.; DIAS, T. S. S.; AZEVEDO, F. T. M.; SANTOS, J. C. C. Evolução mensal da cota fluviométrica do Rio Xingu em Altamira-PA associada aos eventos El Niño e La Niña. *Ciência e Natura*, v. 37, ed. especial SIC, p. 104-10, 2015.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. *Hidrologia*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1988. 291p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: < www.ibge.gov.br >. Acesso em: 10 ago. 2014.

JAKOB, A. A. E. A Krigagem como método de análise de dados demográficos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., 2002. Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: ABEP, 2002. p. 1-21.

KAISER, I. M. *Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos*. 2006. 400 f. Universidade de São Paulo, Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2006.

KENDALL, M. G. *Rank correlation methods*. London: Charles Griffin, 1975. 272p.

LAPPONI, J. C. *Estatística usando Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 476p.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, F. D. S.; LUCIO, P. S. L. Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingu – Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 3, p. 308-322, 2009.

MACHADO, R. L.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, B. F.; CRUZ, E. S.; FRANCELINO, M. R. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro State, Brazil. *Bragantia*, v. 69, supl. p. 77-84, 2010.

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. *Econometrika*, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI JUNIOR, J. C.; MAGALHAES FILHO, L. N. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.

MATA-LIMA, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007.

MATO GROSSO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH). Resolução Nº 27 de 2009. Para a análise de disponibilidade hídrica dos corpos hídricos superficiais de domínio do Estado, será adotada, como vazão de referência, a  $Q_{95}$  (vazão de permanência por 95% do tempo). *Diário Oficial* do Estado de Mato Grosso em 18 de agosto de 2009.

MIRANDA NETO, J. Q. Reassentamento da população urbana diretamente afetada pelo empreendimento hidrelétrico de Belo Monte em Altamira-PA. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 2, n. 13, p. 43-57, 2014.

MIRANDA, R. A. C.; PEREIRA, F. R. Desenvolvimento de plataforma para monitoramento automatizado de dados termo-pluviométricos. *Geosul (UFSC)*, v. 26, n. 52, p. 129-144, 2011.

MOREIRA, I. A. *Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros*. 2005. 96 f. Universidade Federal do Paraná, Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Curitiba, 2005.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NOBRE, P.; MELO, M. L. D.; SANTANA, S. C.; MELO, A. B. C. Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 1142-1147.

OLIVEIRA, V. P.; MAFRA, M. V. P.; SOARES, A. P. A. Eventos climáticos extremos na Amazônia e suas implicações no Município de Manaquiri (AM). *Revista Geonorte*, edição especial 2, v. 1, n. 5, p. 977-987, 2012.

PARÁ. *Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável (PDRS) do Xingu*. Belém: Governo do Estado, 2010, 184 p.

PARÁ. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH). Resolução. Resolução N° 10 de 2010. Adota o padrão de vazão de referência para análise de disponibilidade hídrica superficial dos pedidos de outorga é a vazão com 95% (noventa e cinco por cento) de permanência. *Diário oficial* N°. 31770 de 11 de outubro de 2010.

PEREIRA, D. R.; MARTINEZ, M. A.; ALMEIDA, A. Q.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ZONTA, J. H. L. Hydrological simulation using SWAT model in headwater basin in Southeast Brazil. *Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 4, p. 789-799, 2014.

PEREIRA, V. R.; TEIXEIRA FILHO, J. Identificação das áreas susceptíveis aos processos erosivos em duas bacias do Sistema Cantareira por meio de diferentes cenários. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 1, p. 155-163, 2009.

PEREIRA FILHO, D. L. B.; SANTOS, I.; FILL, H. D. Sistema de ajuste e extrapolação de curva de descarga - STEVENS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003. Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBRH, 2003. p. 1-12.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. *Hidrologia básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2011. 278p.

PISCOYA, R.C.C.C.; LOPES, W. T. A.; LEMOS, G.M.; SILVA, L. R. S.; SILVA, M.C.A.M. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (Rios Solimões, Javari e Itaquai) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013. Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-8.

QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONCALVES, L. G. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012.

QUINTELA, A., PORTELA, M. A modelação hidrológica em Portugal nos últimos 25 anos do século XX nas perspectivas determinística, probabilística e estocástica. *Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 7-22, 2002.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. *Conceitos básicos de modelagem hidrológica*. Santa Maria: INPE, 2008. 59p.

RIBEIRO NETO, A. *Simulação hidrológica na Amazônia: Rio Madeira*. 2006. 178 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Instituto Alberto Luiz Coimbra, Rio de Janeiro, 2006.

SAMPAIO, F. P. R.; AGUIAR, D. G.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SCHOR, T. 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.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Análise das chuvas mensais em Alegrete (RS) no período de 1928- 2009: um estudo de tendência. *Revista Geonorte*, v. 1, n. 5, p. 844-854, 2012.

SANDER, C.; WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; MORAGA, C. E. M.; TEIXEIRA, J. F. S. Cheias do rio Branco e eventos de inundação na cidade de Boa Vista, Roraima. *Acta Geográfica*, v. 6, n. 12, p. 41-57, 2012.

SILVA, C. A.; MOREIRA, R. P.; HERRERA, J. A. Usina hidrelétrica de Belo Monte: o processo de des-reterritorialização na (i)mobilidade em Altamira/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7., 2014. Vitória. *Anais...* Vitória: AGB, 2014. p. 1-10.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.

SIQUEIRA JÚNIOR, J. L. Aplicação de um modelo hidrológico de macroescala na bacia do Rio Madeira. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE (SICINPE), 2010. São José dos Campos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2010. p. 1-27.

TOBLER, W. R. Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. *Journal of the American Statistical Association*, v. 74, p. n. 367, p. 519-530, 1979.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001. p. 573-620.

TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2005. 669 p.

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

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

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

WALTER, M. T.; WALTER M. F.; BROOKS E. S.; STEENHUIS T. S.; BOLL, J.; WEILER, K. R. Hydrologically sensitive areas: variable source area hydrology implications for water quality risk assessment. *Journal of Soil Water Conservation*, v. 55, n. 3, p. 277-284, 2000.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. *Journal de Hydrology*, v. 145, n. 3-4, p. 217-230, 1993.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. San Diego: Academic Press, 2006. 627p.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE A - SCRIPT DO MOPHIXA

PROGRAM MOPHIXA

IMPLICIT NONE

REAL :: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q

REAL :: R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF

REAL :: RESP, RESP1, RESP2, REXP, VAZ

INTEGER :: MES, MES2, JANEIRO, FEVEREIRO, MARCO, ABRIL, MAIO

INTEGER :: JUNHO, JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO

INTEGER :: DEZEMBRO, ENTER

```

PRINT*, '=====
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=
PRINT*, '=====

```

!Este modelo faz a previsão, com dois meses de antecedência da  
!cota Fluviométrica do rio Xingu, na estação do município de  
!de Altamira, baseado na m,dia mensal acumulada da Precipitação  
!na bacia hidrográfica do rio Xingu.

```

PRINT*, ' Inserir Acumulado Mensal de Precipitação das Estações '
PRINT*, '          Pluviométricas em mm '
PRINT*, ' OBS: Sempre a Saída de Dados Será a Média Mensal '
PRINT*, ' Acumulada da Precipitação Pluviométrica do Mês de '
PRINT*, ' Entrada, a Cota e Vazão Fluviométrica no Município de '
PRINT*, ' Altamira, Dois Meses Posteriores a Entrada de '

```

```

PRINT*, '                Dados de Precipitação                '
PRINT*, '-----'
PRINT*, '-----'

PRINT*, 'Informe o mês de entrada de dados'
print *,'1  JANEIRO'
print *,'2  FEVEREIRO'
print *,'3  MARÇO'
print *,'4  ABRIL'
print *,'5  MAIO'
print *,'6  JUNHO'
print *,'7  JULHO'
print *,'8  AGOSTO'
print *,'9  SETEMBRO'
print *,'10 OUTUBRO'
print *,'11 NOVEMBRO'
print *,'12 DEZEMBRO'
READ*, MES

JANEIRO=1
FEVEREIRO=2
MARCO=3
ABRIL=4
MAIO=5
JUNHO=6
JULHO=7
AGOSTO=8
SETEMBRO=9
OUTUBRO=10
NOVEMBRO=11
DEZEMBRO=12

PRINT*, '-----'
PRINT*, '-----'

```

PRINT\*, 'Inserir os dados das seguintes estações pluviométricas:'

PRINT\*, '-----'

PRINT\*, '-----'

PRINT\*, 'Passagem da BR-309 (1453000)'

READ\*, A; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Paranatinga (1454000)'

READ\*, B; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Fazenda Sete de Setembro (1352000)'

READ\*, C; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Estância Rodeio (1353001)'

READ\*, D; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Porto Roncador (1355001)'

READ\*, E; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Garapu (1352001)'

READ\*, F; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Fazenda Agrochapada (1354000)'

READ\*, G; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Agrovensa (1254001)'

READ\*, H; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Teles Pires (1255001)'

READ\*, I; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Núcleo Colonial Rio Ferro (1255002)'

READ\*, J; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Alô Brasil (1251000)'  
READ\*, K; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Santa Felicidade (1154001)'  
READ\*, L; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Suia Liquilândia (1152000)'  
READ\*, M; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Cachoeirão (1155000)'  
READ\*, N; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Espigão (1152001)'  
READ\*, O; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Riacho de Deus (1154005)'  
READ\*, P; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Vila São José do Xingu (1052000)'  
READ\*, Q; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Agropecuária Cajabi (1054000)'  
READ\*, R; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Fazenda Santa Emília (1053001)'  
READ\*, S; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'KM 947 BR-163 (855000)'  
READ\*, T; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'KM 1027 da BR-163 (655001)'  
READ\*, U; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Boa Esperança (651001)'

READ\*, V; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'KM 1130 BR-163 (555002)'

READ\*, W; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Rurópolis Presidente Médice (455004)'

READ\*, X; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Fazenda Estrala do Norte (350000)'

READ\*, Y; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Fazenda Cipauba (351002)'

READ\*, Z; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Brasil Novo (352005)'

READ\*, AA; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Irapuru (250002)'

READ\*, AB; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Itapêua do Pará (252001)'

READ\*, AC; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Areias (151002)'

READ\*, AD; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Santa Cruz (253000)'

READ\*, AE; PRINT\*, 'mm'

PRINT\*, 'Jarilândia (151000)'

READ\*, AF; PRINT\*, 'mm'

$RESP1=(A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K+L+M+N+O+P+Q+R+S+T+U+V+W+X+Y+Z)/26$

$RESP2=(AA+AB+AC+AD+AE+AF)/6$

```
RESP=(RESP1+RESP2)/2
REXP=(EXP(0.0031*RESP))*246.93
VAZ=((0.045*(REXP*REXP))+(0.609*REXP)-(2246.9))
```

```
PRINT*, '-----'
PRINT*, '-----'
PRINT*, 'RESULTADOS'
PRINT*, '-----'
PRINT*, '-----'
PRINT*, '-----'
```

```
IF (MES == 1) THEN
MES2=3
PRINT*, 'Para o Mês de Janeiro'
end if
```

```
IF (MES == 2) THEN
MES2=4
PRINT*, 'Para o Mês de Fevereiro'
end if
```

```
IF (MES == 3) THEN
MES2=5
PRINT*, 'Para o Mês de Março'
end if
```

```
IF (MES == 4) THEN
MES2=6
PRINT*, 'Para o Mês de Abril'
end if
```

```
IF (MES == 5) THEN
MES2=7
PRINT*, 'Para o Mês de Maio'
```

end if

```
IF (MES == 6) THEN
MES2=8
PRINT*, 'Para o Mês de Junho'
end if
```

```
IF (MES == 7) THEN
MES2=9
PRINT*, 'Para o Mês de Julho'
end if
```

```
IF (MES == 8) THEN
MES2=10
PRINT*, 'Para o Mês de Agosto'
end if
```

```
IF (MES == 9) THEN
MES2=11
PRINT*, 'Para o Mês de Setembro'
end if
```

```
IF (MES == 10) THEN
MES2=12
PRINT*, 'Para o Mês de Outubro'
end if
```

```
IF (MES == 11) THEN
MES2=1
PRINT*, 'Para o Mês de Novembro'
end if
```

```
IF (MES == 12) THEN
MES2=2
```

```
PRINT*, 'Para o Mês de Dezembro'  
end if
```

```
PRINT*, 'Média acumulada de precipitação na bacia do Xingu'  
PRINT*, RESP, 'mm'  
PRINT*, '====='
```

```
IF (MES == 1) THEN  
MES2=3  
PRINT*, 'Para o Mês de Março'  
end if
```

```
IF (MES == 2) THEN  
MES2=4  
PRINT*, 'Para o Mês de Abril'  
end if
```

```
IF (MES == 3) THEN  
MES2=5  
PRINT*, 'Para o Mês de Maio'  
end if
```

```
IF (MES == 4) THEN  
MES2=6  
PRINT*, 'Para o Mês de Junho'  
end if
```

```
IF (MES == 5) THEN  
MES2=7  
PRINT*, 'Para o Mês de Julho'  
end if
```

```
IF (MES == 6) THEN  
MES2=8
```

```
PRINT*, 'Para o Mês de Agosto'  
end if
```

```
IF (MES == 7) THEN  
MES2=9  
PRINT*, 'Para o Mês de Setembro'  
end if
```

```
IF (MES == 8) THEN  
MES2=10  
PRINT*, 'Para o Mês de Outubro'  
end if
```

```
IF (MES == 9) THEN  
MES2=11  
PRINT*, 'Para o Mês de Novembro'  
end if
```

```
IF (MES == 10) THEN  
MES2=12  
PRINT*, 'Para o Mês de Dezembro'  
end if
```

```
IF (MES == 11) THEN  
MES2=1  
PRINT*, 'Para o Mês de Janeiro'  
end if
```

```
IF (MES == 12) THEN  
MES2=2  
PRINT*, 'Para o Mês de Fevereiro'  
end if
```

```
PRINT*, 'Cota média estimada do rio Xingu na cidade de Altamira'
```

```
PRINT*, REXP, 'cm'
```

```
PRINT*, '====='
```

```
PRINT*, 'Vazão média estimada do rio Xingu na cidade de Altamira'
```

```
PRINT*, VAZ, 'm3/s'
```

```
PRINT*, '====='
```

```
PRINT*, 'Pressione ENTER Para encerrar o programa'
```