



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS (UFAM)  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA (ICET)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PARA RECURSOS AMAZÔNICOS (PPGCTRA)

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE SUB-BACIAS NA CALHA DO  
RIO SOLIMÕES/AMAZONAS UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS MODIS  
COMO DINÂMICA A ÁREAS INUNDÁVEIS

JACIEL DOS SANTOS SOUSA

ITACOATIARA-AM

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS (UFAM)  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA (ICET)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PARA RECURSOS AMAZÔNICOS (PPGCTRA)

JACIEL DOS SANTOS SOUSA

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE SUB-BACIAS NA CALHA DO  
RIO SOLIMÕES/AMAZONAS UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS MODIS  
COMO DINÂMICA A ÁREAS INUNDÁVEIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Christiano Luna Arraes

ITACOATIARA-AM

2017

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S725m Sousa, Jaciel dos Santos  
Mapeamento e caracterização de sub-bacias na calha do rio Solimões/Amazonas utilizando séries temporais MODIS como dinâmica à áreas inundáveis / Jaciel dos Santos Sousa. 2017 95 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Christiano Luna Arraes  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Precipitação . 3. Morfometria . 4. Inundação . I. Arraes, Christiano Luna II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

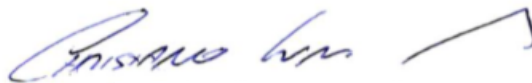
# JACIEL DOS SANTOS SOUSA

## MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE SUB-BACIAS NA CALHA DO RIO SOLIMÕES/AMAZONAS UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS MODIS COMO DINÂMICA A ÁREAS INUNDÁVEIS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

**Aprovado em 30 de junho de 2017.**

### BANCA EXAMINADORA



Dr. Christiano Luna Arraes,

Presidente

Universidade Federal do Amazonas



Dr. Gerlandio Suassuna Gonçalves

Universidade Federal do Amazonas



Dr. Rodrigo Biscaro Nogueira

Universidade Federal do Amazonas

**Ao meu Deus, à minha família, aos meus  
amigos e aos meus Professores!**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que permitiu acontecer tudo ao longo de minha vida, segundo o seu propósito, não somente nestes anos estudos, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À minha família por sempre ter confiado na minha capacidade de enfrentar os desafios que a vida proporciona para alcançar os objetivos, quero além de agradecer honra-los. Especialmente minha querida Mãezinha, por ter sido meu alicerce maior até aqui por meio das suas orações que Deus tem ouvido sempre.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. Especialmente meu orientador Dr. Christiano Luna Arraes pela paciência, dedicação e imenso conhecimento a mim transferido. Não poderia deixar de agradecer também a Dra. Fernanda, pela imensa contribuição, a Dra. Kátia (Embrapa), Dr. Gerson (UFV). Bem como aos membros da banca, Dr. Rodrigo Bísvaro e ao Dr. Gerlandio Suassuna, por terem enriquecido de forma extremamente positiva este trabalho.

A Universidade Federal do Amazonas e ao campus ICET, todo corpo docente do PPGCTRA, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas pelo financiamento do projeto e concessão da bolsa de estudos.

A todos os meus amigos, companheiros de laboratório, em especial Alan Lopes, irmãos na amizade que fizeram parte da desta caminhada e que irão continuar presentes em minha vida com certeza.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta conquista, o meu muito obrigado.

## *Epígrafe*

*“Os problemas enfrentados para fazer ciência na Amazônia são tão grandiosos quanto os seus 508 milhões de hectares”.*

*(Adaptado, Jeferson Peres)*

# MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE SUB-BACIAS NA CALHA DO RIO SOLIMÕES/AMAZONAS UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS MODIS COMO DINÂMICA A ÁREAS INUNDÁVEIS

## RESUMO

O estudo dos pulsos de inundação, em particular os que ocorrem nos rios da região Amazônica, possui importância socioeconômica, pois diversas cidades são alocadas em suas margens. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi mapear áreas de inundação, na calha do rio Solimões/Amazonas, na porção pertencente ao estado do Amazonas, baseando-se em séries temporais MODIS, dados pluviométricos e características fisiográficas das sub-bacias hidrográficas. Os resultados obtidos neste estudo foram: o mapeamento e a quantificação de áreas inundadas na calha do rio Solimões/Amazonas, para os meses de cheia na série temporal de 2001 a 2012; a validação dos dados de precipitação pluvial do modelo global ECMWF pelos dados pluviométricos de 14 estações meteorológicas físicas do INMET, para uma série temporal de dez anos (2001 a 2013); e, por fim, a caracterização morfométrica de sub-bacias hidrográficas para 16 municípios localizados na calha do rio Solimões/Amazonas. Apesar das limitações do sensor MODIS, o mapeamento da área de estudo resultou em 66 mapas correspondentes à série temporal de 2001 a 2012. Contudo, a área inundada apresentada no mapa não representa a área real da cheia para calha do rio Solimões/Amazonas e, sim, a captação de maior ou menor incidência de nuvens sobre os alvos em estudo. O modelo ECMWF apresentou correlação positiva e significativa, para as 14 localidades estudadas, podendo ser utilizado como uma alternativa para estudos de precipitação pluvial, em regiões com baixa densidade de estações meteorológicas físicas. A caracterização das sub-bacias mostrou que, de modo geral, elas podem ser classificadas como grandes, com respostas hidrológicas lentas.

**Palavras chaves:** Sensoriamento Remoto, Precipitação, Morfometria e Inundação.



## MAPPING AND CHARACTERIZATION OF SUB BASINS IN OF THE SOLIMÕES / AMAZON RIVER USING MODIS TIME SERIES AS A DYNAMIC TO FLOODING AREAS

### **ABSTRACT**

The study of flooding pulses, especially those that occur in the rivers of the Amazon region, has socioeconomic importance, given that many municipalities are allocated in their margins. Thus, the intent of the present study was to map the flooding areas in the channel of the Solimões/Amazonas river in the portion belonging to the state of Amazonas. The result was the mapping and quantification of the flooded areas in the channel of the Solimões/Amazonas River regarding the flood months of the temporal series from 2001 to 2012. Also as result was the validation of the rainfall data from the ECMWF global model using the rainfall data of 14 physical meteorological stations belonging to INMET, for a 10 year temporal series, from 2001 to 2013. Finally, it was possible to obtain the morphological characterization of the hydrographic sub-basins for 16 municipalities located in the channel of the Solimões/Amazonas River. Considering the limitations of the MODIS sensor with cloud interference, the mapping for the study area was done using 66 maps correspondent to the temporal series from 2001 to 2012. However, the area quantified as flooded does not represent the real flooded area for the channel of the Solimões/Amazonas River. Instead, it shows the capture of higher or lower incidence of clouds over the study targets. The ECMWF model presented positive and significant correlation for the 14 studied locations, and can be used as alternative for rainfall studies in regions with lower density of physical meteorological stations. The characterization of the sub-basins showed that, in general, they can be classified as large, with slow hydrological responses in the drainage process.

**Key-words:** Remote Sensing, Precipitation, Morphometry and Flooding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa da área de estudo com ênfase nos municípios e suas respectivas bacias hidrográficas de maior influência.....	27
Figura 2- Mapa de solos para o Estado do Amazonas.....	29
Figura 3 - Fluxograma das etapas de aquisição e processamento dos dados.....	30
Figura 4 - Segmentação do NDVI efetuada no software ENVI mostrando área não classificada e a área classificada como água para a data de 04 de setembro do ano 2005.....	33
Figura 5- Mapa da grade de pontos do modelo ECMWF para o Estado do Amazonas.....	34
Figura 6- Mapa das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do INMET no Estado do Amazonas.....	35
Figura 7- Mapa da grade ECMWF, EMC do INMET com destaque para a EMC de Tefé e seus vizinhos.....	36
Figura 8- Semivariograma, modelo Gaussiano.....	37
Figura 9- Mapa mostrando o MDE, a malha hidrográfica para todo o Estado, os Municípios de estudo e as bacias hidrográficas delimitadas.....	39
Figura 10- Precipitação pluvial mensal (mm) de 2001 a 2013: comparação entre ECMWF e EMCs nos 14 municípios avaliados.....	46
Figura 11- (a-n) Diagrama de dispersão para cada EMC estudada.....	48
Figura 12- (a) Média da precipitação total anual em mm e (b) média do erro anual (mm) para todas as EMCs.....	49
Figura 13- Mapa da bacia hidrográfica de Alvarães.....	50
Figura 14- Mapa da bacia hidrográfica de Amaturá.....	52
Figura 15- Mapa da bacia hidrográfica de Anamá.....	53
Figura 16- Mapa da bacia hidrográfica de Anori.....	55
Figura 17- Mapa da Bacia hidrográfica de Atalaia do Norte.....	56
Figura 18- Mapa da Bacia hidrográfica de Coari.....	57
Figura 19- Mapa da bacia hidrográfica de Codajás.....	59
Figura 20- Mapa da bacia hidrográfica de Fonte Boa.....	60
Figura 21- Mapa da bacia hidrográfica de Itacoatiara.....	61
Figura 22- Mapa da bacia hidrográfica de Jutáí.....	63
Figura 23- Mapa da bacia hidrográfica de Manacapuru.....	64
Figura 24- Mapa da bacia hidrográfica de Manaus.....	65
Figura 25- Mapa da bacia hidrográfica de São Paulo de Olivença.....	67

Figura 26- Mapa da bacia hidrográfica de Tefé.....	68
Figura 27- Mapa da bacia hidrográfica de Tonantins.....	69
Figura 28- Mapa da bacia hidrográfica de Uarini.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Alvarães.....	51
Tabela 2- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Amaturá.....	52
Tabela 3- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Anamã.....	54
Tabela 4- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Anori.....	55
Tabela 5- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Atalaia do Norte.....	56
Tabela 6- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Coari.....	58
Tabela 7- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Codajás.....	59
Tabela 8- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Fonte Boa.....	60
Tabela 9- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Itacoatiara.....	62
Tabela 10- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Jutaí.....	63
Tabela 11- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Manacapuru.....	64
Tabela 12- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Manaus.....	66
Tabela 13- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de São Paulo de Olivença.....	67
Tabela 14- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Tefé.....	68
Tabela 15- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Tonantins.....	70
Tabela 16- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Uarini.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA- Agência Nacional de Águas  
CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EMC- Estações Meteorológicas Convencionais  
ECMWF- *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*  
ESRI- *Environmental Systems Research Institute*  
EVI- *Enhanced Vegetation Index*  
EXELIS- *VIS Visual Information Solutions Exelis*  
EM- Erro Médio  
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INMET- Instituto Nacional de Meteorologia  
JRC- *Joint Research Centre*  
JERS- *Japanese Earth Resources Satellite*  
LSWI- *Land Surface Water Index*  
MDE- Modelo Digital de Elevação  
MODIS- *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*  
NDVI- *Normalized Difference Vegetation Index*  
NDWI- *Normalized Difference Water Index*  
NASA- *National Aeronautics and Space Agency*  
REMQ- Raiz do Erro Médio Quadrático  
RDSM- Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá  
SAD\_69- *South American Datum 1969*  
SAR- *Synthetic Aperture Radar*  
SiBCS- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos  
SIG- Sistema de Informação Geográfica  
SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*  
TM- *Thematic Mapper*  
WGS 84- *World Geodetic System 1984*

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	15
1.2 Objetivo geral.....	18
1.2.1 Objetivos específicos.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	20
2.1 Pulso de inundação e o Sensoriamento Remoto.....	20
2.2 ECMWF e Estações Meteorológicas Convencionais do INEMT.....	22
2.3 Parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas.....	24
3. METODOLOGIA .....	27
3.1 Caracterização da área de estudo.....	27
3.2 Clima.....	28
3.3 Solos .....	28
3.4 Procedimentos metodológicos.....	29
3.5 Aquisição e processamento digital das imagens.....	30
3.5.1 Delimitação das superfícies inundadas.....	30
3.6 Aquisição dos dados pluviiais ECMWF e INMET.....	32
3.7 Interpolação dos dados de precipitação.....	35
3.8 Validação dos dados do ECMWF com dados das EMC/INMET.....	36
3.9 Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas.....	37
3.9.1 Parâmetros Morfométricos das bacias hidrográficas.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Mapeamento das áreas inundadas.....	42
4.2 Precipitação.....	43
4.3 Morfometria das sub-bacias hidrográficas.....	49
5. CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXO I .....	83
ANEXO II .....	91



**UFAM**

## 1. INTRODUÇÃO

O pulso de inundação, observado em rios de grande porte como o Solimões/Amazonas, que é resultado do somatório das chuvas de toda a sua bacia de drenagem, do degelo anual do verão andino, além de fenômenos atmosféricos como *el niño e la niña*, é responsável pela complexidade sazonal dos ecossistemas aquáticos da região Amazônica (JUNK *et al.* 1989).

Áreas inundáveis associadas aos grandes rios da Amazônia podem chegar a um total de 350.000 km<sup>2</sup>, sendo que apenas a bacia de drenagem do Solimões/Amazonas inunda periodicamente cerca de 200.000 km<sup>2</sup> (JUNK, 1993), representando o maior sistema hidrológico de água doce do planeta. A inundação sazonal do rio Solimões/Amazonas pode causar uma elevação no nível da água de 10 a 12 metros, dependendo do ano, atingindo na Amazônia Central sua máxima inundação, aproximadamente, nos meses de junho-julho e o período de vazão mínima de outubro-novembro (AYRES, 1995; PIEDADE *et al.* 2000).

A área inundada pelo complexo Solimões/Amazonas e seus afluentes mais que triplica durante as estações do ano. Em média, na estação seca, cerca de 110.000 km<sup>2</sup> ficam submersos, enquanto na estação da cheia esta área chega a ser de 350.000 km<sup>2</sup> (SMITH; NIGEL, 2002). Baseado nos atributos ecossistêmicos e nas peculiaridades relatadas pelos autores supracitados pode-se inferir que o complexo hidrológico Solimões/Amazonas se mostra uma área estratégica e promissora, para estudos científicos, uma vez que o conhecimento sobre seus ciclos biogeoquímicos e hidrológicos ainda é limitado.

De acordo com Reis *et al.* (2014), a inundação ou cheia é um dos eventos naturais recorrentes, principalmente em locais de várzea. Estes eventos de inundações representam 55% de todos os desastres mundiais e cerca de 73% do total das perdas econômicas. Neste contexto, o estudo dos pulsos de inundação, em particular, os que ocorrem no rio



Solimões/Amazonas são de suma importância, uma vez que diversas cidades estão alocadas em suas margens.

Diante desta problemática, o sensoriamento remoto é apresentado como uma ferramenta a mais, no que tange ao trabalho de levantamento e monitoramento de eventos naturais extremos como as grandes enchentes. Dentre os trabalhos que utilizaram técnicas de sensoriamento remoto aplicado a estudos de ecossistemas sujeitos a inundação sazonal na Amazônia, podem-se citar alguns trabalhos, como Novo *et al.* (1997), que utilizaram dados do sensor TM (*Thematic Mapper*), para avaliação de ecossistemas alagáveis na Amazônia; Shimabukuro *et al.* (1998), que elaboraram com cenas Landsat-5 o mosaico da região da planície do rio Amazonas escala regional; Barbosa *et al.* (2000), com dados JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*), por meio de sensores SAR (*Synthetic Aperture Radar*), implementaram a máscara da planície sujeita à inundação; Palha *et al.* (2003) com imagens TM e JERS classificaram em seis classes de cobertura da terra os ecossistemas alagáveis na Amazônia central; e Barbosa *et al.* (2003), utilizando dados de campo, caracterizaram de forma espectral as massas de água na Amazônia, a partir de espectros de campo coletados em 144 estações amostrais.

Em trabalhos realizados no Pantanal, Padovani *et al.* (2003, 2005, 2010) relataram, em seus estudos, que sensores como o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) podem ser apresentados como uma ferramenta para obtenção de dados da dinâmica de inundação e, por mais que seja uma tecnologia recente, já é muito utilizada para viabilizar o uso de índices de vegetação como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), produtos deste sensor, na detecção das áreas inundáveis e para estudos de vegetação.

Zarista (2013) realizou o monitoramento da dinâmica de inundação do Pantanal com uso de índices EVI e LSWI (*Land Surface Water Index*) do sensor MODIS. Este autor aferiu

o desempenho dos índices LSWI e EVI, a fim de monitoramento da inundação em um Sítio de Amostragem no Pantanal Norte, avaliando a influência da densidade da cobertura vegetal e do nível de confiabilidade (*Pixel-Reliability*) sobre a capacidade de separar as áreas inundáveis das não inundáveis.

Com base nos estudos supracitados, observa-se que o MODIS não é o único sensor orbital capaz de observar os alvos da superfície terrestre, mas ele possui algumas características que o tornaram ímpar em aplicações diversas (INPE, 2009). A frequência diária de imageamento de todo o globo terrestre e a presença de um sofisticado procedimento, para correção atmosférica das imagens, são características que dão destaque ao sensor MODIS (ARAI; FREITAS; 2007).

No tocante aos sensores passivos disponíveis, o MODIS é recomendado por ser um dos mais adequados ao estudo de grandes áreas inundáveis como a bacia do rio Solimões/Amazonas, tendo em vista a largura da faixa imageada (2330 km), que permite a observação de uma grande área numa única apontada, a frequência de revisita que aumenta a probabilidade de aquisição de dados sem cobertura de nuvem e a resolução espacial de 250 m, compatível com a dimensão dos rios da planície amazônica (JENSEN, 2000).

Outro fator importante que tornou o uso das imagens MODIS mais popular, para observação da Terra, foi a gratuidade das imagens e uma série de produtos disponibilizados associados a este sensor (LATORRE *et al.* 2007), como é o caso do índice de área foliar (IAF) (ARAGÃO; SHIMABUKURO; *et al.* 2007), assim também como outros índices, a exemplo do NDVI e EVI, os quais, apesar de serem índices de vegetação, também podem ser utilizados para a identificação e delimitação de superfícies inundáveis.

Dessa forma, o presente estudo buscou realizar o mapeamento de áreas de inundações, por meio de tecnologias de imageamento orbital, utilizando, para isso, uma série temporal de

12 anos do sensor MODIS, acoplado à plataforma Terra, permitindo delimitar e caracterizar as sub-bacias hidrográficas do complexo Solimões/Amazonas, além de agregar informações com os parâmetros morfométricos das sub-bacias hidrográficas. O estudo contou, ainda, com auxílio de dados de precipitação pluvial do modelo global meteorológico ECMWF e das estações meteorológicas convencionais EMCs (Estações Meteorológicas Convencionais) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) que foram aplicados, no mapeamento das áreas inundáveis, para as principais cidades alocadas às margens do rio Solimões/Amazonas.

Considerando a contextualização do estudo, levantaram-se as seguintes hipóteses:

- I. Imagens orbitais podem ser utilizadas como ferramentas em monitoramento de eventos extremos como as cheias no rio Solimões/Amazonas.
- II. O NDVI pode ser utilizado, para contribuir no mapeamento de áreas inundadas, mesmo sob floresta densa como do rio Solimões/Amazonas.
- III. O modelo ECMWF pode contribuir no levantamento dos dados de precipitação pluvial da área de estudo.
- IV. Características fisiográficas das sub-bacias hidrográficas podem influenciar no pulso de inundação dos municípios de estudo.

## **1.2. Objetivo geral**

Mapear áreas de inundação na calha do rio Solimões/Amazonas, baseando-se em séries temporais MODIS, dados pluviométricos e características fisiográficas das sub-bacias hidrográficas.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- I. Gerar o banco de dados com imagens MODIS referente ao rio Solimões/Amazonas para os anos de 2001 a 2012.
- II. Delimitar superfícies inundáveis na calha do rio Solimões/Amazonas para os anos de 2001a 2012.
- III. Gerar mapas de precipitação pluvial com dados do modelo global ECMWF e validá-los a partir dos dados observados nas EMCs/INMET.
- IV. Delimitar as Sub-bacias hidrográficas utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE-SRTM).
- V. Calcular os parâmetros morfométricos para as sub-bacias hidrográficas da área de estudo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Pulso de inundação e o Sensoriamento Remoto

Conforme Junk (1989), o pulso de inundação refere-se à dinâmica dos sistemas alagáveis da Amazônia, baseado nas áreas inundáveis. Este conceito pode ser aplicado, na sazonalidade destas inundações, levando em consideração trocas entre o rio e a planície, (cheias e secas), na respectiva área de inundação. Assim, entende-se que áreas inundáveis na Amazônia são aquelas que recebem aporte dos rios, lagos, precipitação direta na sua bacia hidrográfica e do próprio lençol freático.

Em razão das trocas, características entre o rio e a planície de inundação Amazônica, fazem-se necessárias pesquisas como a de Da Silva *et al.* (2005) que, com aplicações de técnicas de sensoriamento remoto, estimaram a área de expansão dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Amazonas na dinâmica do pulso de inundação.

Da Silva *et al.* (2005) estudaram a área de expansão de lagos, em função do pulso de inundação e da dinâmica sazonal do rio Amazonas. Estes autores, por meio das técnicas de sensoriamento remoto, utilizando cenas do mosaico JERS-1(radar), com resolução espacial de 100 m e cenas do sensor MODIS/Terra - produto MOD09 (reflectância da superfície), com resolução espacial de 250 m, aplicaram segmentação “crescimento de regiões” conforme descrito em Barbosa *et al.* (2000). A partir dos produtos de sensoriamento remoto e das técnicas aplicadas na metodologia, encontraram, para a época de cheia (maio a agosto), uma área aproximada de 6.267,73 km<sup>2</sup> e, para a seca que se estendeu de agosto – setembro, uma área de 5.115,28 km<sup>2</sup>.

Jardim-lima *et al.* (2005) também quantificaram a área de inundação dos lagos da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM), quanto ao pulso de inundação característico da Amazônia Central, a partir da aplicação de técnicas de sensoriamento

remoto, nas quais utilizaram oito imagens do sensor TM (Landsat 5) de 24/08/95 e 03/08/99, referentes ao intervalo de tempo entre maior seca e a maior cheia ocorridas, respectivamente, em 1995 e 1999. Aplicando metodologias como as técnicas de restauração de imagens, descritas por Fonseca *et al.* (1993), as cenas utilizadas foram 001-62 pertencentes ao mosaico Solimões/Amazonas (SHIMABUKURO *et al.* 2002).

Para quantificar a inundação, Jardim-lima *et al.* (2005) aplicaram o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), que é usado para delinear ambientes de águas abertas como lagos, conforme metodologia descrita em Mcfeeters (1996). As imagens foram normalizadas  $((TM2+TM4)/(TM2-TM4))$  para obtenção do índice NDWI nas datas referentes ao período de seca e cheia (24/08/95 e 03/08/99, respectivamente). O resultado da pesquisa foi a quantificação da área de inundação de 37 lagos na Área da RDSM.

Moraes *et al.* (2013) avaliaram a precipitação e sua influência nas áreas inundadas no Pantanal, utilizando os dados de sensoriamento remoto TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e dados do MODIS, com o intuito de avaliar, espacializar e comparar a influência da precipitação, no pulso de inundação no Pantanal; assim elaboraram mapas da distribuição de precipitação mensal comparando seu comportamento frente às áreas inundadas. Com base neste estudo, concluíram que o uso de imagens de satélites permite monitorar o regime de precipitação e o pulso de inundação. Todavia, os resultados desta pesquisa mostraram que o comportamento da precipitação pluvial não foi proporcional à área de inundação, pois a precipitação, para a região da pesquisa, explica apenas 53% do pulso incidente no Pantanal.

Padovani (2010) relata que Hallum (1993) já descrevia o Sensoriamento remoto como uma ferramenta que surgiu para aumentar a capacidade de se obter informações sinópticas mais precisas de forma atualizadas nos eventos extremos como cheias. De acordo com Holpe (1995), o sensoriamento remoto é uma alternativa de baixo custo para monitorar

grandes ecossistemas sujeitos a alterações futuras como a Amazônia, o que não seria possível, muito menos viável executar tais estudos, a nível de campo.

Padovani (2010) utilizou o produto MOD13Q1 (*Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI)), com resolução espacial de 250m, resolução temporal de 16 dias, com quatro bandas espectrais (azul, vermelho NIR e MIR), para monitoramento de inundação, aplicando métodos de quantificação de água, para uma série temporal de dez anos, em 25 sub-regiões do Pantanal. O mesmo autor relata que, mesmo com as limitações do sensor, em relação à cobertura de nuvens, ainda assim encontrou boa concordância entre os mapas de frequência de inundação, os mapas de vegetação e solos. Com isso, foi possível estimar cenários passados de inundação, baseados na relação entre a área total de inundação no pantanal e o nível do rio Paraguai.

Zarista (2013) confirma a eficácia dos índices EVI e LSWI, ao empregá-los no monitoramento da dinâmica de inundação do Pantanal, com os quais alcançou acertos entre 79,95% e 84,56% para EVI e LSWI, respectivamente. Com estes índices, este autor conseguiu confeccionar o mapa de inundação, a partir da classificação por Regressão Logística das 23 imagens do ciclo hidrológico do Pantanal, mostrando que as primeiras áreas inundadas estavam ao Norte e em áreas mais altas da planície e que essas inundações foram causadas por eventos locais de precipitação.

## **2.2 ECMWF e Estações Meteorológicas Convencionais do INEMT**

O regime de chuvas ou precipitação pluvial é uma das variáveis determinantes do clima na Amazônia. Este regime de pluviosidade é um dos responsáveis pela divisão das estações características das cheias e secas na região Amazônica (FISCH *et al.*, 1998 *apud* De ALMEIDA 2015).

Dados meteorológicos oriundos de satélites como o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) da NASA (*National Aeronautics and Space Agency*) (KUMMEROW *et al.* 2000) e o modelo ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*) com dados globais, em uma grade de 0,25 graus ( $\pm 25 \times 25$  km) e disponibilizados, gratuitamente, no website deste centro, podem ser uma solução, desde que tenha seus dados validados por correlação com dados das estações terrestres físicas convencionais (JOHANN *et al.* 2012).

O monitoramento pluviométrico de uma região continental como a Amazônia demanda uma densidade considerável de pluviômetros, bem distribuídos geograficamente de forma estratégica, para que se possa cobrir a maior extensão territorial possível, uma vez que as leituras destes equipamentos são efetuadas *in loco*. Caso contrário não serão fornecidos dados suficientes que representem toda a região (KIDDER, 1995).

Nobre *et al.* (2009) declaram que a região Amazônica, por ser muito grande e de difícil acesso, apresenta baixa densidade de estações meteorológicas convencionais e automáticas, fator este que pode causar incertezas no entendimento dos processos relativos à dinâmica do clima e sua variação espacial, além de existir uma grande falha nos dados destas estações; segundo estes autores, isso pode causar prejuízo nas análises espaço-temporais da variação climática da região.

Neste contexto, verifica-se a importância de estudos como o de Almeida *et al.* (2015), que com dados do sensor TRMM e seu produto 3B43 (algoritmo de estimativa de precipitação), avaliaram a estimativa de precipitação, para o Estado do Amazonas. Nessa pesquisa, os autores correlacionaram dados de uma série temporal de 2004 a 2008 do produto 3B43 com dados de sete Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do INMET. A correlação foi baseada no Erro Médio (EM), Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), coeficiente de correlação linear ( $r$ ) e índice de concordância de Wilmott ( $d$ ). Com essa metodologia, eles concluíram que dados de satélite podem ser utilizados, para estimar a



variação de precipitação, uma vez que o produto 3B43 apresentou forte correlação com os dados das EMC's de superfície, representando bem a variabilidade espacial das chuvas no Estado do Amazonas.

Moraes *et al.* (2012) também utilizaram dados do modelo global ECMWF, para simular a precipitação e a temperatura do ar no estado de São Paulo, no período de 2005 a 2010, com intuito de verificar a acurácia dos dados do ECMWF, validados por 33 estações físicas convencionais. Para isso, empregaram metodologia similar à descrita por Almeida *et al.* (2015). Seus resultados corroboraram para utilização de dados de satélites e estimar tanto variação de precipitação quanto de temperatura.

Outros estudos também corroboraram com essa abordagem: (SERIO *et al.* 2006), na Argentina, compararam dados do ECMWF com de estações terrestres, (DEPPE *et al.*, (2006; 2007) utilizaram métodos de comparação dos dados de precipitação do modelo ECMWF com dados de 38 estações físicas, no Paraná. Em seus resultados estes relataram que, no período de comparação, houve correlação entre os dados estimados (ECMWF) e os observados nas estações físicas no Estado do Paraná.

### **2.3 Parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas**

Para o estudo do gerenciamento de bacias hidrográficas, é preciso primeiramente conhecer suas características morfométricas, tais como: forma da bacia, área, perímetro, rede de drenagem, solo, relevo, dentre outros inúmeros elementos necessários ao conhecimento do regime hidrológico e suas variações (VILELA; MATTOS, 1975).

Com o fim de compreender as correlações existentes entre esses fatores de formação e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, faz-se necessário quantificar suas características fisiográficas, pois, nestes reservatórios naturais, os recursos hídricos podem

predizer sobre as condições dos ecossistemas, no que diz respeito aos efeitos do seu ciclo hidrológicos como o pulso de inundação e as vazantes (SOUZA *et al.*, 2002).

Em consequência deste caráter agregador, nas interações dos fatores físicos e ambientais, Guerra e Cunha (1996) comentaram que as bacias hidrográficas podem ser consideradas excelentes unidades gestoras dos elementos naturais como as inundações e sociais por detectar as mudanças antrópicas e as respectivas respostas do meio ambiente. Os mesmos autores ainda indicam que, em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica, também é utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, o que é possível compatibilizar os muitos usos e interesses pela água, de forma a garantir sua qualidade e quantidade deste bem natural.

Compreende-se que a caracterização de uma bacia hidrográfica é um dos principais procedimentos executados, em análises hidrológicas, que podem ser fator de influência nas inundações das áreas de abrangências destas bacias hidrográficas. Para essas análises, têm sido utilizadas informações de relevo que até pouco tempo foram em formato analógico, como cartas e mapas, o que acarretava o comprometimento da confiabilidade dos resultados pelo fato de serem métodos manuais com respostas, às vezes, subjetivas.

De Souza *et al.* (2007) caracterizaram a bacia hidrográfica do Alto Rio Jamanxim, no Estado do Pará, com objetivo de delimitar, caracterizar e codificar as sub-bacias que formam a bacia do Rio Jamanxim. Na realização do estudo, utilizaram dados das “ottobacias”, que são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas, segundo o método de Otto Pfafstetter, para classificação de bacias modelo digital de elevação (MDE) e, ainda, imagens do satélite Landsat-5 sensor TM. Em seus resultados, encontraram nove “ottobacias” as quais foram delimitadas e caracterizadas; a bacia Alto Rio Jamanxim apresentou uma área de 5.867,5 km<sup>2</sup> e, dentre as sub-bacias, a menor área de drenagem encontrada foi 216 km<sup>2</sup> e a maior foi 1.445 km<sup>2</sup>.

Dos Santos *et al.* (2012) caracterizaram duas sub-bacias hidrográficas, em Campos do Jordão e sua pesquisa levou considerou características de parâmetros geométricos como relevo, rede de drenagem e ainda análises como uso e ocupação do solo. Para isso, os parâmetros determinados foram área, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, densidade hidrográfica, número de canais de 1ª ordem e o comprimento do eixo da bacia. Tendo avaliado esses parâmetros, os autores chegaram aos resultados de que as sub-bacias Perdizes e Fojo têm, respectivamente, média e alta capacidade de formar novos cursos d'água, baseados nos valores dos índices de circularidade e fator de forma as duas bacias não estão sujeitas a enchentes.

Da Silva *et al.* (2013) também fizeram estudos de caracterização física de duas bacias hidrográficas em Manaus-AM. As bacias estudadas foram: a do Tarumã-Açu e a do Puraquequara. Em sua metodologia, utilizaram modelos digitais de elevação com auxílio de programas computacionais como ArcGis 9.2®, além de fórmulas empíricas, para cálculo de parâmetros fisiográficos, como fator de forma, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, área e perímetro das duas bacias. Em seus resultados, estes autores constataram que essas bacias podem ser classificadas como grandes, pois ambas possuem áreas superiores a 1.000 km<sup>2</sup>; essas bacias têm pouca tendência a enchentes por suas formas geométricas alongadas e, em relação à densidade de drenagem, ambas são classificadas como pobres (VILELLA; MATTOS 1975), portanto estas bacias tendem a apresentar uma resposta hidrológica lenta, pelo fato de o caminho que a água da chuva terá que percorrer ser maior.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Solimões/Amazonas, segundo dados da Agência Nacional de Águas- ANA (2015). Esta malha hidrográfica abrange vários países da América do Sul, como Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana Francesa (0,2%). Sendo assim, a área de estudo é uma faixa da planície de inundação do rio Solimões/Amazonas, que banha 24 municípios do Estado do Amazonas, sendo eles: Alvarães, Amaturá, Anamá, Anori, Atalaia do Norte, Benjamin Constant, Careiro da Várzea, Coari, Codajás, Fonte Boa, Iranduba, Itacoatiara, Jutai, Manacapuru, Manaquiri, Manaus, Parintins, Santo Antônio do Içá, São Paulo de Olivença, Tabatinga, Tefé, Tonantins, Uarini e Urucurituba (Figura 1).

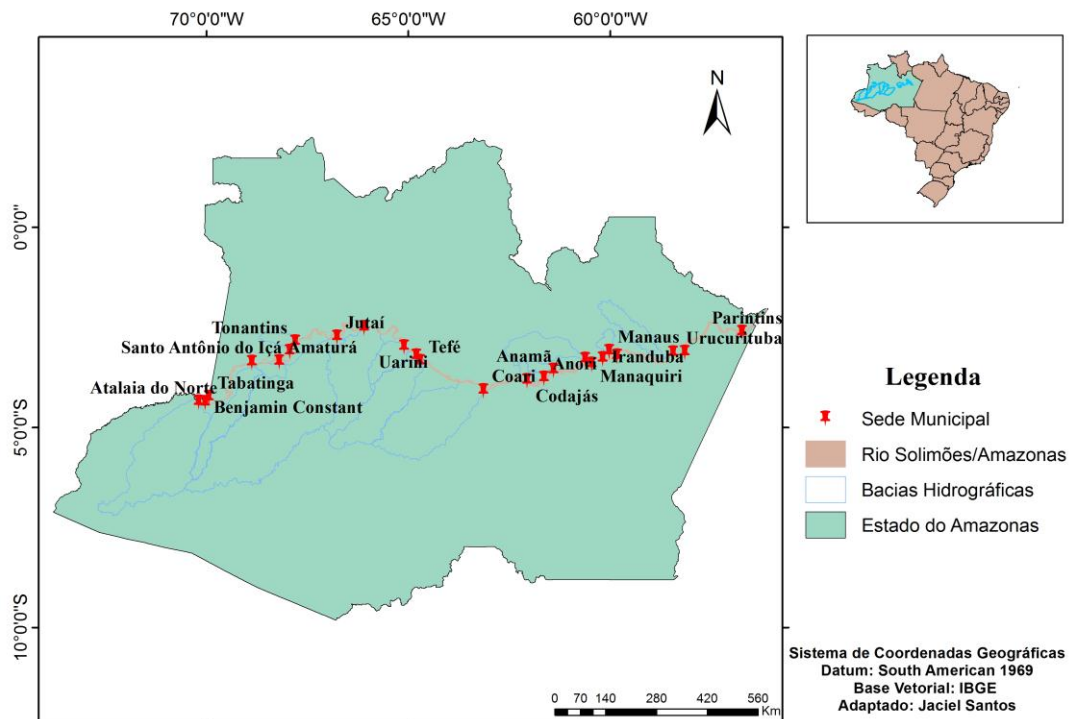


Figura 1- Mapa da área de estudo com ênfase nos municípios e suas respectivas bacias hidrográficas de maior influência.

### 3.2 Clima

Pela classificação climática de Köppen, o clima predominante nesta região é (Af) clima equatorial úmido, ocorrência de precipitação, em todos os meses do ano, inexistência de estação seca definida com temperaturas frequentemente superiores a 22°C. Para Fisch *et al.* (1998), esta região tem precipitação média anual de, aproximadamente, 2300 mm, embora, em algumas regiões de fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela, a precipitação atinja até 3500 mm/ano.

### 3.3 Solos

Conforme dados do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (EMBRAPA, 2006), as classes de maior predominância, na região, são: Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura argilosa ou muito argilosa, Latossolo Amarelo Distrófico com textura arenosa, Latossolo Amarelo Distrófico com textura argilosa média, Latossolo Amarelo Distrófico com textura argilosa ou muito argilosa e Neossolo Flúvico de atividade alta eutrófico muito argiloso (Figura - 2).

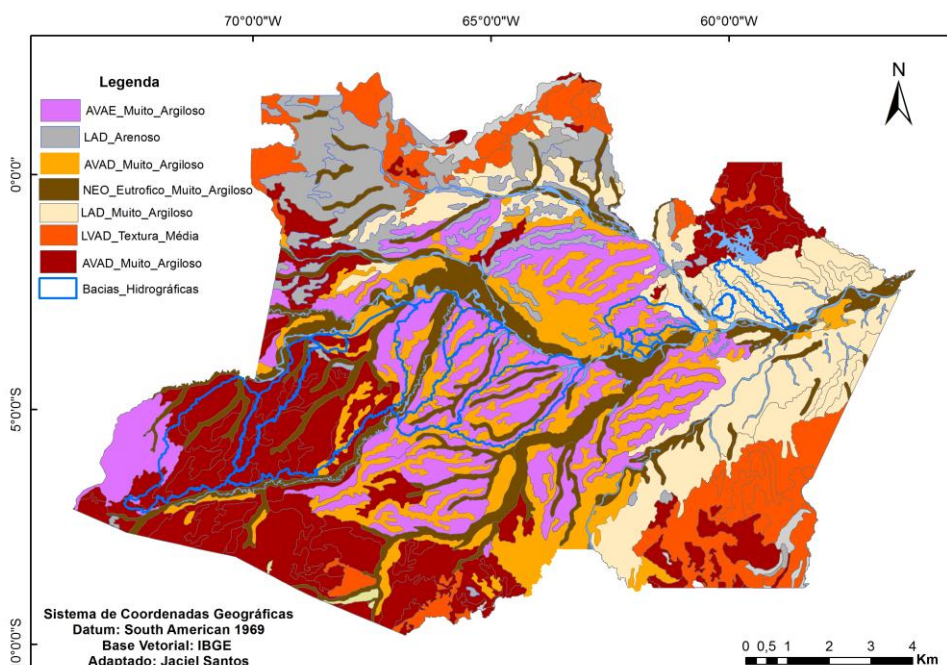


Figura 2- Mapa de solos para o Estado do Amazonas.

### 3.4 Procedimentos metodológicos

Na Figura 3 é apresentado o fluxograma das principais atividades executadas como aquisição e processamento das imagens, aquisição e processamento dos dados de precipitação bem como aquisição e processamento do MDE para delimitação e caracterização das sub-bacias hidrográficas.

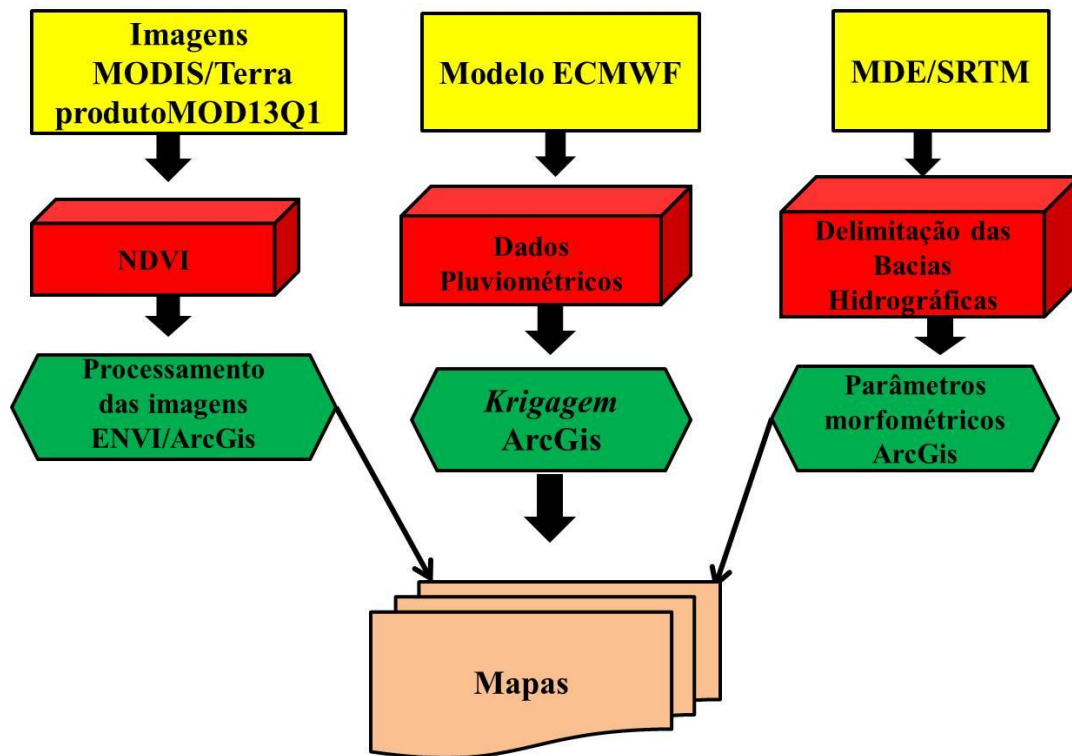


Figura 3- Fluxograma geral das atividades executadas na dissertação

### 3.5 Aquisição e processamento digital das imagens

Os dados espectrais, utilizados neste estudo, referentes a uma série temporal de 2001 a 2012 são oriundos do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, produto MOD13Q1 (MODIS/Terra *Surface Reflectance* 8- Day L3 Global 250m ISIN Grid). Este produto foi adquirido, gratuitamente, no site da NASA. O processamento digital das imagens NDVI foi efetuado com auxílio dos softwares ENVI, utilizado para segmentação das imagens, ArcGis versão 10.2, para obtenção da área e confecção dos mapas.

### 3.5.1 Delimitação das superfícies inundadas

Para delimitar as superfícies inundadas com o produto NDVI, foi empregado o processo de segmentação de imagens (BARBOSA, 2007), no software ENVI Zoom, que conta com a ferramenta *Feature Extraction*, que realiza a (*Rule-Based Classification*), classificação baseada em regras. Este procedimento usa uma abordagem baseada em objetos, para classificar imagens, em que um objeto (também chamado de segmento) é um grupo de pixels com atributos espectrais, espaciais e/ou de textura semelhantes (EXELIS, 2013).

Segundo Antunes (2011), o nível de escala define a segmentação, assim quanto maior o valor da escala maior também serão os objetos segmentados (corpos d'água), porém este nível gera menos objetos nesta categoria. Por outro lado, um nível de escala menor gera objetos menores, por sua vez, em maior número, com isso, entende-se que o nível de escala depende da finalidade da classificação.

Antunes *et al.* (2003) constataram que, dependendo da classificação, os objetos recebem as nomenclaturas de “subobjetos” (objetos pequenos) e “superobjetos” (objetos grandes), sendo empregada a palavra “subobjeto”, para uma segmentação mais detalhada e “superobjetos”, para classificação de grandes áreas ou em nível mais grosseiro, como no caso da segmentação de corpos d'água, no rio Solimões/Amazonas, objeto de estudo desta pesquisa.

Terminado o processo de definição dos objetos (corpos d'água) para uma imagem, o seguinte passo foi atribuir uma classe, por meio de comparação dos objetos identificados com padrões pré-definidos na etapa anterior (“subobjetos” ou “superobjetos”), efetuando a classificação destes objetos na imagem, levando em consideração que eles são homogêneos e representam a mesma classe (WHITESIDE; AHMAD, 2005).

É importante ressaltar, ainda, que a classificação orientada de objetos é realizada, respeitando estes níveis hierárquicos comentados acima, podendo ser do nível mais grosseiro para um mais detalhado, *up bottom* (de cima para baixo), ou ainda *bottom up* que é de baixo para cima. Para este estudo, o nível de escala adotado foi 60, conforme a metodologia descrita em Antunes *et al.* (2014), utilizada para “superobjetos” por meio do algoritmo *edge* da função *Feature Extraction*.

Para formar os objetos ou regras da classificação (corpos d’água delimitados), a atividade é realizada empiricamente, ou seja, é necessário ir avaliando os objetos, em função das classes que se deseja mapear e pelos atributos que serão agrupados nos segmentos. Esta técnica é baseada em um processo iterativo; os segmentos (regiões homogêneas) são delimitados nas imagens, a partir do agrupamento de pixels contíguos; o agrupamento é baseado, em algumas propriedades intrínsecas das imagens, como: diferença de nível de cinza entre pixel contíguos e áreas mínimas, que a priori, deve ser definido por: similaridade e área mínima.

A similaridade tem relação com a menor diferença aceita entre os valores de dois pixels ou dois conjuntos de pixels. Se a diferença entre os pixels ou conjunto de pixels for menor que o valor de similaridade, eles são pertencentes à mesma região, porém, se a diferença entre os pixels ou conjunto de pixels for maior que o valor de similaridade, eles serão atribuídos a regiões distintas (BARBOSA, 2007). Já o limiar de área mínima tem relação com o menor tamanho das regiões (segmentos), definido pelo usuário, conforme as necessidades do estudo.

Esta abordagem, também, foi utilizada por Batista *et al.* (1994); Shimabukuro *et al.* (1998); Barbosa *et al.* (2004) e, sendo assim, também foi adotada para este estudo, tendo em vista que a água se distinguiu bem dos demais alvos, por meio do NDVI, dando suporte à separabilidade das áreas inundadas (Figura 4).



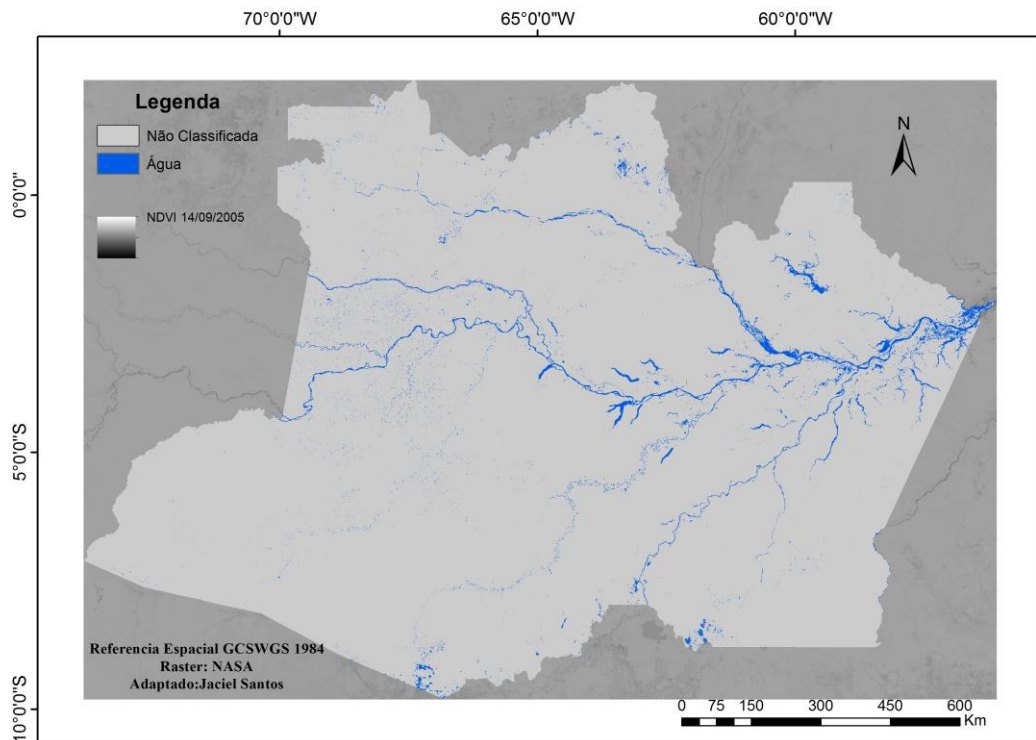


Figura 4- Segmentação do NDVI efetuada no software ENVI, mostrando a área não classificada e a área classificada como água para a data de 04 de setembro do ano 2005.

A imagem da figura acima exemplifica a metodologia de segmentação em baixa interferência de nuvens. Em imagens como esta, a segmentação é melhor aproveitada, uma vez que a área classificada como água chega muito próximo ao real, pelo fato de haver pouca interferência de nuvens. Já as imagens obtidas em outras datas, como nos meses de cheia entre janeiro e junho, podem vir com grande quantidade de nuvens, acarretando superestimação da área classificada como água. Este procedimento de segmentação foi efetuado da mesma forma, para toda a série temporal de 2001 a 2012, período que caracteriza a época de cheia na região (janeiro a junho), totalizando 66 imagens segmentadas.

### 3.6 Aquisição dos dados pluviiais ECMWF e INMET

O modelo ECMWF é resultado da coleta de dados meteorológicos de estações orbitais, espalhadas por todo globo terrestre, informações oriundas de radares meteorológicos e outros sensores acoplados a satélites. Essas informações são coletadas para as horas sinóticas (00,

06, 12, 18 UTC). As informações são geradas para uma grade com resolução espacial de 0,25 graus de latitude e longitude e resolução temporal decenal (Figura 5).

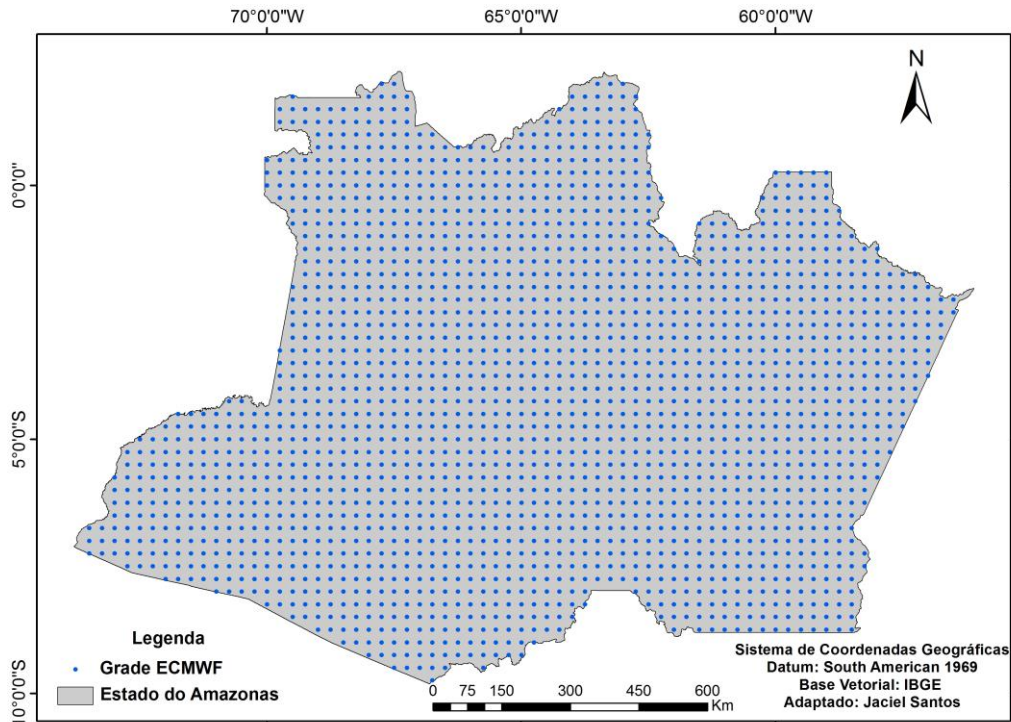


Figura 5- Mapa da grade de pontos do modelo ECMWF para o Estado do Amazonas.

Os dados oriundos do modelo ECMWF foram adquiridos para uma série de 12 anos entre 2001 a 2013 e estas informações são disponibilizadas, gratuitamente, no banco de dados da página eletrônica JRC (*Joint Research Centre*).

Os dados de precipitação pluvial das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC), no estado do Amazonas, foram adquiridos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (2015), disponibilizados na página eletrônica deste instituto diariamente, para as EMC's dos seguintes municípios: Barcelos, Benjamin Constant, Codajás, Coari, Eirunepé, Fonte Boa, Iauarete, Itacoatiara, Lábrea, Manaus, Manicoré, Parintins, São Gabriel da Cachoeira e Tefé (Figura 6).

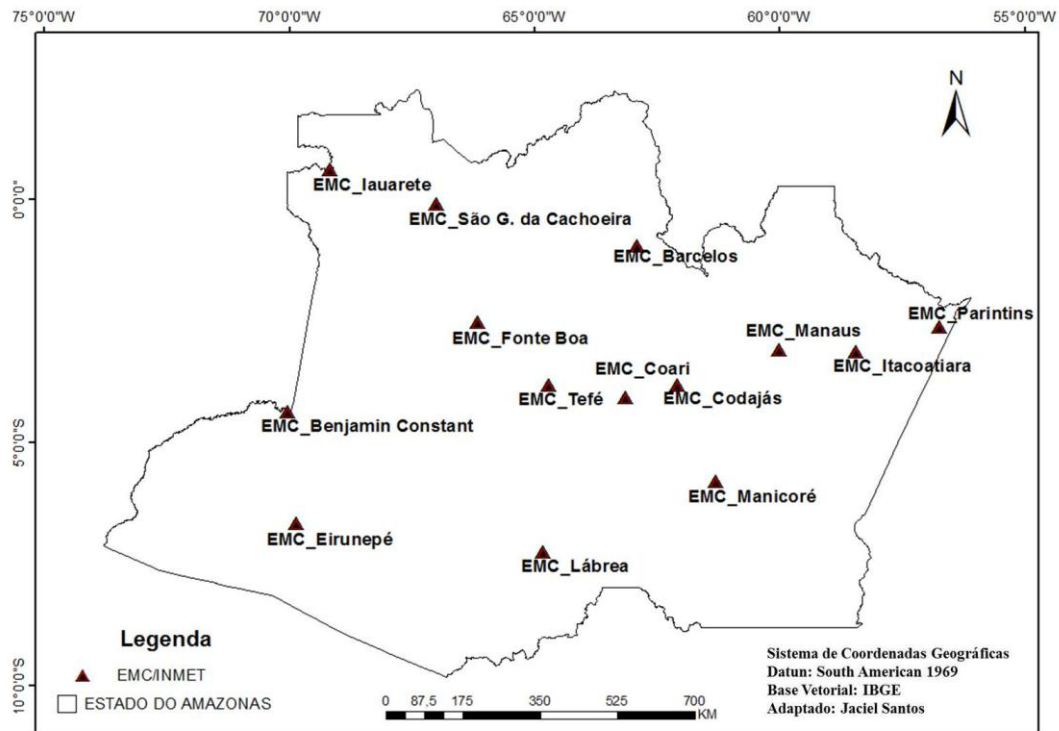


Figura 6- Mapa das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do INMET no Estado do Amazonas.

Os dados de precipitação são referentes a uma série histórica entre 2001 a 2013, para todas as estações discriminadas. Estes são disponibilizados pelo INMET, em intervalos diários. Desta forma, foi necessário converter os dados em acumulados mensais, assim como, também, os dados do ECMWF que são disponibilizados, em intervalos decendiais (dez dias), tiveram que ser padronizados em acumulados mensais.

Os dados das Estações Meteorológicas Convencionais do INMET foram espacializados em *grids* de pontos (x,y), referentes às coordenadas longitude e latitude, respectivamente e pelo software ArcGis versão 10.2 submetido a análises de vizinhança com os dados do ECMWF. Adotou-se um raio dos 17 pontos da grade do ECMWF mais próximos de cada EMC do INMET (Figura 7), conforme metodologia descrita em Almeida *et al.* (2015), para posterior análise de correlação e comparação dos dados de precipitação, para as duas fontes de dados.

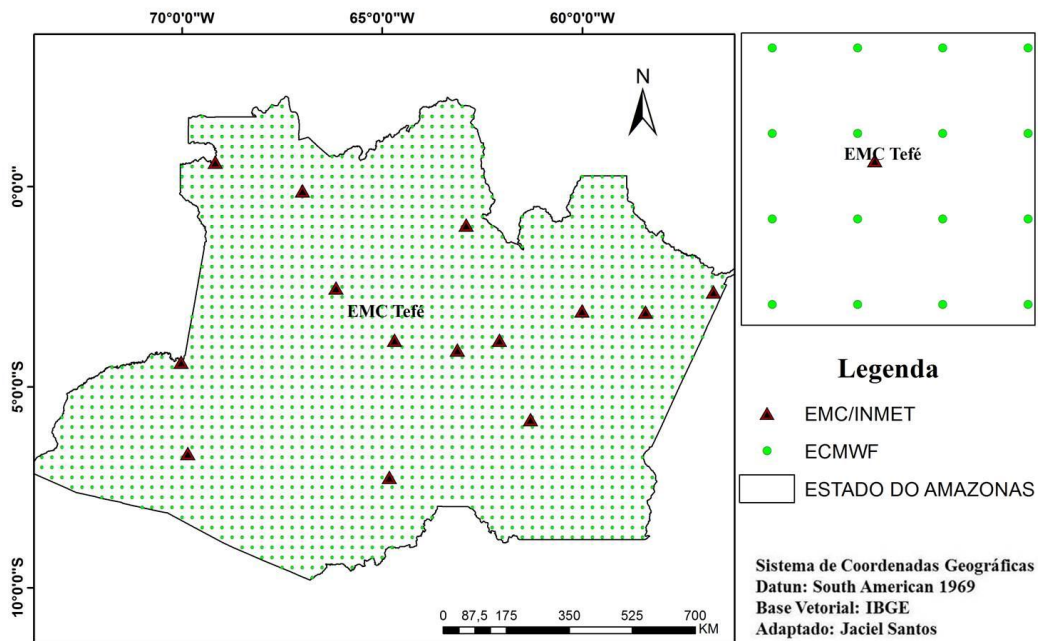


Figura 7- Mapa da grade ECMWF, EMC do INMET com destaque para a EMC de Tefé e seus vizinhos.

### 3.7 Interpolação dos dados de precipitação

Os dados do ECMWF/INMET foram interpolados pelo método da *krigagem simples*, conforme descrito em Dos Santos *et al.* (2011), como o método mais adequado a esse tipo de dado, uma vez que, em sua pesquisa, compararam a Krigagem Simples verso a Krigagem Universal quanto à incerteza de predição. Esses autores concluíram que a Krigagem Simples se apresentou como um preditor mais preciso que a Krigagem Universal.

De Carvalho *et al.* (2005) já haviam efetuado uma comparação entre interpoladores, para análise espacial de precipitação no Estado de São Paulo. Em sua pesquisa, compararam três interpoladores: inverso do quadrado da distância, curvatura mínima e krigagem ordinária. Seus resultados mostraram que a diferença entre os valores observados e estimados foi menor na krigagem em relação aos outros dois métodos, indicando que esse interpolador é mais adequado, sendo um indicativo de que o mesmo pode ser usado na distribuição espacial de precipitação.

Neste contexto, a interpolação pelo método de Krigagem foi executada por meio do *software* ArcGis10.2, no pacote *Geostatistical Analyst*. Esta metodologia também foi usada por De Mello *et al.* (2013) para determinar a precipitação espacial no estado do Espírito Santo. Para este estudo, foram realizados ajustes dos semivariogramas, para posterior construção dos mapas da precipitação (Figura 8).

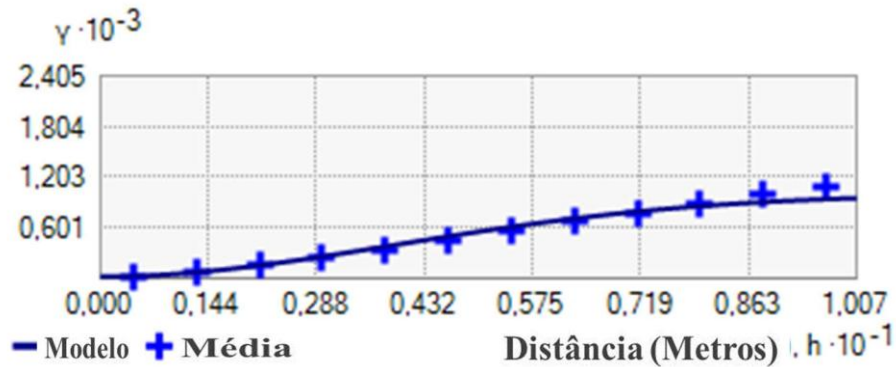


Figura 8 - Semivariograma, modelo Gaussiano.

### 3.8 Validação dos dados do ECMWF com dados das EMC/INMET

Para validação da precipitação pluvial estimada pelo ECMWF, em relação aos dados de superfície obtidos por leituras efetuadas nas EMCs, foram utilizados os parâmetros estatísticos: Erro Médio (EM, Equação 1), Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ, Equação 2), coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ , Equação 3) e índice de concordância ( $d$ , Equação 4) proposto por Willmott *et al.* (1985).

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (\text{Equação- 1})$$

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (\text{Equação- 2})$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) * (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 * \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (\text{Equação- 3})$$

$$d = 1 \left[ \frac{\sum_{i=0}^n (P_i - O_i)^2}{(|P_i - O_i| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (\text{Equação- 4})$$

Em que:  $P_i$  = precipitação estimada (mm) pelo ECMWF, no intervalo de tempo  $i$ ;  $O_i$  = precipitação observada (mm), em determinada EMC, no intervalo de tempo  $i$ ;  $n$  = número de dados analisados;  $P$  = valor médio estimado de precipitação (mm) pelo ECMWF;  $O$  = valor médio observado de precipitação (mm) em determinada EMC.

A significância do coeficiente de correlação foi testada pelo teste  $t$ , ao nível de significância de 5%. As análises foram conduzidas no *software* R (R Core Team, 2016).

### 3.9 Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas

As características morfométricas das sub-bacias foram processadas, utilizando o *software* ArcGis 10.2, para os cálculos dos seguintes parâmetros: área total, perímetro total, declividade do rio principal, altitude mínima, altitude média, altitude máxima, comprimento total da rede de drenagem, comprimento do rio principal e ordem do rio principal. Foi utilizado como base modelo digital de elevação (MDE) do SRTM (WEBER *et al.* 2004), no formato GEOTIFF, adquirido gratuitamente na página eletrônica da NASA.

Com o MDE delimitado para bacia do rio Solimões/Amazonas, deu-se início à delimitação das sub-bacias por meio do ArcGis 10.2; o primeiro passo foi extrair a malha de drenagem da bacia Amazônica, conforme delimitada pela ANA. Em seguida, foram aplicados ao MDE valores maiores que a escala de 1:1.000.000 para se obter um número de feições de drenagem compatíveis à área do trabalho (Figura 9).

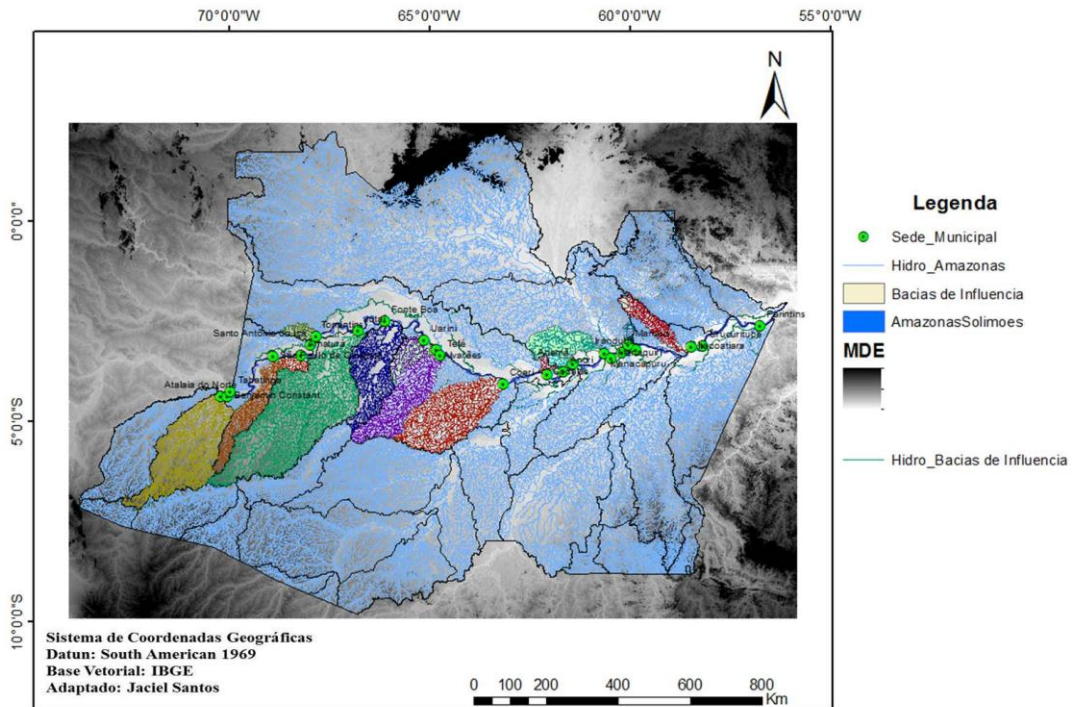


Figura 9- Mapa do MDE, a malha hidrográfica para todo o Estado, os municípios de estudo e as bacias hidrográficas delimitadas.

### 3.9.1 Parâmetros Morfométricos das bacias hidrográficas

#### I. Área da bacia

Área que contempla todo o sistema de drenagem, dentro dos seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal. É o elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos, expressa em quilômetros quadrados (HORTON, 1945). O cálculo, para a determinação da área, pode ser feito por vários métodos como: fotografias aéreas, mapas topográficos ou levantamento de campo e, se possível, com auxílio de computadores, no caso deste estudo foi efetuada no software ArcGis10.2.

#### II. Perímetro da bacia

É a medida do contorno da bacia, ou seja, a soma de todos os lados de sua forma geométrica contempla uma linha imaginária, ao longo do divisor de águas, dado em quilômetros (SMITH, 1950). Neste estudo, o perímetro foi determinado com auxílio do software ArcGis10.2.

### III. Coeficiente de compacidade (Kc)

Esta variável está relacionada com a forma da bacia (comparada a um círculo). Quanto mais irregular for a bacia maior será o coeficiente de compacidade, por consequente, se a bacia for mais próxima de um círculo menor será seu Kc. Esse coeficiente é um número adimensional, e, de acordo com Villela e Mattos (1975), independe do tamanho da bacia. O Kc foi determinado conforme trabalho de Benavides Mora (2008), pela seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação- 5})$$

Em que: Kc (adimensional) é o coeficiente de compacidade, P = o perímetro (m) e A= a área de drenagem (m<sup>2</sup>).

### IV. Fator de Forma (Kf)

O fator de forma compara a forma da bacia em relação a um retângulo, que corresponde à razão entre a largura média da bacia e o seu comprimento axial (da foz ao ponto mais distante na sua nascente). Villela e Mattos (1975) pontuaram que um fator de forma baixo deixa a bacia menos sujeita a enchentes que outra com fator de forma maior, mesmo que ela tenha áreas de tamanhos iguais. O fator de forma (Kf), coeficiente, é um número adimensional que foi obtido, conforme trabalho de Benavides Mora (2008), com a seguinte equação:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Equação- 6})$$

Em que: f (adimensional) = fator de forma, A = área de drenagem (m<sup>2</sup>) e L= o comprimento do eixo da bacia (m).

### V. Índice de circularidade (Ic)

O índice de circularidade diferente do índice de compacidade tem sua relação direta com a forma do círculo, ou seja, à medida que a bacia se aproxima da forma circular, o índice



se aproxima de 1 (valor máximo) e diminui à medida que a forma torna alongada (MILLER *et al.* 1953; CHRISTOFOLETTI *et al.* 1974).

Benavides Mora (2008) relata em seu trabalho que bacias com  $I_c = 0,50$  têm escoamento equilibrado e baixa probabilidade de cheias;  $I_c > 0,50$ , por sua vez, favorece o processo de inundação, por ter forma mais ou menos regular, e  $I_c < 0,50$  são bacias alongadas com melhor processo de escoamento e, por último, bacias com  $I_c = 1$  são totalmente circulares. O  $I_c$  pode ser encontrado pela seguinte equação:

$$I_c = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (\text{Equação-7})$$

Em que:  $I_c$  (adimensional) é o índice de circularidade,  $A$ = área da bacia ( $m^2$ ) e  $P$  o perímetro (m).

#### **VI. Densidade de drenagem (Dd)**

O sistema de drenagem de uma bacia é a soma de todos os seus rios e cursos d'água, incluindo o rio principal e seus tributários com relação à área física da bacia (CARDOSO *et al.* 2006). Ou seja, representa o número de canais existentes por quilômetros quadrados da área da bacia. A  $Dd$  foi determinada, utilizando a equação:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (\text{Equação- 8})$$

Em que:  $Dd$  é a densidade de drenagem ( $km/km^2$ ),  $\sum L$  é o somatório do comprimento total de todos os canais (km) e  $A$  = área de drenagem ( $km^2$ ).

#### **VII. Comprimento do Rio Principal**

Comprimento total do maior curso d'água da bacia desde a sua foz até a nascente, dado em quilômetro (SCHUM, 1956).

#### **VIII. Comprimento da rede de drenagem**

A soma do comprimento total de todos os cursos d'água da rede de drenagem da bacia, dados em quilômetros (HORTON, 1945).

### **IX. Declividade do rio principal (m/km)**

Villela e Matos (1975) concluíram que a declividade interfere na velocidade do escoamento superficial; desse modo, quanto maior for o grau de inclinação da bacia, maior será a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, seu tempo de concentração será menor, que pode ocasionar maior pico de enchente na foz da bacia. Para este estudo, o MDE foi utilizado como entrada, para a geração da altimetria, para que assim fossem aplicadas as variáveis de altitude e encontrar a declividade do rio principal pela equação:

$$Dcl = \frac{\Delta S}{L} * 100 \quad \text{(Equação- 9)}$$

Em que:  $\Delta S$  = as diferenças entre a cota máxima e a cota mínima e  $L$  = comprimento do rio principal.

### **X. Altitude Máxima**

O ponto de maior elevação na bacia, dado em metros (m).

### **XI. Altitude Média**

O ponto médio da elevação na bacia, dado em metros (m).

### **XII. Altitude Mínima**

O ponto de menor elevação na bacia, dado em metros (m).

### **XIII. Ordem do rio principal**

Ordem considerando o rio principal até o mar, no qual o curso d'água, que deságua diretamente no mar, é dito de ordem 1, o curso d'água que desagua neste é de ordem 2, o curso d'água que deságua, em um de ordem 2, é de ordem 3 e, assim, sucessivamente (ANA, 2015).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Mapeamento das áreas inundadas**

O mapeamento das áreas inundadas foi efetuado pelo processo de segmentação das imagens que resultou na confecção das máscaras d'água para a área de estudo.

É importante ressaltar que pela intensa cobertura de nuvens, na região de estudo, ocorreram problemas de interferência atmosférica, nas análises das imagens, problema que é mais pronunciado em datas referentes ao período chuvoso para a Amazônia que está no intervalo dos meses de janeiro a junho. Estes meses são os mais propícios a coberturas de nuvens, pelo fato de caracterizarem a estação de maior incidência de chuvas e o período de cheia, na bacia do Solimões/Amazonas, um dos objetos de estudo desta pesquisa.

Em virtude dessa problemática, foram selecionadas apenas imagens com o mínimo de cobertura de nuvens possível, uma vez que o produto MODIS, sensível a nuvens, interfere no processo de segmentação, acarretando em áreas superestimadas, levando-as a distorções, decorrentes de confusões espectrais de outros alvos com o alvo de interesse (área inundada) (FREITAS *et al.* 2005).

Esse fato também foi identificado por Zarista (2013), quando efetuou o mapeamento da dinâmica de inundação, no Pantanal. Segundo o mesmo, a densa cobertura de nuvens impediu de realizar uma clara identificação de onde ocorreram os primeiros pontos de inundação. Em sua pesquisa, a inundação alcançou acertos entre 79,95 e 84,56%, para EVI e LSWI, respectivamente, permitindo confeccionar seu mapa com 23 imagens do ciclo hidrológico do Pantanal.

Os resultados da segmentação, para a série temporal de 2001 a 2012 referente aos meses de janeiro a junho, época de cheia no estado do Amazonas, são apresentados em 66 mapas e um quadro com as respectivas áreas inundadas (ANEXO I).

Nos mapas (ANEXO I) de inundação que representam as cheias para a série temporal de 2001 a 2012 para a área de estudo, observa-se que, para os meses de janeiro a junho no ano de 2001, a área inundada não seguiu um padrão crescente que era o esperado, para a área de estudo, haja vista que é este o comportamento apresentado pelas cheias no Estado do Amazonas (CPRM, 2015).

Na imagem segmentada, para o mês de junho de 2001, observa-se uma superestimação da área inundada, chegando à ordem dos 450.000 km<sup>2</sup>, sendo muito superior à máxima para este período que é, em média, 200.000 km<sup>2</sup> (JUNK, 1993). Outra discrepância de área inundada aparece no mês de junho de 2006, no qual apresentou área na ordem dos 20.000 km<sup>2</sup>; desta vez a área inundada é muito abaixo do esperado, para este mês, que é o pico da cheia na bacia do Solimões/Amazonas.

Estas discrepâncias entre a área inundada apresentada pelas imagens segmentadas e a área esperada ocorreu, para toda a série temporal de 2001 a 2012, sendo observada área superestimada, em junho 2001 e subestimada, em junho de 2006. Para os demais anos da série, os mapas mostraram áreas de inundação sempre abaixo do esperado, fenômeno que se deu devido à interferência de nuvens. Uma vez que o sensor MODIS é passivo e depende diretamente da energia eletromagnética do sol, faz-se necessária a correção das imagens, por meio de radares e outros sensores ativos (BARBOSA, 2007).

## **4.2 Precipitação**

A precipitação pluvial mensal, no período de 2001 a 2013, para as duas fontes de dados (ECMWF e EMC), nas 14 localidades avaliadas, mostrou que as estimativas do modelo global ECMWF apresentaram conformidade com dados das EMCs. O ECMWF também foi sensível à oscilação sazonal da precipitação, o que possibilita a utilização desses dados para diferenciar as estações secas, das chuvosas, no estado do Amazonas.

Estes resultados corroboram com o trabalho de Almeida et al. (2015) que avaliaram a estimativa do modelo TRMM validado por sete estações meteorológicas convencionais do INEMT. A distribuição temporal da precipitação pluvial mensal, no período de 2001 a 2013, para ambas as fontes de dados (ECMEW e EMCs), nas 14 localidades avaliadas, é apresentada na Figuras 10. Observa-se que, para o ano de 2002, não são disponibilizados dados do modelo global ECMWF pelo JRC.

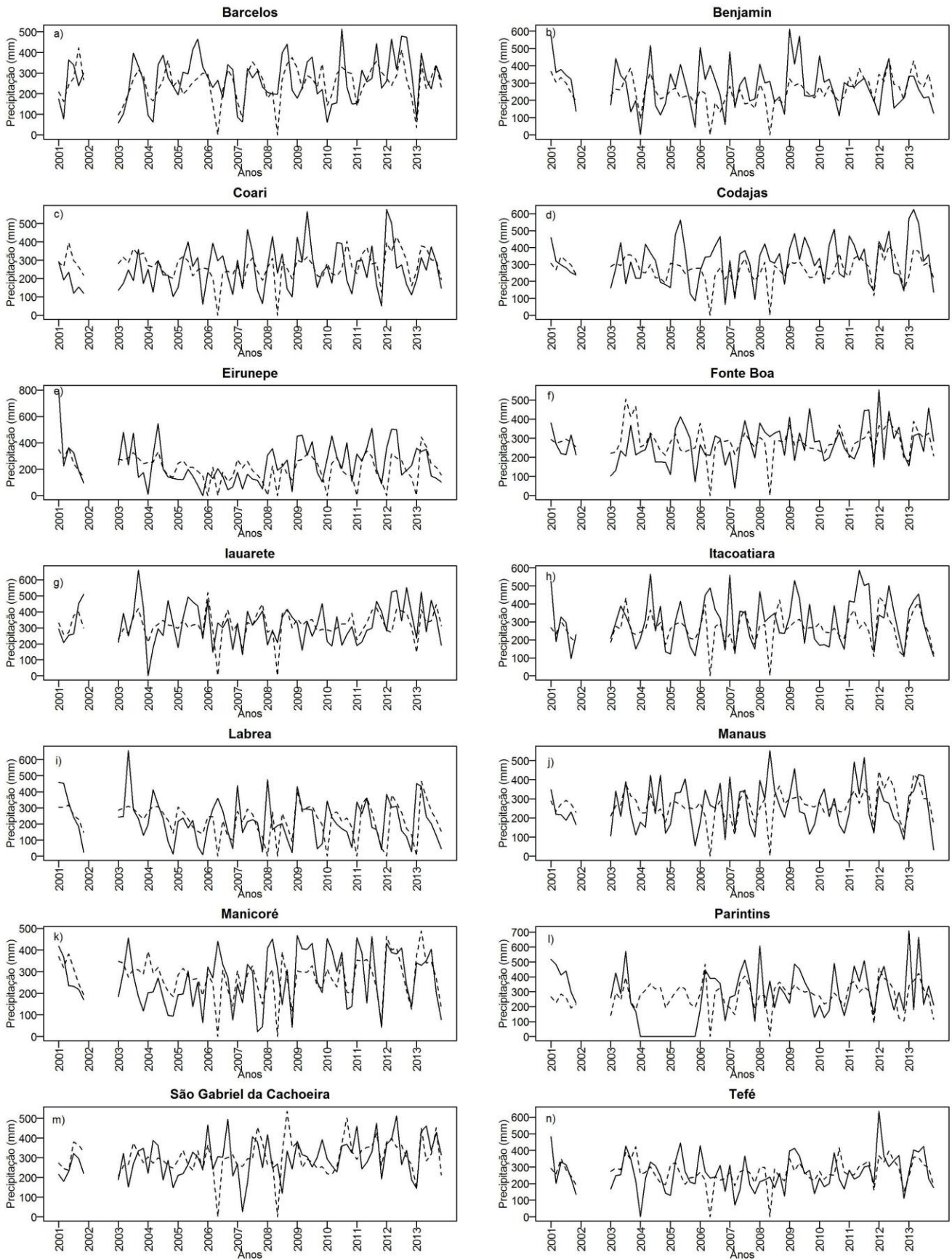


Figura 10- Precipitação pluvial mensal (mm) de 2001 a 2013: comparação entre ECMWF e EMCs nos 14 municípios avaliados. Linhas contínuas representam a precipitação EMCs do INMET e linhas pontilhadas representam as estimativas de precipitação do ECMWF.

Correlação positiva e significativa foi observada entre a precipitação pluvial estimada pelo modelo ECMWF e a precipitação pluvial observada nas EMCs, em todos os 14 municípios avaliados (Figura 11 - a-n). Os valores de correlação variaram de  $r=0,23^*$  para o município de Benjamin (Figura 11 - b) a  $r=0,54^*$  observado no município de Barcelos (Figura 11 - a). Uma vez que a leitura é feita de forma manual, nas EMC do INMET, erros de leitura podem ocorrer, contribuindo para os baixos valores de correlação, caso esse observado para o município de Parintins (Figura 11 - l). Os dados de precipitação, nas estações físicas do INMET, do referido município, no intervalo de 2004 a 2005 da série, não foram computados, o que pode ter contribuído para o baixo valor de correlação ( $r = 0,28^*$ ), embora significativo.

Os municípios de Barcelos (Figura 11 - a)  $r = (0,54)$ , Iauarete (Figura 11- g)  $r = (0,49)$ , Manicoré (Figura 11- k)  $r = (0,46)$ , Tefé (Figura 11 - n)  $r = (0,44)$  e Itacoatiara (Figura 11- h)  $r = (0,41)$  apresentaram os maiores valores de coeficiente de correlação e índice de concordância, que, juntamente com os baixos valores de REMQ, indicam que, nessas localidades, os dados ECMWF apresentam estimativas significantes ao nível de probabilidade de 5%.

Cabe ressaltar que os municípios de Coari (Figura 11, c), Fonte Boa (Figura 11, f), Manaus (Figura 11 - j), Manicoré (Figura 11- k), Parintins (Figura 11 - l), São Gabriel da Cachoeira (Figura 11 - m) e Tefé (Figura 11-n) apresentaram EM negativo, indicando maior tendência do ECMWF de subestimar a precipitação mensal nessas EMCs. As demais EMCs apresentaram EM positivo, mostrando que o ECMWF apresentou maior tendência de superestimar a precipitação.

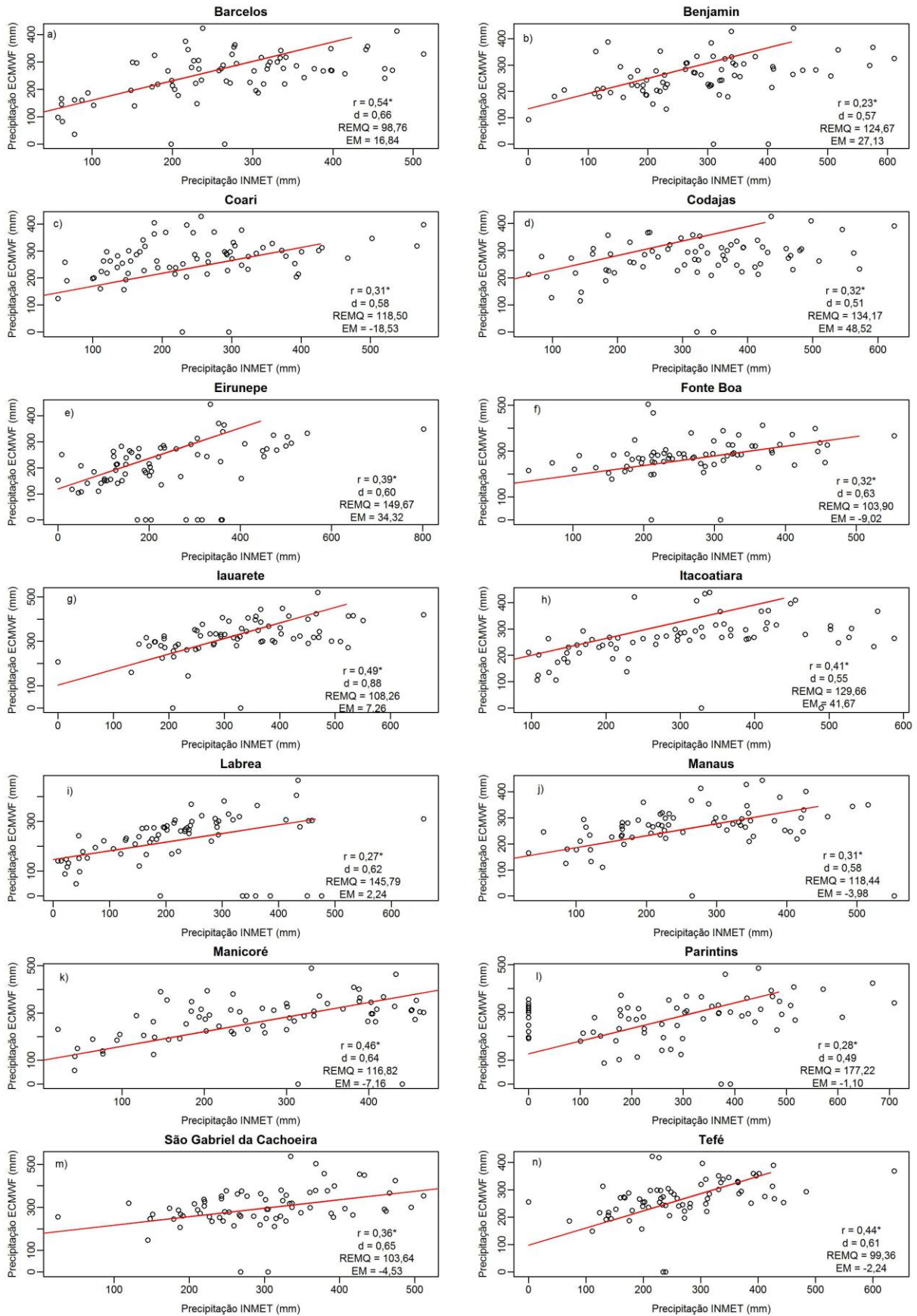


Figura 11-(a-n) Diagrama de dispersão para cada EMC estudada.



Quando a análise foi realizada considerando todos os municípios, ao longo dos anos de 2001 a 2013, a precipitação média variou de 210 mm, no ano de 2006, a 300 mm acumulados, no ano de 2012 (Figura 12-a). Há registros de que, no ano de 2012, ocorreu a maior cheia registrada na série histórica, com 110 anos de tempo de recorrência (CPRM, 2012). Na Figura 12-b, é mostrado o EM, para toda a série temporal estudada; o menor erro foi observado, no ano de 2010 e o maior erro no de 2006.

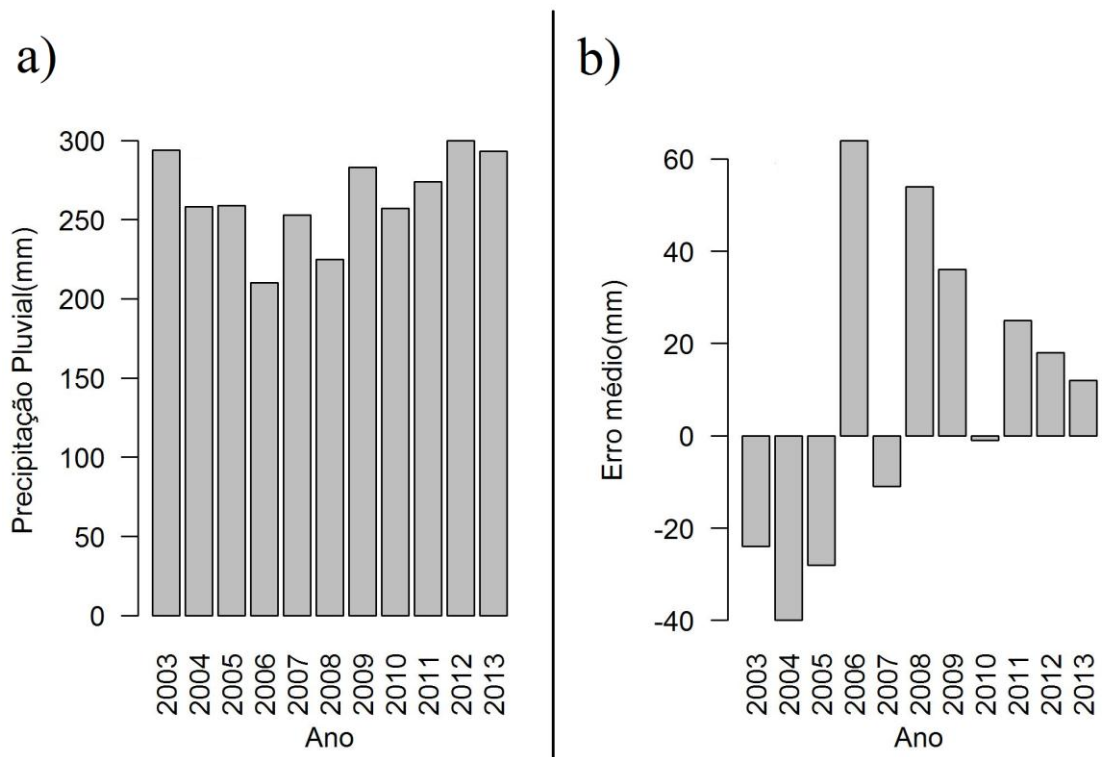


Figura 12- (a) Média da precipitação total anual em mm e (b) média do erro anual (mm) para todas as EMCs.

A distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial, quando analisada de forma individual por cada sub-bacia hidrográfica, ganha uma maior contextualização, pois a água da precipitação capitada por estas sub-bacias hidrográficas é a que vai afetar diretamente o município a sua jusante. Neste contexto, para melhor visualização, os dados de precipitação interpolados pelo modelo de *Krigagem* são mostrados em mapas (Anexos II).

### 4.3 Morfometria das sub-bacias hidrográficas

Embora a área de estudo seja composta por 24 municípios alocados às margens do rio Solimões/Amazonas, para a caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas, foram levados em consideração apenas aqueles que apresentaram, dentro de seu perímetro geográfico, uma sub-bacia hidrográfica de influência na sua inundação, por consequente, foram caracterizados 16 sub-bacias hidrográficas.

Tendo em vista que a análise morfométrica é inserida como um dos métodos mais adequados ao estudo de bacias hidrográficas, por permitir o estabelecimento dos seus limites, a área ocupada, os principais cursos d'água, hierarquia fluvial, as formas de relevo predominantes, municípios e/ou estados inseridos ou ainda que sejam hidrologicamente influenciados por estas sub-bacias hidrográficas (GARBRECHT; MARTZ, 1999).

Com base nestas informações morfométricas é que se originam outros estudos, como dinâmica natural da paisagem do ponto de vista geológico, estudos geomorfológicos, estudos climáticos, estudos de características do solo dentre outros, tendo importância, também, nas discussões socioeconômicas (decisões políticas, territoriais, aspectos culturais) e gerenciamento da própria bacia em questão (MELO, 2012).

Desta forma, os resultados da subdivisão e caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas são apresentados em mapas individuais, seguidos dos respectivos parâmetros morfométricos.

#### a) **Bacia de Alvarães**

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 13' 17" Sul, longitude: 64° 48' 16" Oeste, no município de Alvarães (IBGE, 2016), tem como rio principal o Caiçara. Esta bacia (Figura - 13) apresentou os seguintes parâmetros: (Tabela - 1), no qual é importante comentar seu índice de circularidade ( $I_c = 0,73$ ); como este é acima de 0,50, a bacia tem uma forma mais circular (BENAVIDES MORA, 2008); este formato geométrico pode acarretar em

escoamento mais lento, quando comparado a bacias com  $I_c$  inferior a 0,5. Estudos morfométricos em sub-bacias também foram efetuados por Sreedevi et al, (2005) na bacia do rio Pageru na Índia, subdividindo este rio em sub-bacias hidrográficas para uma análise de parâmetros morfométricos como os aqui investigado por este estudo. Sreedev e seus colaboradores encontraram índices como fator forma desde 0,07 a 0,47 para as dez sub-bacias estudadas no rio pageru, corroborando com os resultados deste estudo que para a sub-bacia Alvarães o fator forma foi 0,30 (Tabela- 1). Índices de circularidades bastante similares também foram registrados para os dois estudos, Sreedevi et al, (2005) registrou  $I_c$  entre 0,26 e 0,68 e este estudo para a sub-bacia de Alvarães registrou 0,73 (Quadro- 2),

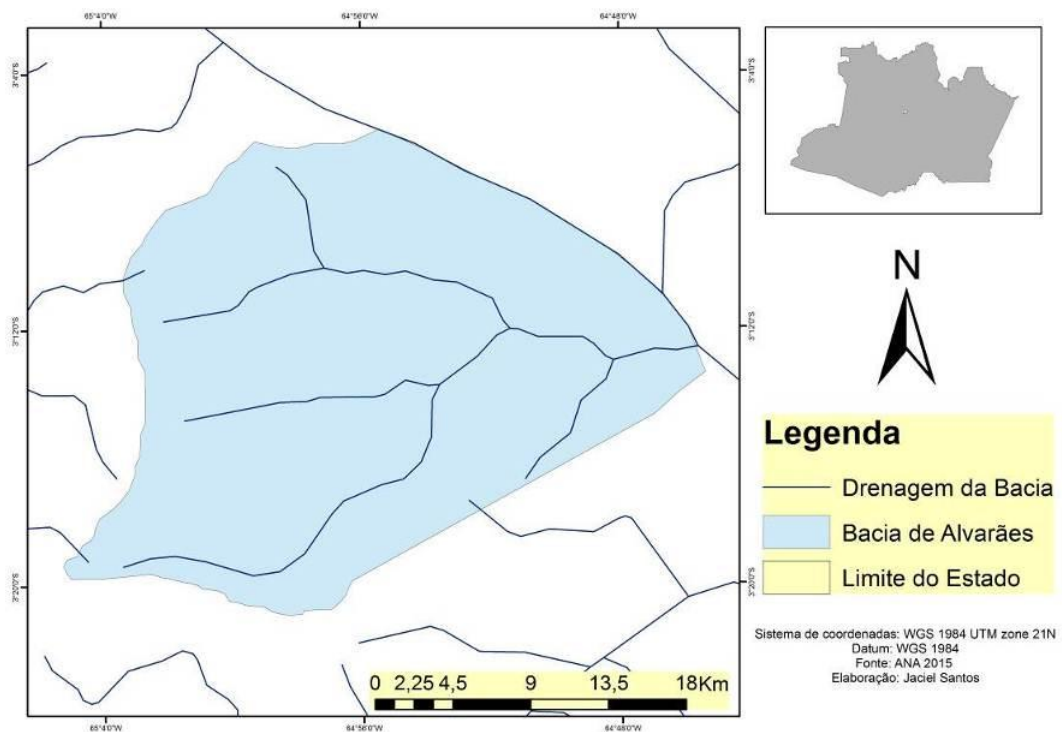


Figura 13- Mapa da bacia hidrográfica de Alvarães.

Tabela 1- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Alvarães.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	643,12
Perímetro (Km)	104,62
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,47
Fator de forma (Kf)	0,30
Índice de Circularidade (Ic)	0,73
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,47
Comprimento do Rio Principal (Km)	41,29
Comprimento da rede de drenagem (Km)	93,99
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,19
Altitude Máxima (m)	88
Altitude Média (m)	50,4
Altitude Mínima (m)	9
Ordem do rio principal	2

#### b) Bacia de Amaturá

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 21' 52", Sul longitude: 68° 11' 55" Oeste, no município de Amaturá (IBGE, 2016), tem como rio principal o Acuri. Esta sub-bacia hidrográfica se apresenta com um formato geométrico mais próximo do retangular (Figura -14) tendo relação com o parâmetro morfométrico em destaque; fator de forma (Kf = 0,56), (Tabela-2) em que se compara a forma geométrica da sub-bacia com um retângulo que, neste caso, é considerado moderado. Em Sub-bacias com este formato e, em se tratando de uma planície, o escoamento é dito equilibrado ou estável (VILLELA; MATTOS 1975).

Youssef et al, (2011) efetuaram a estimativa do risco de inundação ao longo do *Feiran-Katherine Road*, sul do Sinai, no Egito, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e SIG para a análise morfométricas de sub-bacias no rio *Wadi Feiran*, dividindo este rio em onze sub-bacias, dentre os parâmetros avaliados o coeficiente de compacidade foi registrado entre 1,4 e 2,7 destacando a variação no formato entre as onze sub-bacias estudadas naquela região do Egito. Este estudo também registrou tais variações para o Kc da sub-bacia de Amaturá 1,30 em comparação com as outras, com Kc de até 2,19 para o maior registro deste índice.

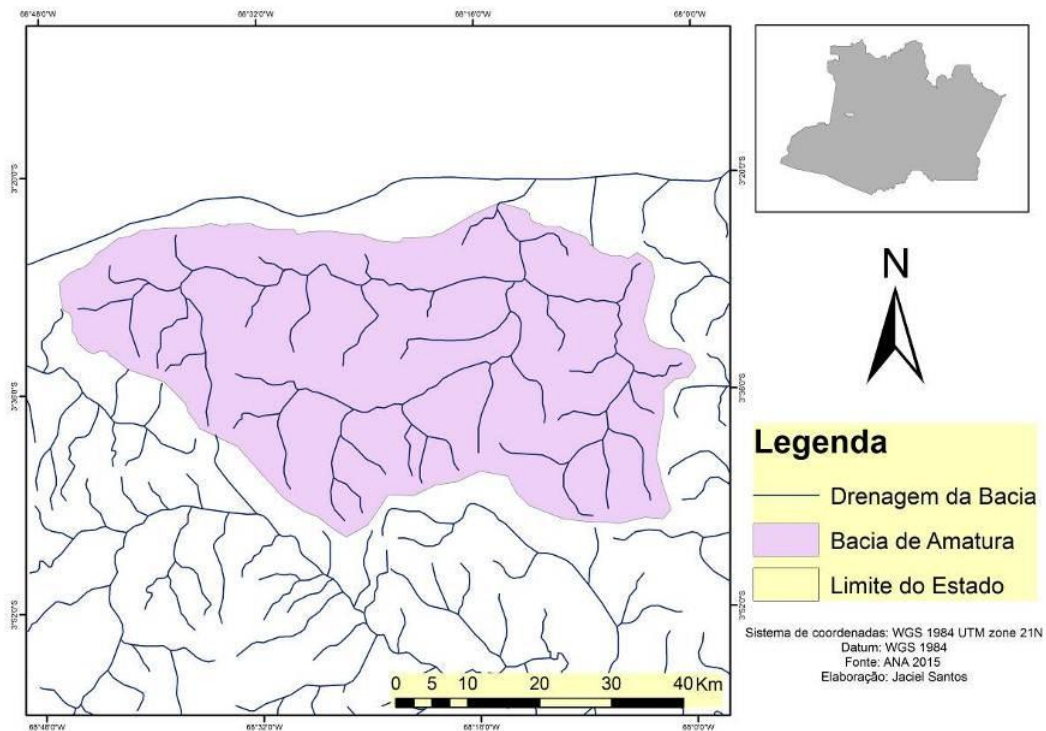


Figura 14- Mapa da bacia hidrográfica de Amaturá.

Tabela 2- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Amaturá.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	2.690,68
Perímetro (Km)	241,39
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,30
Fator de Forma (Kf)	0,56
Índice de Circularidade (Ic)	0,58
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,187
Comprimento do Rio Principal (Km)	69,300
Comprimento da rede de drenagem (Km)	502,88
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,14
Altitude Máxima (m)	132
Altitude Média (m)	85,43
Altitude Mínima (m)	34
Ordem do rio principal	2

### c) Bacia de Anamã

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 34' 49" Sul, longitude: 61° 24' 16" Oeste, no município de Anamã (IBGE, 2016), tem como rio principal o Anamã Grande. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura- 15) apresentou parâmetros morfométricos ditos irregulares,

uma vez que sua forma geométrica não se aproxima de um círculo ou de um retângulo, sendo observados ( $K_f = 0,17$ ), ( $I_c = 0,43$ ), e ( $K_c = 1,51$ ) tendo estes índices relação direta com o seu formato irregular (Tabela- 3). Perucca *et al*, (2011), caracterizaram morfometria da bacia dell Molle na Província de San Juan na Argentina aplicada à avaliação dos parâmetros morfométricos de sub-bacias no rio Blanco. Perucca *et al*, (2011) relataram que diversos estudos já foram efetuados para a avaliação morfométricas de sub-bacias hidrográficas no mundo inteiro, como por exemplo Miller (1953), Boulton (1968), Gregory e Walling (1973), Gardiner (1975), Majumdar (1982), Costa (1987), Nag (1998), Topaloglu (2002), Moussa (2003), Sreedevi et al. (2004), Srinivasa Vittala et al. (2004), Mesa (2006) e Esper Angillieri (2008). Todos estes estudos corroboram tanto com o estudo de Perucca e seus colaboradores quanto para com este estudo e registraram índices coerentes com os aqui registrados a exemplo da sub-bacia do rio Anamã Grande (Figura 15).

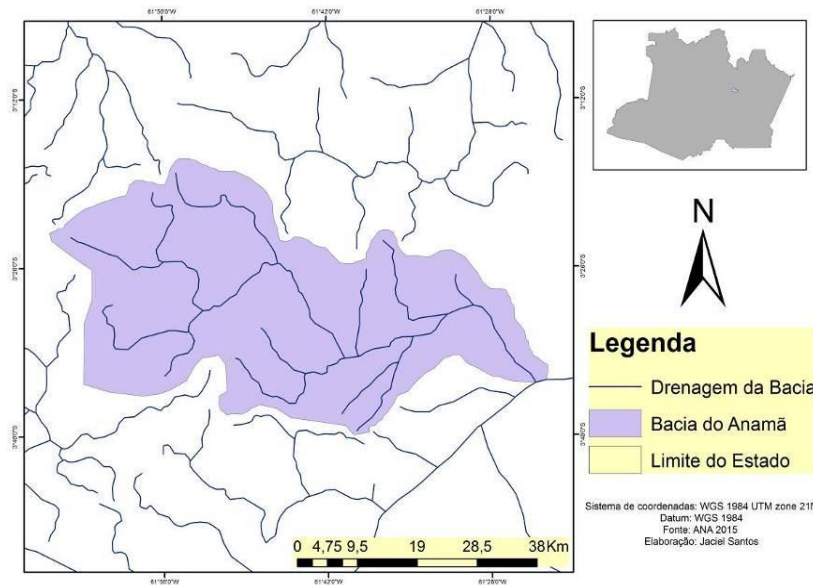


Figura 15- Mapa da bacia hidrográfica de Anamã.

Tabela 3- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Anamá.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	1.847,2
Perímetro (Km)	232,02
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,51
Fator de Forma (Kf)	0,17
Índice de Circularidade (Ic)	0,43
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,154
Comprimento do Rio Principal (Km)	102,67
Comprimento da rede de drenagem (Km)	284,73
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,76
Altitude Máxima (m)	88
Altitude Média (m)	50,4
Altitude Mínima (m)	9
Ordem do rio principal	2

#### d) Bacia de Anori

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 46' 24" Sul, longitude: 61° 38' 40" Oeste, no município de Anori (IBGE, 2016), tem como rio principal o Anoriaçu. Nesta sub-bacia (Figura- 16), observa-se que o coeficiente de compacidade (Kc) = 1,21 (Tabela- 4). Segundo Villela e Mattos (1975), quando este coeficiente se aproxima de 1, a forma geométrica da sub-bacia tende à forma regular; no caso desta sub-bacia de coeficiente de compacidade (Kc = 1,21), confirma-se este formato geométrico, sujeitando-a a um equilíbrio no escoamento da água capitada por ela, ou seja, esta sub-bacia terá um escoamento moderado. Este coeficiente também foi registrado por Youssef *et al*, (2011) em seu trabalho no Egito em onze sub-bacias hidrográficas encontrando Kc entre 1,4 e 2,7 confirmando a coerência deste estudo.

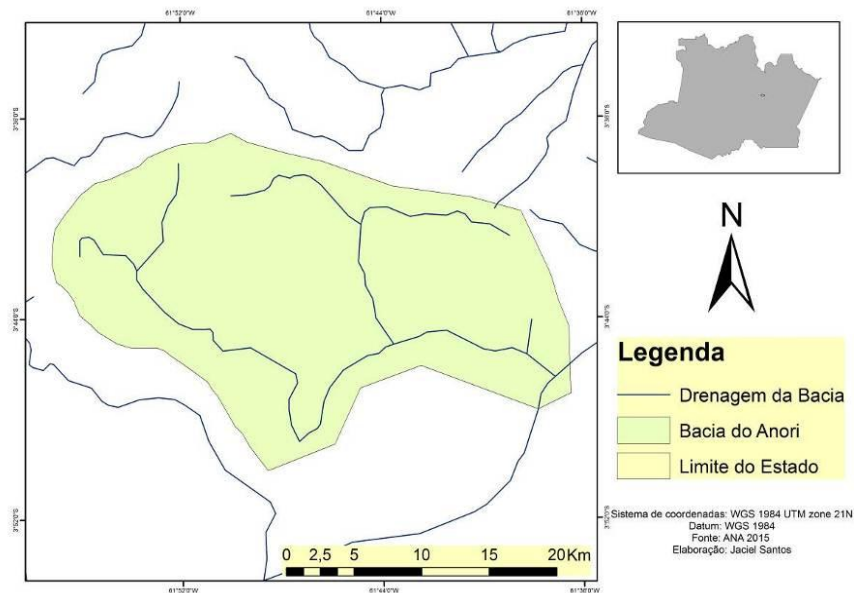


Figura 16- Mapa da bacia hidrográfica de Anori.

Tabela 4- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Anori.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	581,34
Perímetro (Km)	104,46
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,21
Fator de Forma (Kf)	0,49
Índice de Circularidade (Ic)	0,67
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,16
Comprimento do Rio Principal (Km)	34,32
Comprimento da rede de drenagem (Km)	96,46
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,15
Altitude Máxima (m)	56
Altitude Média (m)	29,5
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	2

#### e) Bacia de Atalaia do Norte

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 4° 22' 20" Sul, longitude: 70° 11' 33" Oeste, no município de Atalaia do Norte (IBGE, 2016), seu rio principal é o Intuí. Esta sub-bacia (Figura- 17) apresenta o terceiro maior rio entre as sub-bacias estudadas, com 634,23 km de comprimento e a segunda maior rede de drenagem com 9.154,66 km de extensão, superando a rede hidrográfica da bacia do Juruá, que tem o maior rio. Esta sub-bacia fica atrás em extensão de rede de drenagem apenas da sub-bacia do rio Jutá que tem a extensão de



16.905,45 km, sendo a maior sub-bacia caracterizada neste estudo (Tabela- 5). Em comparações com outros estudos pode-se citar Ahmed (2010) com dados do ASTER e SRTM DEM avaliaram parâmetros morfométricos de sub-bacias no rio Bhadra em Karnataka na Índia, recomendando técnicas de sensoriamento remoto como as aqui aplicadas por fornecerem valores significativos para parâmetros morfométricos.

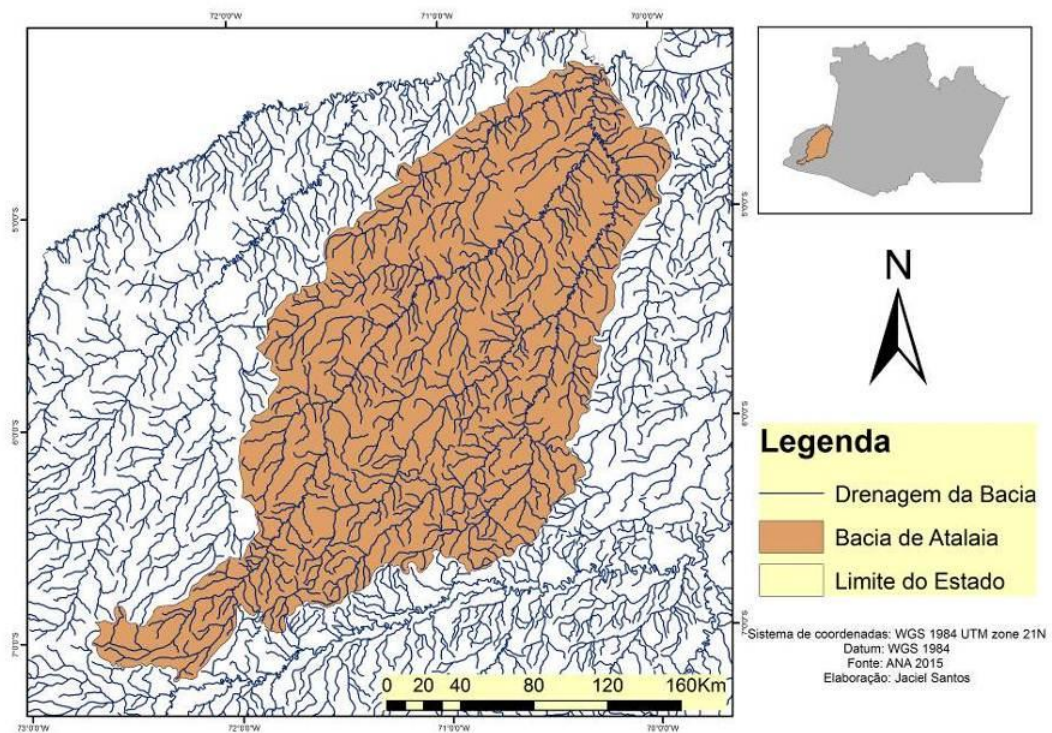


Figura 17- Mapa da Bacia hidrográfica de Atalaia do Norte.

Tabela 5- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Atalaia do Norte.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	45.078,48
Perímetro (Km)	1.263,95
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,66
Fator de Forma (Kf)	0,11
Índice de Circularidade (Ic)	0,35
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,20
Comprimento do Rio Principal (Km)	634,23
Comprimento da rede de drenagem (Km)	9.154,66
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,32
Altitude Máxima (m)	256
Altitude Média (m)	170
Altitude Mínima (m)	49
Ordem do rio principal	2

## f) **Bacia de Coari**

Situada nas coordenadas geográficas latitude: 4° 5' 6", Sul longitude: 63° 8' 30" Oeste, no município Coari (IBGE, 2016), seu rio principal é o Coari Grande. Esta sub-bacia (Figura - 18) apresenta a terceira maior rede de drenagem entre as sub-bacias estudadas, com extensão de 7.654,4km (Tabela - 6). Esta sub-bacia apresenta respostas hidrológicas lentas pelo seu formato geométrico próximo ao circular, ( $I_c = 0,51$ ). Assim sendo, esta sub-bacia está sujeita a alagamentos (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Ozdemir *et al*, (2009) já realizaram estudos de avaliação dos parâmetros morfométricos das redes de drenagem a partir mapas topográficos e DEM em ponto de inundações no rio Havran em Balikesir, na Turquia, os autores relataram que para entender a influência das sub-bacias em inundações, parâmetros morfométricos da rede de drenagem devem ser consideradas juntamente com seus recursos hidrológicos característicos como os aqui empregados neste estudo, Ozdemir *et al*, (2009) relatam ainda que a análise sistemática de parâmetros morfométricos usando SIG pode proporcionar uma compreensão significativa das sub-bacias em relação às inundações.

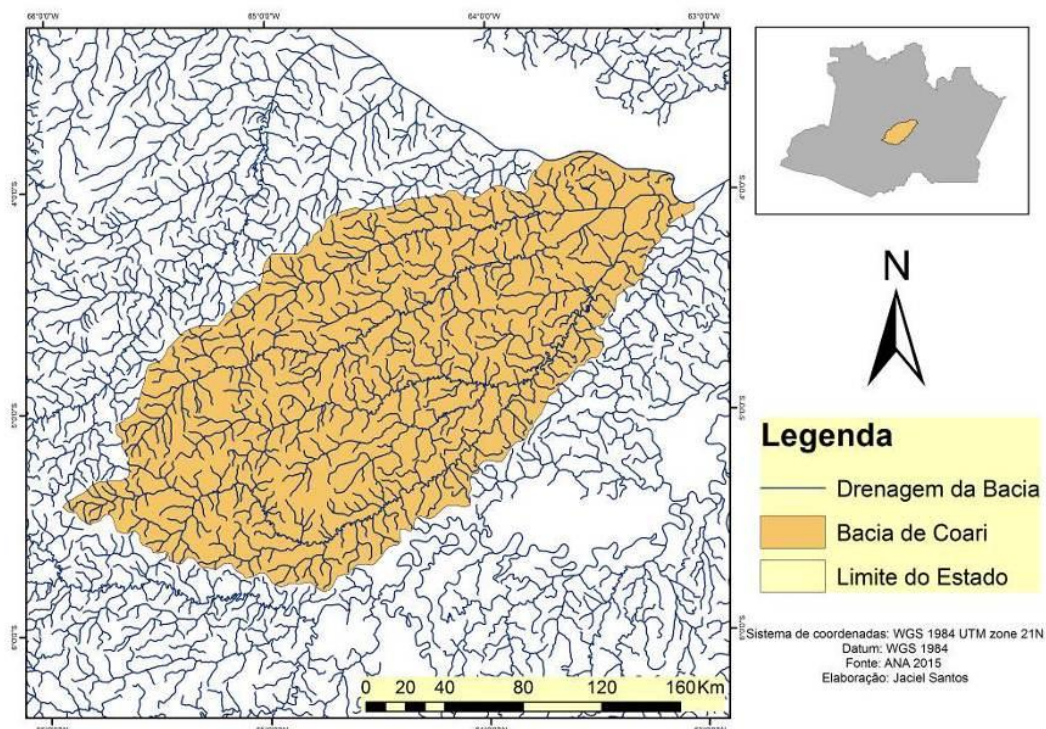


Figura 18- Mapa da Bacia hidrográfica de Coari.

Tabela 6- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Coari.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	35.993,19
Perímetro (Km)	941,27
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,38
Fator de Forma (Kf)	0,10
Índice de Circularidade (Ic)	0,51
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,21
Comprimento do Rio Principal (Km)	577,5
Comprimento da rede de drenagem (Km)	7654,4
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,19
Altitude Máxima (m)	116
Altitude Média (m)	58
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	2

**g) Bacia de Codajás**

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 50' 14" Sul, longitude: 62° 3' 27" Oeste, no município de Codajás (IBGE, 2016), tem como rio principal o Miuá. Os parâmetros morfométricos desta sub-bacia hidrográfica (Figura- 19) caracterizam-na como de forma irregular, (Kc=1,50), não se aproximando do formato circular (Ic=0,43) nem tampouco da forma de uma retangular (Kf=0,23). Estes índices apresentados, nesta sub-bacia (Tabela - 7), estão em conformidade com o padrão morfométrico observado, para a grande bacia amazônica, assim sendo, bem próximos aos índices apresentados pelas demais sub-bacias caracterizadas neste estudo.

SREEDEVI *et al*, (2009) efetuaram caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica do Sul da Índia usando dados SRTM e GIS, subdividindo a bacia em cinco sub-bacias, encontrando Kf entre 0,13 e 0,26 próximos ao aqui registrados para sub-bacia do rio Miuá confirmando a relação da forma da bacia com a variação do coeficiente de compacidade e outros índices aqui apresentados.

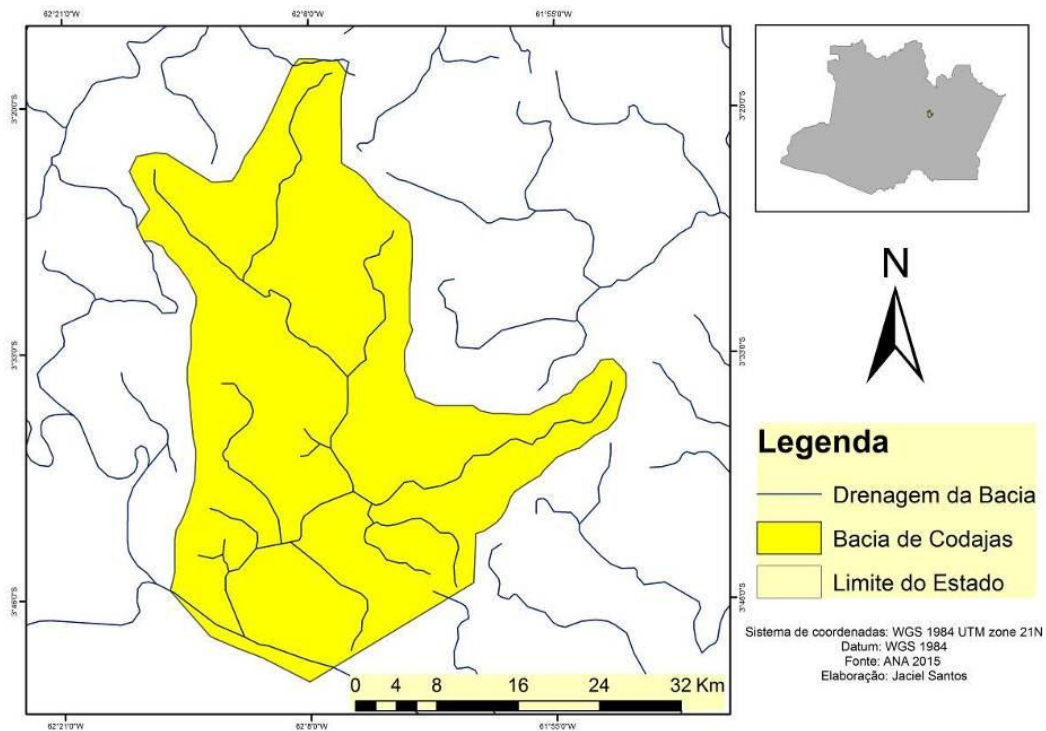


Figura 19- Mapa da bacia hidrográfica de Codajás.

Tabela 7- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Codajás.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	1.353,86
Perímetro (Km)	197,48
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,50
Fator de Forma (Kf)	0,23
Índice de Circularidade (Ic)	0,43
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,16
Comprimento do Rio Principal (Km)	75,7
Comprimento da rede de drenagem (Km)	220,22
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,84
Altitude Máxima (m)	67
Altitude Média (m)	35
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	2

#### h) Bacia de Fonte Boa

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 2° 30' 52" Sul, longitude: 66° 5' 33" Oeste, no município de Fonte Boa (IBGE, 2016), tem como rio principal o Juruá. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura- 20) destaca-se das demais caracterizadas neste estudo, em termos morfométricos pela sua dimensão, tendo a maior rede de drenagem (5.652,94 km) em relação a outras caracterizadas, bem como seu rio principal (2.760,18 km) (Tabela - 8). Formato

alongado, sub-bacias hidrográficas com este formato tendem a escoar a água captada mais rápido do que as sub-bacias de formato mais circular e/ou retangular (MOUSSA et al, 2003), (FELTRAN; DE LIMA, 2007).

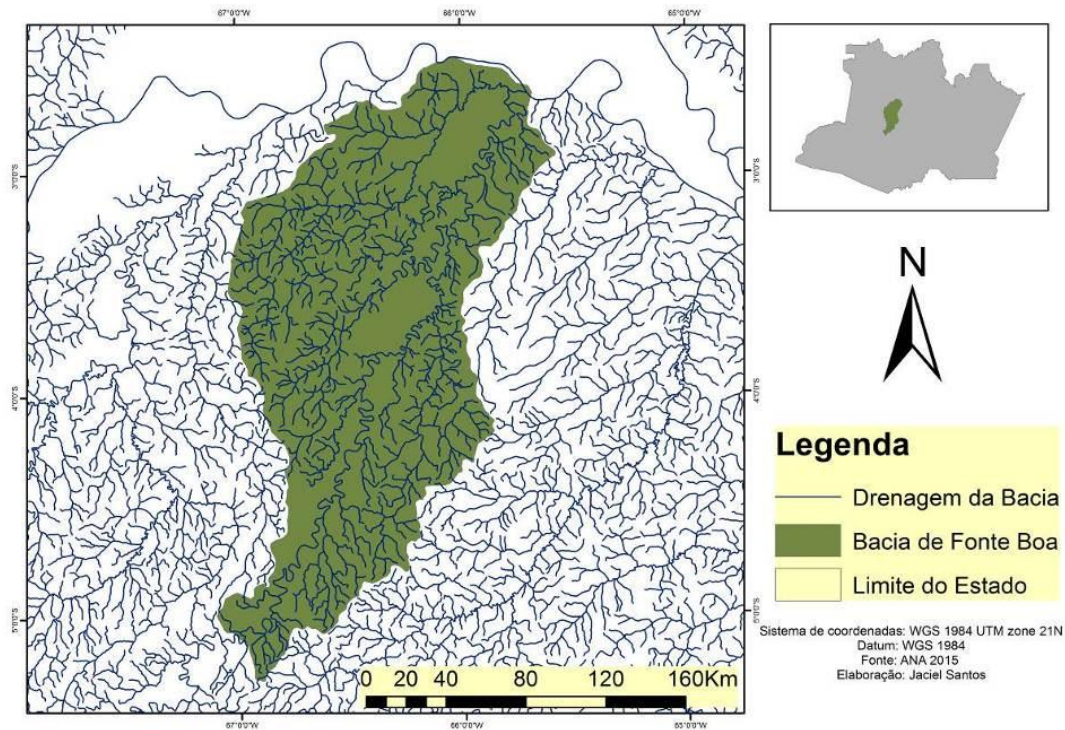


Figura 20- Mapa da bacia hidrográfica de Fonte Boa.

Tabela 8- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Fonte Boa.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	27.229,20
Perímetro (Km)	926,87
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,57
Fator de Forma (Kf)	0,04
Índice de Circularidade (Ic)	0,39
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,20
Comprimento do Rio Principal (Km)	2.760,18
Comprimento da rede de drenagem (Km)	5.652,94
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,50
Altitude Máxima (m)	143
Altitude Média (m)	76,96
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	2

### i) **Bacia de Itacoatiara**

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 8' 31" Sul, longitude: 58° 26' 33" Oeste, no município de Itacoatiara (IBGE, 2016), tem como rio principal o Urubu. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura-21) se destaca, em relação às caracterizadas neste estudo, por apresentar o coeficiente de compacidade ( $Kc=2,19$ ) acima da média em comparação às outras e apresentou um índice de circularidade baixo ( $Ic= 0,204$ ). Este formato irregular e alongado justifica o fator de forma, apresentando ( $kc=0,07$ ), sendo o mais baixo dentre todas as sub-bacias caracterizadas neste estudo (Tabela - 9). Este fenômeno ocasiona escoamento muito rápido da água captada e sua área fica menos propícia a alagamentos (BALI *et al*, 2012)(DA SILVA, 2013).

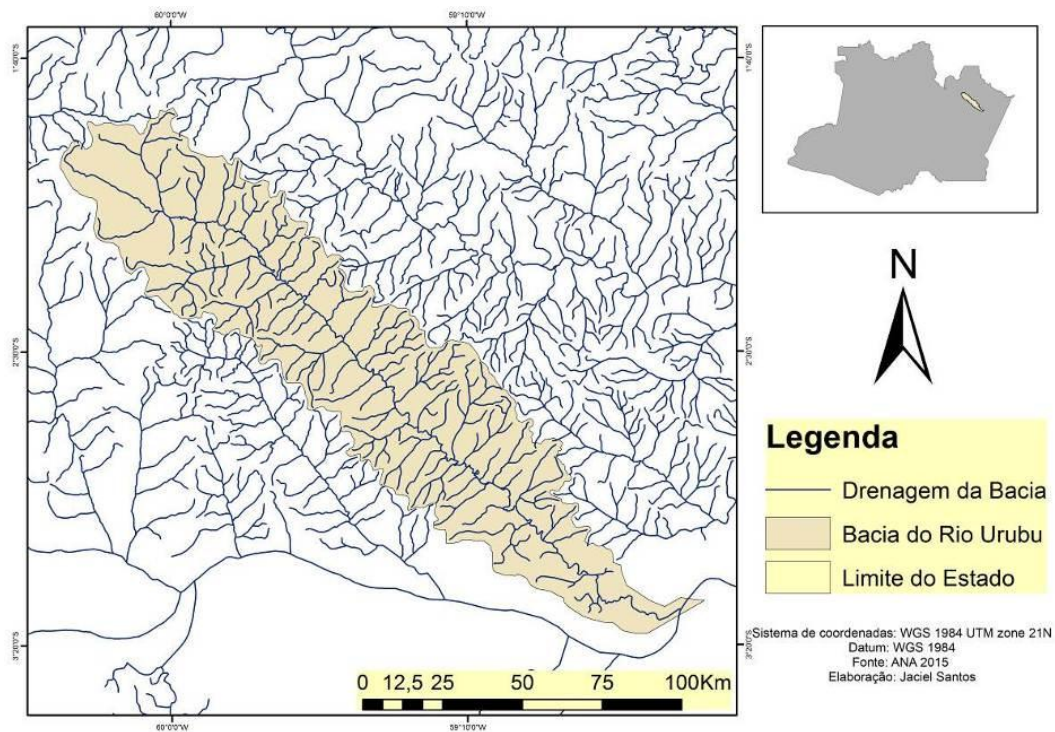


Figura 21- Mapa da bacia hidrográfica de Itacoatiara.

Tabela 9- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Itacoatiara.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	8.531,81
Perímetro (Km)	725,02
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,19
Fator de Forma (Kf)	0,07
Índice de Circularidade (Ic)	0,20
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,25
Comprimento do Rio Principal (Km)	332,64
Comprimento da rede de drenagem (Km)	2.186,74
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,67
Altitude Máxima (m)	228
Altitude Média (m)	115,5
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	2

#### j) **Bacia de Jutaí**

Situado nas coordenadas geográficas, latitude: 5° 10' 52" Sul, longitude: 68° 54' 19" Oeste, em Jutaí (IBGE, 2016), tem como rio principal o Jutaí. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura-22) apresentou uma rede de drenagem de 16.905,45 km (Tabela - 10), sendo a maior em relação a todas as sub-bacias caracterizadas neste estudo, também apresenta um rio principal de comprimento expressivo com 1.080,87 km, sendo o segundo mais extenso, atrás apenas do rio Juruá. Sub-bacias deste porte em extensão geográfica têm importante relevância na inundação dos municípios a sua jusante, tendo em vista a quantidade de água que é captada e, posteriormente, escoada em direção à parte mais baixa do terreno.

BAGYARAJ et al, (2011) ressaltaram a importância de estudos da morfometria por meio de sensoriamento remoto e SIG recomendando como mais apropriados que os métodos convencionais aja vista o baixo custo, rapidez, precisão significativa dos resultados e estudos em conjunto com dados de satélites com os aqui empregados podem ajudar a compreender melhor as relações das sub-bacias com a inundação.

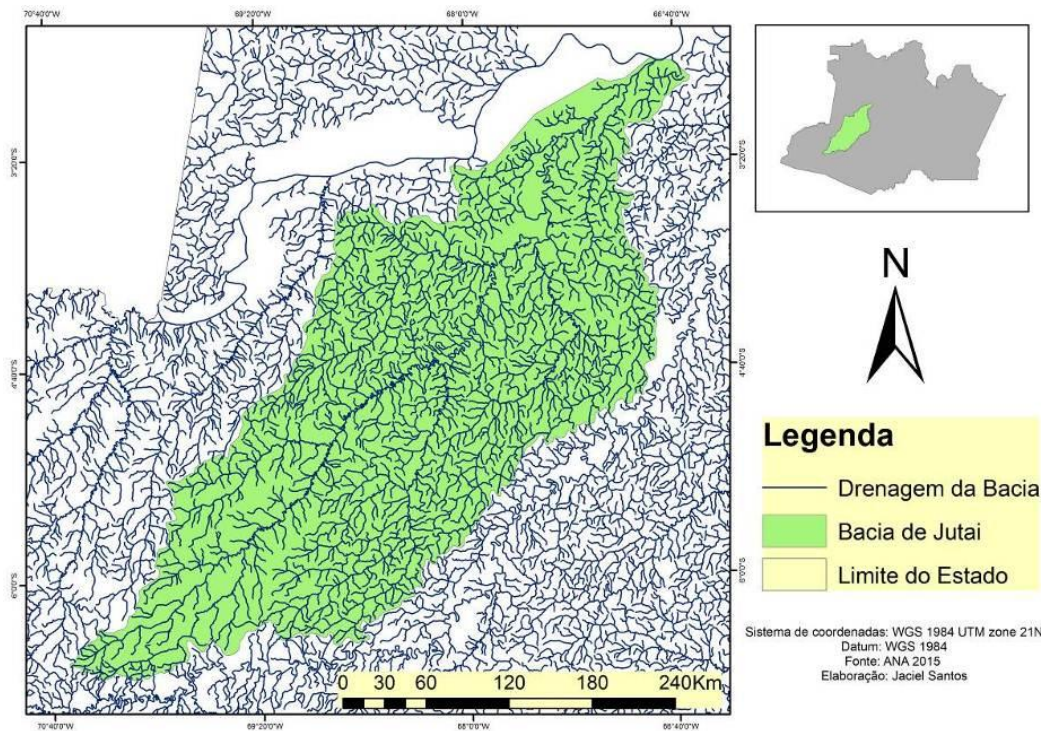


Figura 22- Mapa da bacia hidrográfica de Jutai.

Tabela 10- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Jutai.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	78.169,70
Perímetro (Km)	1.823,29
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,82
Fator de Forma (Kf)	0,06
Índice de Circularidade (Ic)	0,29
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,216
Comprimento do Rio Principal (Km)	1.080,87
Comprimento da rede de drenagem (Km)	16.905,45
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,21
Altitude Máxima (m)	251
Altitude Média (m)	133,47
Altitude Mínima (m)	14
Ordem do rio principal	2

### k) Bacia de Manacapuru

Situada nas coordenadas geográficas latitude: 3° 17' 39" Sul, longitude: 60° 38' 4" Oeste, no município de Manacapuru (IBGE, 2016), tem como rio principal o Manacapuru. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura- 23) apresenta parâmetros morfométricos que caracterizam sua forma irregular (Kc=1,58), (Kf=0,12), e (Ic=0,39). Estes índices observados



(Tabela - 11) representam uma sub-bacia mais propícia a alagamentos, em relação àquelas que têm formato alongado e bem definido caracterizadas neste estudo. Este fator mostra as diferenças regionais, no que diz respeito à morfometria de uma sub-bacia em comparação as outras para este estudo (ESPER *et al*, 2008).

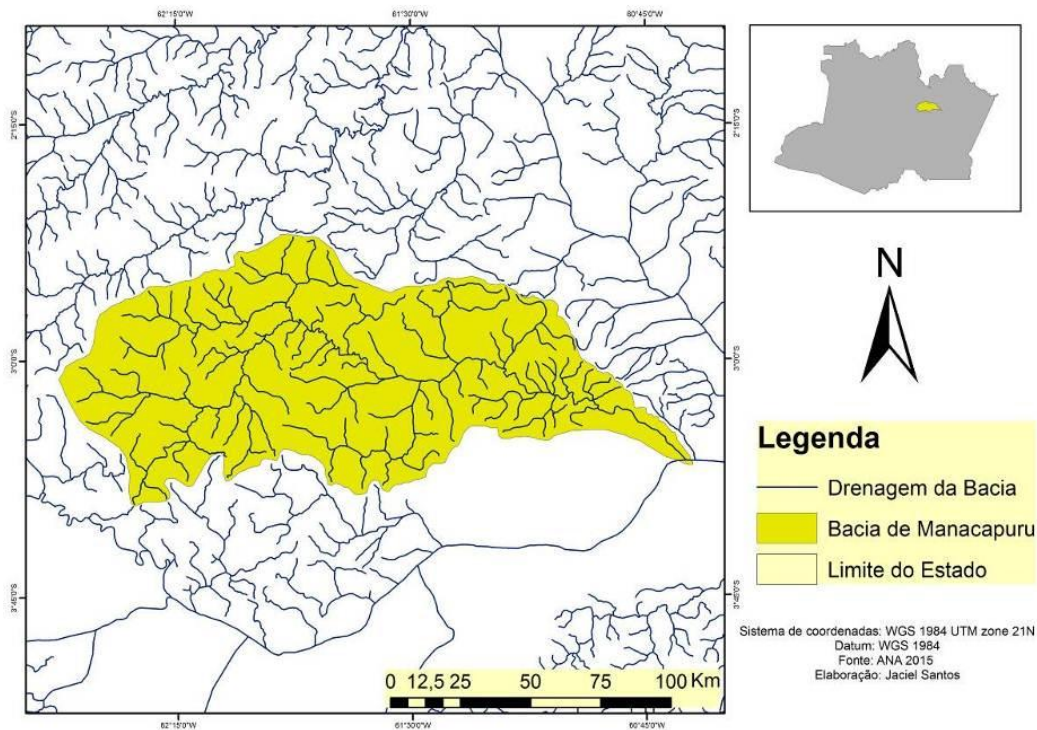


Figura 23- Mapa da bacia hidrográfica de Manacapuru.

Tabela 11- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Manacapuru.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	11.997,9
Perímetro (Km)	618,18
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,58
Fator de Forma (Kf)	0,12
Índice de Circularidade (Ic)	0,39
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,16
Comprimento do Rio Principal (Km)	306,19
Comprimento da rede de drenagem (Km)	1.969,07
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,30
Altitude Máxima (m)	96
Altitude Média (m)	49,5
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	2

### 1) **Bacia de Manaus**

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 6' 26" Sul, longitude: 60°1' 34" Oeste, no município de Manaus (IBGE, 2016), tem como rio principal o Tarumã-açu. A peculiaridade desta sub-bacia hidrográfica (Figura- 24), em relação às caracterizadas neste estudo, é seu rio principal, por ser o único de ordem 3 (Tabela -12). Este fato demonstra que esta sub-bacia tem menos influência, nas inundações do município a jusante, haja vista que seu maior curso d'água é de ordem 3, sendo assim de menor capacidade de aporte de água, em relação às outras caracterizadas neste estudo, uma vez que todas as demais sub-bacias detêm rios de ordem 2, por sua vez, de maior capacidade de aporte de água, podendo estas sub-bacias influenciar na inundação do município a sua jusante (ANA 2015).

Os resultados aqui encontrados por este trabalho também corroboram com o trabalho de Da Silva Costa *et al*, (2013), que em seu trabalho efetuado na mesma bacia hidrográfica do Tarumã-Açu, também encontraram índices similares aos registrado aqui nesta pesquisa. O exemplo dito é a área da bacia 1.353,27 km<sup>2</sup> encontrada por Da Silva Costa, foi muito próximo a 1.380,62 km<sup>2</sup> aqui registrada, bem como o coeficiente de compacidade 1,74, o fator forma 0,41, o índice de circularidade 0,32, que podem ser comparados pelo (Tabela -12).

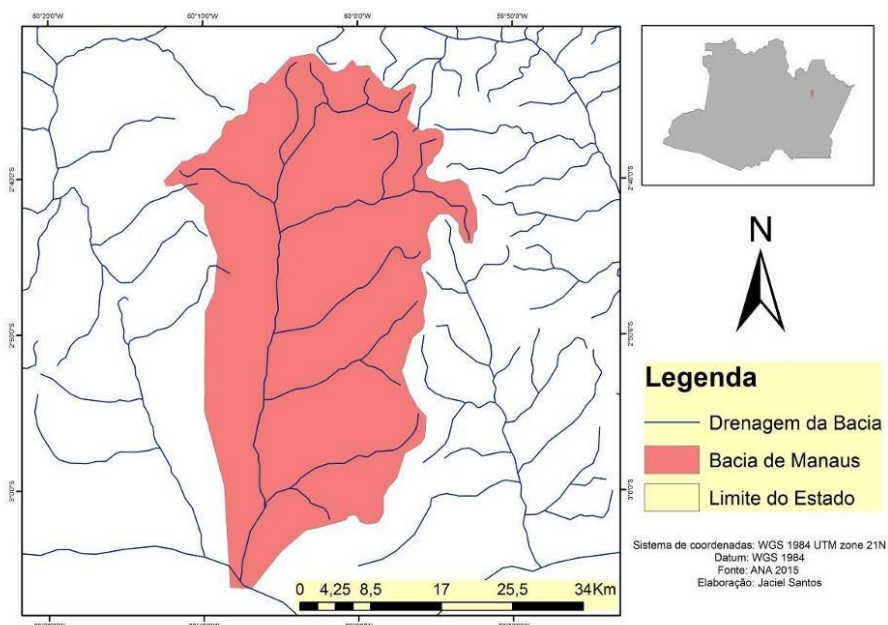


Figura 24- Mapa da bacia hidrográfica de Manaus.

Tabela 12- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Manaus.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALORES</b>
Área (Km <sup>2</sup> )	1.380,62
Perímetro (Km)	190,97
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,44
Fator de Forma (Kf)	0,38
Índice de Circularidade (Ic)	0,47
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,71
Comprimento do Rio Principal (Km)	60,19
Comprimento da rede de drenagem (Km)	237
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,25
Altitude Máxima (m)	153
Altitude Média (m)	78
Altitude Mínima (m)	3
Ordem do rio principal	3

**m) Bacia de São Paulo de Olivença**

Situada nas coordenadas geográficas latitude: 3° 22' 42" Sul, longitude: 68° 52' 25" Oeste, no município de São Paulo de Olivença (IBGE, 2016), seu principal rio é o Jandiatuba. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura- 25) se caracterizou por formato geométrico mais alongado, em razão do coeficiente de compacidade ( $Kc=1,95$ ), (Tabela - 13) o qual está acima da média em comparação às outras bacias caracterizadas, consequentemente, apresentou um índice de circularidade baixo ( $Ic=0,25$ ). Estes índices estão próximos aos da bacia do rio Urubu, que, por consequência, apresenta respostas hidrológicas parecidas como, por exemplo, escoamento rápido e área menos propícia a alagamentos (MILLER1953), (MESA, 2006), (DA SILVA, 2013).

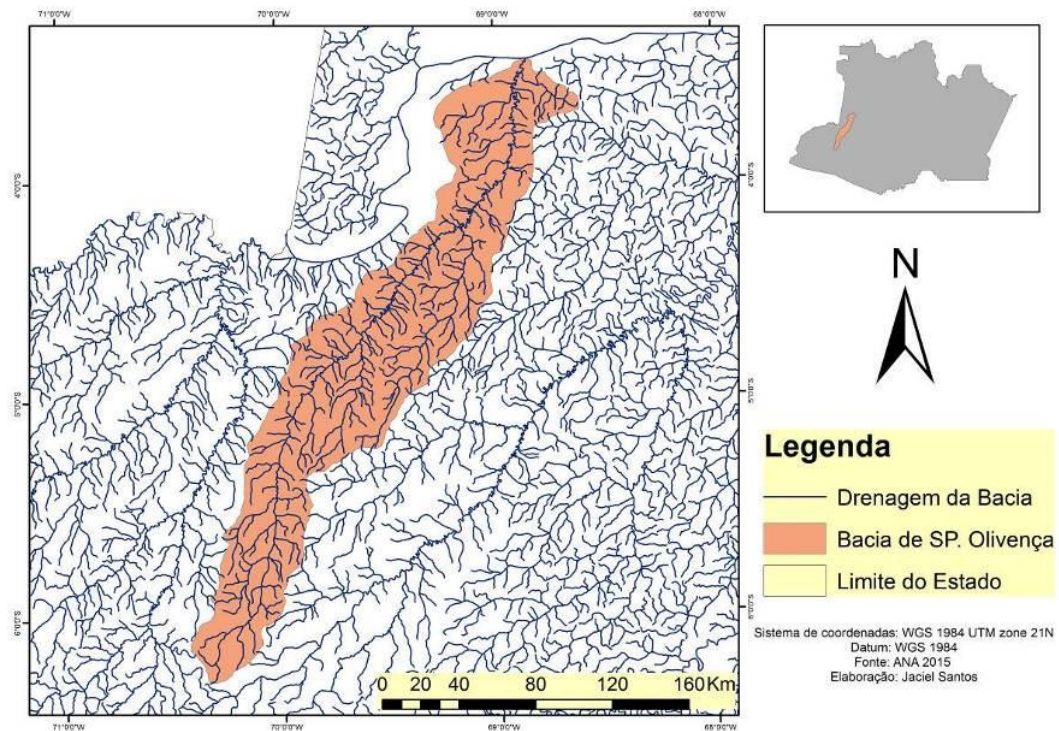


Figura 25-Mapa da bacia hidrográfica de São Paulo de Olivença.

Tabela 13- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de São Paulo de Olivença.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	1.5767,20
Perímetro (Km)	877,03
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,95
Fator de Forma (Kf)	0,05
Índice de Circularidade (Ic)	0,25
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,21
Comprimento do Rio Principal (Km)	547,13
Comprimento da rede de drenagem (Km)	3.332,33
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,36
Altitude Máxima (m)	241
Altitude Média (m)	142
Altitude Mínima (m)	43
Ordem do rio principal	2

#### n) Bacia de Tefé

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 3° 19' 15" Sul, longitude: 64° 43' 25" Oeste de Tefé (IBGE, 2016), seu rio principal é o Tefé. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura - 26) pode ser considerada uma das grandes sub-bacias caracterizadas neste estudo, sendo a quarta em rede de drenagem 5.627,62 km, (Tabela - 14). No que diz respeito às respostas

hidrológicas, esta sub-bacia é dita de escoamento rápido pelo seu formato geométrico retangular alongado, estando ela menos propícia a alagamentos.

NARENDRA *et al.*, (2006) relataram que a detecção remota e o SIG provaram ser ferramentas eficientes na caracterização do padrão de drenagem e recursos hídricos de sub-bacias conforme as aqui estudadas, aja vista que estes autores encontraram padrão morfométricos similares aos aqui registrados.

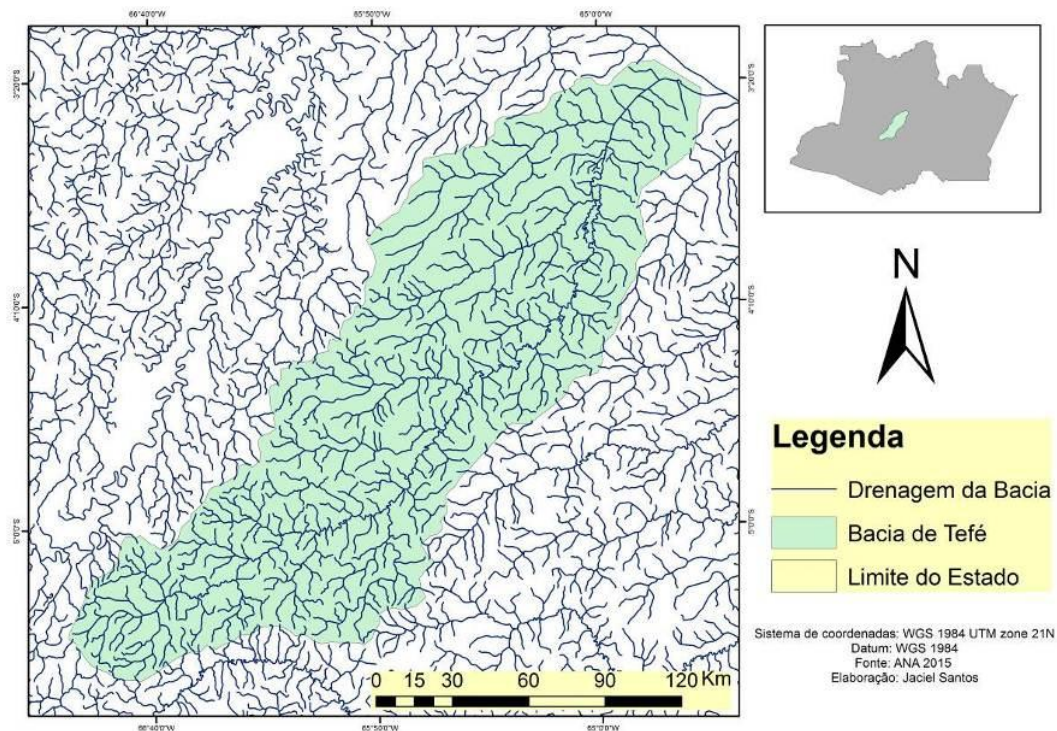


Figura 26- Mapa da bacia hidrográfica de Tefé.

Tabela 14- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Tefé.

PARÂMETROS	VALORES
Área (Km <sup>2</sup> )	25.435,20
Perímetro (Km)	892,13
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,56
Fator de Forma (Kf)	0,08
Índice de Circularidade (Ic)	0,40
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,22
Comprimento do Rio Principal (Km)	538,11
Comprimento da rede de drenagem (Km)	5.627,62
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,25
Altitude Máxima (m)	143
Altitude Média (m)	75
Altitude Mínima (m)	4
Ordem do rio principal	2

**o) Bacia de Tonantins**

Situada nas coordenadas geográficas, latitude: 2° 52' 24" Sul, longitude: 67° 48' 9" Oeste, no município de Tonantins (IBGE, 2016), tem como rio principal o Tanatins. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura- 27) é considerada de pequeno porte, em relação às outras caracterizadas neste estudo, baseado em seus parâmetros morfométricos (Tabela - 15). Esta sub-bacia pode ser considerada como de formato irregular com respostas hidrológicas lentas e sujeita a alagamentos em seu perímetro, conforme corrobora o trabalho de Malik et al, (2011), em conformidade com a lei de Hoton sobre respostas hidrológicas, lei dos comprimentos de fluxo, escoamento superficial e em consideração outros fatores não levantados neste estudo.

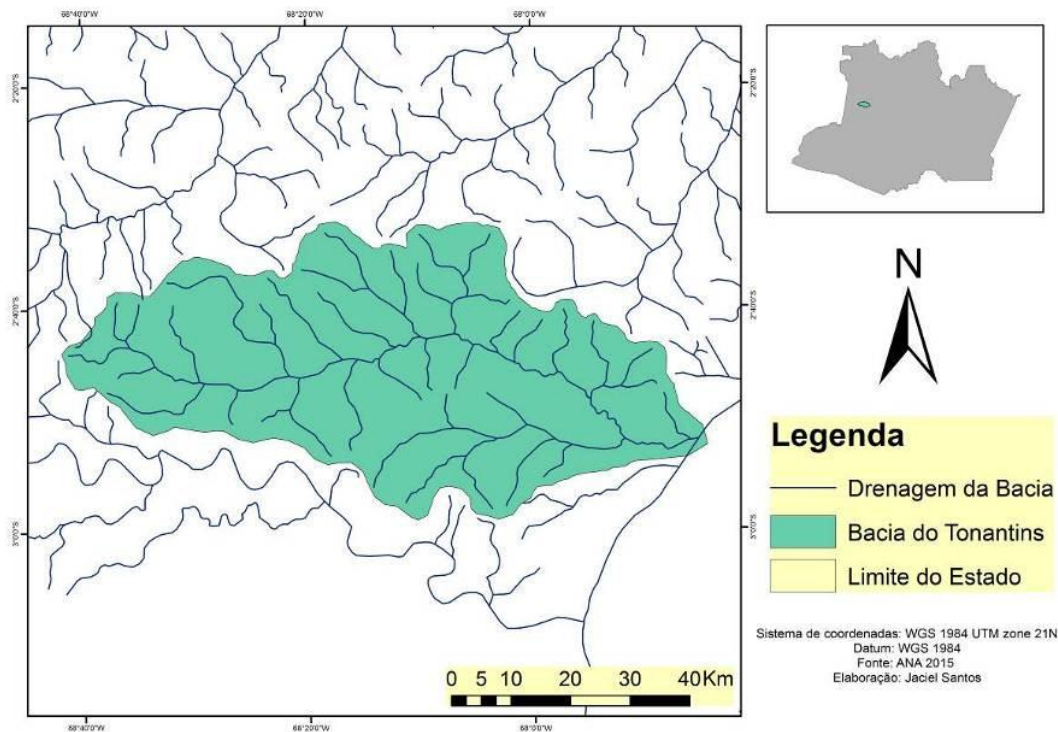


Figura 27- Mapa da bacia hidrográfica de Tonantins.

Tabela 15- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Tonantins.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALORES</b>
Área (Km <sup>2</sup> )	3.097,16
Perímetro (Km)	289,71
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,45
Fator de Forma (Kf)	0,20
Índice de Circularidade (Ic)	0,46
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,19
Comprimento do Rio Principal (Km)	123,7
Comprimento da rede de drenagem (Km)	617,35
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,15
Altitude Máxima (m)	137
Altitude Média (m)	79
Altitude Mínima (m)	6
Ordem do rio principal	2

**p) Bacia de Uarini**

Situada nas coordenadas geográficas latitude: 2° 59' 38" Sul, longitude: 65° 6' 31" Oeste, no município de Uarini (IBGE, 2016), tem como rio principal o Uarini. Esta sub-bacia hidrográfica (Figura- 28) pode ser considerada de médio porte, em relação às outras caracterizadas neste estudo. Com base em seus parâmetros morfométricos (Tabela-16), seu formato se aproxima ao do circular ( $I_c=0,62$ ), sendo assim está sujeita a alagamentos, em seu perímetro, com respostas hidrológicas lentas e alto tempo de concentração se comparado com outras sub-bacias caracterizadas neste estudo (MILLER,1953), (CHRISTOFOLETTI, 1974), BENAVIDES MORA (2008).

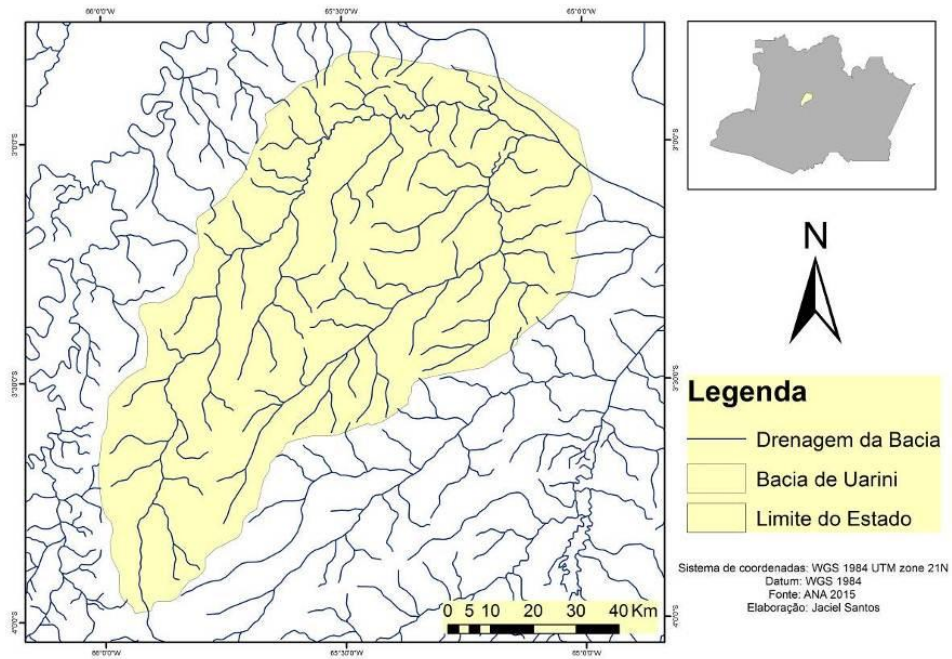


Figura 28- Mapa da bacia hidrográfica de Uarini.

Tabela 16- Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Uarini.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALORES</b>
Área (Km <sup>2</sup> )	7.803,40
Perímetro (Km)	397,15
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,25
Fator de Forma (Kf)	0,13
Índice de Circularidade (Ic)	0,62
Densidade de Drenagem (Dd) Km/Km <sup>2</sup>	0,17
Comprimento do Rio Principal (Km)	243,51
Comprimento da rede de drenagem (Km)	1.357,95
Declividade do rio Principal (m/Km)	0,40
Altitude Máxima (m)	101
Altitude Média (m)	53
Altitude Mínima (m)	4
Ordem do rio principal	2



## 5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo nos permitem aceitar as hipóteses levantadas de que a planície de inundação pode ser mapeada, por meio de imagens ópticas de sensores como o MODIS e seus produtos independentemente do ano de aquisição. Todavia a análise dos dados MODIS, realizada durante este estudo, demonstrou, contudo, que somente o uso de segmentação e classificação, como a que foi aplicada aqui, não é suficiente para atender a precisão desejada, em termos de área inundada em km<sup>2</sup> pela contaminação por nuvens. Neste contexto, recomenda-se que, para estudos futuros, sejam empregadas metodologias como a de Novo *et al.* (2005) nas quais é utilizado um modelo linear de mistura, que é uma técnica usada, para reduzir a mistura do pixel, quantificando as proporções de elementos puros que constituem o pixel misturado e, dessa forma, contornar problemas com nuvens (SHIMABUKURO; SMITH, 1991).

Os resultados deste estudo também confirmam que o modelo global ECMWF pode ser utilizado como uma fonte alternativa de dados, para auxiliar nos estudos de precipitação pluvial em regiões com baixa densidade de estações meteorológicas convencionais, como é o da região Amazônica, assim como no preenchimento de falhas, homogeneização de dados de precipitação e informações pontuais de pluviômetros coletadas nas EMCs.

No tocante às sub-bacias caracterizadas, foi verificado que elas podem ser classificadas como grandes quanto à área de modo geral. Naturalmente, as sub-bacias hidrográficas estudadas não são tão influenciadas pelas enchentes, em razão da baixa declividade, o que acarreta em respostas hidrológicas lentas, com redução dos picos de enchente, exceto nas sub-bacias do rio Urubu, no município de Itacoatiara e a do rio Jandiatuba, em São Paulo de Olivença, por serem de formato muito alongado.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, D.K.; SOUZA, E.P.; COSTA, A.A. Convecção úmida na Amazônia: implicações para modelagem numérica. **Revista Brasileira de Meteorologia** 2009; 24(2): 168-178. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000200006>, 2009.
- AHMED, S. A. et al. Evaluation of morphometric parameters derived from ASTER and SRTM DEM—a study on Bandihole sub-watershed Basin in Karnataka. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 38, n. 2, p. 227-238, 2010.
- ANA-AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS, Resolução CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2003. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.asp>, 2015.
- ANTUNES, A. F. B. Classificação orientada a objetos pelo algoritmo support vector machine de imagem rapideye. **Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto** - Geonordeste Aracaju, Brasil, 18-21 novembro 2014.
- ARAGÃO, L. E.; SHIMABUKURO, Y. E. Avaliação do Índice de Área Foliar na Amazônia. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. 1. ed. São José dos Campos: **Editora Parêntese**, p. 427, 2007.
- ARAI, E.; FREITAS, R. M. de. Pré – processamento. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org) O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: **Editora Parêntese**, 2007. 425 p.
- ARAI, E. **Software ConvGeoTiff**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.
- AYRES, J.M. As matas de várzea do Mamirauá: Médio Rio Solimões. 2ed. Brasília, DF: CNPq; Tefé, AM: **Sociedade Civil Mamirauá** 124p, 1995.
- BAGYARAJ, M.; GURUGNANAM, B.; NAGAR, Annamalai. Significance of morphometry studies, soil characteristics, erosion phenomena and landform processes using remote Sensing and GIS for Kodaikanal Hills, a global biodiversity hotspot in Western Ghats, Dindigul District, Tamil Nadu, South India. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 3, n. 3, p. 221-233, 2011.
- BALI, RAMESHWAR et al. Drainage morphometry of Himalayan Glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications. **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 4, p. 1163-1174, 2012.
- BARBOSA, C.C.F.; HESS, L.L.; MELACK, J.M.; NOVO, E.M.L.M. Mapping Amazon Basin Wetlands Trough Region Growing Segmentation and Segmented-Based Classification JERS-1 Data. **Proceedings of the IX Latin-American Symposium on Remote Sensing held at Universidad Nacional de Lujan Misiones Argentina, Nov-2000.**

BARBOSA, C.C.F., Novo, E.M.L.M., Carvalho, J.C. Waterloo, P. F. Mantovani, J. E. ; Caracterização Espectral de Massas d'águas na Amazônia. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 2419 ,2425.

BAGYARAJ, M.; GURUGNANAM, B.; NAGAR, Annamalai. Significance of morphometry studies, soil characteristics, erosion phenomena and landform processes using remote Sensing and GIS for Kodaikanal Hills, a global biodiversity hotspot in Western Ghats, Dindigul District, Tamil Nadu, South India. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 3, n. 3, p. 221-233, 2011.

BENAVIDES MORA, Victória. **Morfometria da bacia hidrográfica do rio Bobo no Estado de Nariño**, Colômbia, 2008.

BOULTON, A.G., Morphometric analysis of river basin characteristics. **Journal of Hydrology** 6 (2), 227,1968.

CEBALLOS, J. C. Produtos para atmosfera - MODIS Atmosphere. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. 1. ed. São José dos Campos: **Editora Parêntese**, p. 427, 2007.

CORREIA, Manoel Ricardo Dourado. Sensoriamento remoto hiperespectral: **avaliação do sensor R95/HSS para a espacialização e caracterização de solos no município de Manaus**. UFAM, 2009. 78 f.; il. color. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade Federal do Amazonas, 2009.

COSTA, J.E. Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States. **Journal of Hydrology** 93, 313e338, 1987.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Alerta de Eventos Críticos** – SACE Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas .asp>, 2015.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Relatório da cheia de 2012**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Monitoramento-hidrologico-preve-magnitude-da-cheia-do-Rio-Negro. asp>, 2012.

DA SILVA COSTA, E. B.; SILVA, C.L.; SILVA, M.L. Caracterização física de bacias hidrográficas na região de Manaus–Am. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, 2013.

DA SILVA FRANÇA, A.M.; FLORENZANO, T.G.; DE MORAES NOVO, E.M.L. A dinâmica do pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na estimativa da área de expansão dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio amazonas. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada** – 05 a 09 de setembro de 2005.

DE ALMEIDA, Catherine Torres et al. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279-286, 2015.

DE MELLO CUNHA, A. et al. Espacialização da precipitação pluvial por meio de krigagem e cokrigagem. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1179-1191, 2013.

DEPPE, F. et al. Validation studies of ECMWF precipitation data with observed SIMEPAR ground data (meteorological stations). In: **International Workshop on Crop Conitoring and Forecasting in South America**, 2., Proceedings. Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006. p. 83-92, 2006.

DEPPE, F. et al. Comparação de estimativas de precipitação com dados observados (estações meteorológicas). In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12., Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p.3319-3326, 2007.

DE CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: Comparação de Métodos de Interpolação 1. **Engenharia Agrícola**, 2005.

DE SOUZA, A.K.P.; BATISTA, G.T. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Alto Rio Jamaxim, Pará, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 2, n. 2, p. 69-87, 2007.

DOS SANTOS, G.R., et al. KRIGAGEM SIMPLES versus KRIGAGEM UNIVERSAL: QUAL O PREDITOR MAIS PRECISO?. **Energia na Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 49-55, 2011.

DOS SANTOS, A.M., et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 195, 2012.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos** / editores técnicos, Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* – 2.ed. – Rio de Janeiro: Embrapa solos, p. 306, 2006.

ESPER ANGILLIERI, M.Y. Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. **Environmental Geology** 55, 107e111, 2008.

EXELIS-© 2013 Exelis Visual Information Solutions, Inc. All Rights Reserved. Disponível em: <http://www.envi.com.br/index.php/modulos/fx0.asp>, 2015.

FELTRAN FILHO, A.; DE LIMA, E, F. Considerações morfométricas da bacia do Rio Uberabinha-Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v. 19, n. 1, p. 65-80, 2007.

FREITAS, R. M.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento de áreas alagáveis na Planície do Rio Amazonas a partir de dados do sensor MODIS–Região do Lago Curuaí–PA. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, p. 16-21, 2005.

FONSECA, L.M.G.; PRASAD, G.S.S.D.; MASCARENHAS, N.D.A. Combined interpolation – restoration of Landsat images through FIR filter design techniques. **Int. J. Remote Sensing**, 14(13): 2547-2561, 1993.

FISCH G, MARENGO JA, NOBRE CA. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica** 1998; 28(2): 101-126.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. **Digital elevation model issues in water resources modeling**. Esri, Users Conference, 19., 1999, San Diego. Proceedings... San Diego:. CD-ROM, 1999.

GARDINER, V. Drainage Basin Morphometry. British Geomorphological Group, **Technical Bulletin** 14, 48 pp, 1975.

GREGORY, K.J., WALLING, D.E. Drainage Basin Form and Process: **A Geomorphological Approach**. Wiley, New York, 456 pp, 1973.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/> .asp, 2015.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/> asp, 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-CSC - BDMEP - **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br> .asp, 2015.

INPE–INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS 2009. Disponível em: <http://www.inpe.br/> .asp, 2015.

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. DPI – **Divisão de Processamento de Imagem, 2002 Segmentação de Imagens**. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c\\_segmen.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_segmen.htm) .asp, 2015.

JARDIM-LIMA, D., et al. A dinâmica do Pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá-Amazônia Central. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia/INPE, p. 3069-3076, 2005.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: na earth resources perspective**. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2000.

JOHANN, J. A. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no Estado do Paraná**, 2012. UNICAMP. Tese de Doutorado, Campinas - SP, 225 p, 2012.

JRC- JOINT RESEARCH CENTRE. Disponível em: <http://www.marswiki.jrc.ec.europa.eu/datadownload/index.php> . asp, 2015.

JUNK, W.J. Wetlands of tropical South America. In: Whigham D F, Hejny S, Dykyjova D (eds.) **Wetlands of the World**. (pp. 679-739). Netherlands: Kluwer. 1997.

JUNK, W.J., Wet lands of tropical South America. In: D.F. Whigham, S., Hejny, Dykyjova, D. (eds). **Wetlands of the World**. Kluwer Publishers, The Netherlands. pp. 679-739, 1993.

JUNK, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Journal of Fishers and Aquatic**, 106: 110-127, 1989.

KIDDER SQ, Haar THV. Satellite meteorology: an Introduction. San Diego: **Academic Press**; 1995.

LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O. Produtos para ecossistemas terrestres (MODLAND). In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.) O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: **Editora Parêntese**, 423 p, 2007.

LONGO M, CAMARGO R, SILVA DIAS MAF. Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**; 19(1): 59-72, 2004.

MAJUMDAR, J. Morphometric analyses of the 4th order drainage watersheds of the Khowai river basin, Tripura, India. Some preliminary results and observations. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, 10 (3), 1982.

MCFEETERS, S.K. The use of the normalized water index (NDWI) in delineation of open water features. *Int.J. Remote Sensing*, 17(7):1425-1432, 1996.

MALIK, M. Imran; BHAT, M. Sultan; KUCHAY, Nissar A. Watershed based drainage morphometric analysis of Lidder catchment in Kashmir valley using geographical information system. **Recent Research in Science and Technology**, v. 3, n. 4, 2011.

MARTINS, F.J.P.; PINHEIRO, A. N.; CARMO, J.S.A. Passagens hidráulicas. Dimensionamento hidrológico e hidráulico e estimativa de custo assistido por computador. **Recursos Hídricos**, v. 24, n. 3, p. 37-51, 2003.

MESA, L.M. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumán, Argentina). **Environmental Geology**, 50, 1235 e 1242, 2006.

MELO, EDILEUZA CARLOS DE. **Fatores de controle dos fluxos fluviais de material em suspensão em diferentes cenários climáticos na bacia do rio Solimões**. 2012. 241 f. Tese (Doutorado em Meteorologia, Climatologia, Hidrologia e Interação Biosfera-Atmosfera) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2012.

MILLER, V.C., A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area. Virginia and Tennessee. Technical Report 3. Office of Naval Research, Department of Geology, **Columbia University**, New York, 1953.

MORAES, RAFAEL ALDIGHERI et al. Avaliação dos dados decendiais de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar simulados pelo modelo ECMWF para o Estado de São Paulo. **Irriga**, v. 17, n. 3, p. 397, 2012.

MORAES, E. C.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S. Avaliação da precipitação e sua influência sobre as áreas inundadas no Pantanal. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 2013.

MOUSSA, R. On morphometric properties of basin, scale effects and hydrological response. **Hydrological Processes** 17, 33e58, 2003.

NAG, S. Morphometric analysis using remote sensing techniques in the Chaka Sub-basin, Purulia District, West Bengal. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing** 26 (1e2), 1998.

NARENDRA, K.; RAO, K. Nageswara. Morphometry of the Meghadrigedda watershed, Visakhapatnam district, Andhra Pradesh using GIS and Resourcesat data. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 34, n. 2, p. 101-110, 2006.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. (2012) **Reverb Echo**. Retrieved from [http://www.echo.nasa.gov/reverb/about\\_reverb.htm\\_2013](http://www.echo.nasa.gov/reverb/about_reverb.htm_2013).

NOBRE, C.A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J.A. Fu R, Poveda G. Characteristics of Amazonian climate: main features. In: Keller M, Bustamante M, Gash J, Dias PS, editores. Amazonia and global change. Washington: **American Geophysical Union**; 2009. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GM000720>, 2009.

NOVO, E.M.L.M.; LEITE, F.A.; AVILA, J.; BALLESTER, M.V.; MELACK, J.M. Assessment of Amazon Flood plain Habitats Using TM/Landsat Data. **Ciência e Cultura**, 49(4): 280-284, 1997.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. São Paulo: **Edgard Blucher**, 1989.

NOVO, E.M.L.M.; BARBOSA, C.C.F.; FREITAS, R.M.; SHIMABUKURO, Y.E.; MELACK, J.M.; PEREIRA-FILHO, W. Seasonal changes in phytoplankton distribution in floodplain lakes in response to Amazon flood pulse derived from MODIS images. **Limnology accepted**. 2005.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço temporal do albedo de superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 03, pg. 55-69, 2010.

OLIVEIRA JF JR, DELGADO RC, GOIS G, LANNES A, DIAS FO, SOUZA JC et al. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Revista Floresta e Ambiente**. 2014; 21(2): 140-149. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.030>, 2014. Verificar que esta errada

OZDEMIR, HASAN; BIRD, Deanne. Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. **Environmental Geology**, v. 56, n. 7, p. 1405-1415, 2009.

PADOVANI, C. R.; PADOVANI, S. L. A. G.; BRANDÃO, M. F. Mosaico de imagens de satélite do Pantanal no ano 2000. **Embrapa Pantanal-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.



PADOVANI, C. R.; ASSINE, M. L.; VIEIRA, L. M. Inundações no leque aluvial do rio Taquari. Sergio G.; Luiz, MV; Luiz Alberto P.(Ed. Tec.). Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari-Pantanal. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, p. 184-198, 2005.

PADOVANI, C. R. **Dinâmica Espaço-Temporal das Inundações do Pantanal**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de 46 Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PALHA, W.S.M.; NOVO, E.M.L.M.; BARBOSA, C.C.F.; CARVALHO, A.S.; FORESBERG, B.R.; MELACK, J.M. “Mapeamento e Estimativa da Cobertura da Terra e Habitats Aquáticos de Várzea, Na região da Amazônia Central utilizando imagens TM-LANDSAT –5 E SAR/JERS ”. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 2853 – 2860, 2003.

PERUCCA, LAURA P.; ANGILIERI, YaninaEsper. Morphometric characterization of delMolle Basin applied to the evaluation of flash floods hazard, Iglesia Department, San Juan, Argentina. **Quaternaryinternational**, v. 233, n. 1, p. 81-86, 2011.

PIEIDADE, M.T.F.; JUNK, W.J.; PAROLIN, P. The flood pulse and photosynthetic response of trees in a white water floodplain (várzea) of the Central Amazon, Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** (27):1-6, 2000.

PITTMAN, K., HANSEN, M.C., Becker-Reshef, I., Potapov, P.V., Justice, C.O. (2010) Estimating Global Cropland Extent with Multi-year MODIS Data. **Remote Sensing**, in press, 2010.

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing [online]. Vienna, AT: **R Foundation for Statistical Computing**. Disponível em: <http://www.R-project.org/>, acesso em 2016.

REIS, R.K.G et al. **Revista Geonorte**, edição especial 4, v.10, N.1, p.476-480, (ISSN 2237-1419),2014.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Avaliação do IAF para soja no Rio Grande do Sul. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. 1. ed. São José dos Campos: **Editora Parêntese**, 2007. p. 427.

SAKAMOTO, T.; NGUYEN, N. V.; KOTERA, A.; OHNO, H.; ISHITSUKA, N.; YOKOZAWA, M. Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. **Remote Sensing of Environment**. v. 109, pg. 295-313, 2007.

SERIO, L.; SPESCHA, L.; MURPHY, G.M. Validación de las precipitaciones decádicas de la región pampeana na estimadas por el modelo atmosférico del ECMWF. In: International workshop on crop monitoring and forecasting in south america, 2. Proceedings... Montevideo: **South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting**, p.45-52, 2006.

SREEDEVI, P. D.; SUBRAHMANYAM, K.; AHMED, Shakeel. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. **Environmental Geology**, v. 47, n. 3, p. 412-420, 2005.

SREEDEVI, P. D. et al. Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS. **Journal of the geological society of india**, v. 73, n. 4, p. 543-552, 2009.

SRINIVASA VITTALA, S., GOVINDAIAH, S., HONNE GOWDA, H. Morphometric analysis of sub-watersheds in the Pavagada area of Tumkur district, South India using remote sensing and GIS techniques. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing** 32 (4), 2004.

SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.L.M.; LEAL, A.K.M. **Mosaico Digital de Imagens Landsat-TM da Planície do Rio Solimões-Amazonas no Brasil**. São José dos Campos. (INPE-6746-RPQ/681)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. IEEE. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.

SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.; MERTES, L.K. Amazon river mainstream floodplain Landsat TM digital mosaic. **Int. J. Remote Sensing**, 23(1): 57-69, 2002.

SMITH, NIGEL J.H.. Amazon Sweet Sea: Land, Life, and Water at the River's Mouth. [S.l.]: **University of Texas Press**, 2002. 1-2 p. ISBN 9780292777705

TOPALOGLU, F. Estimation of instantaneous peak flows in Seyhan river basin using regional regression procedures. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 26, 47e55, 2002.

DA SILVA COSTA, Eduardo Bulcão; SILVA, Clauzionor Lima; SILVA, Márcio Luiz. Caracterização física de bacias hidrográficas na região de Manaus–am. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, 2013.

SOUZA.C.G., et al. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002.

VAN ZUIDAM, R. Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphological mapping. The Hague: **Smiths Publishers**, 1986. 442 p.

VILELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: **Mc Graw Hill do Brasil**, 1975. 245 p.

ZARISTA, S. **Monitoramento da dinâmica de inundação no Pantanal norte com uso de índices EVI e LSWI do MODIS**. Cuiabá, 2013, 60 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso 2013.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo> 2004.

WHITESIDE, T. & AHMAD, W. **A comparison of object-oriented and pixel based classification methods for mapping land cover in North Australia**. In Spatial Science Institute Biennial Conference SSC 2005. Spatial Intelligence, Innovation and praxis, , Melbourne, Australia. Proceedings, 2005.

YOUSSEF, AHMED M.; PRADHAN, Biswajeet; HASSAN, Abdallah Mohamed. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. **Environmental Earth Sciences**, v. 62, n. 3, p. 611-623, 2011.

## ANEXO I

Mapas da área de inundação, para a série temporal de 2001 a 2012.

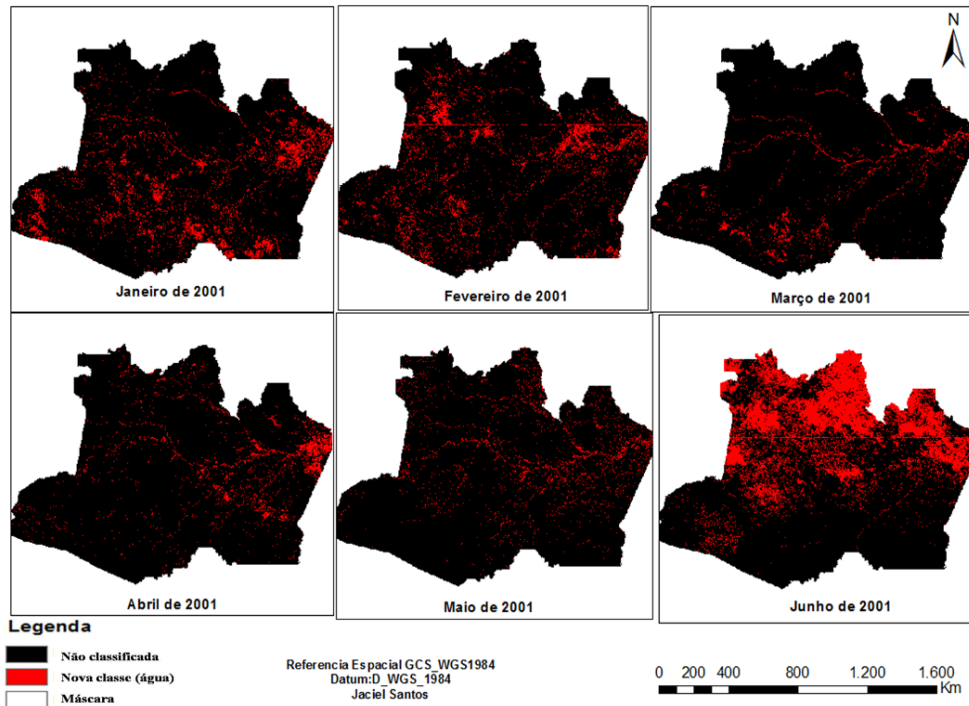


Figura 1- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2001

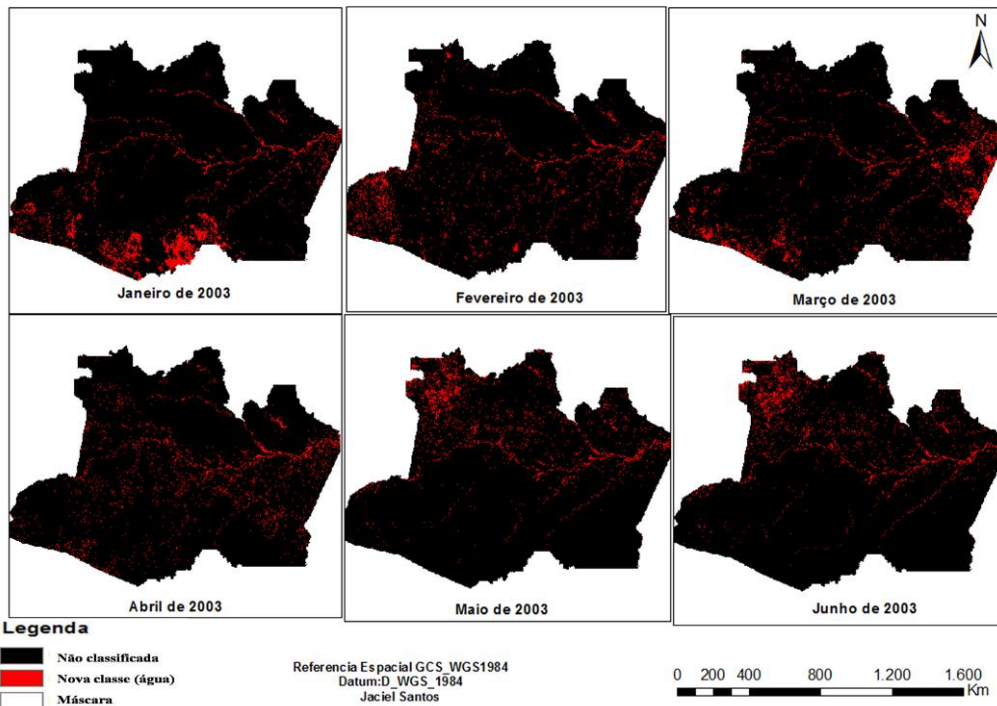


Figura 2 - Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2003.

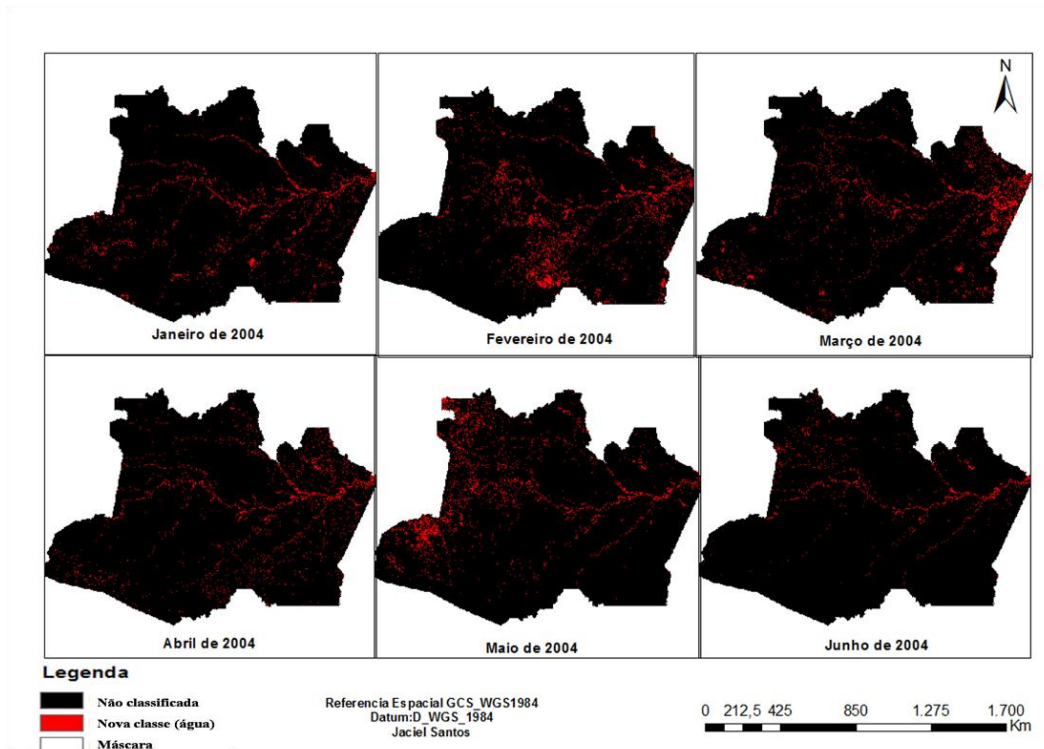


Figura 3- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2004

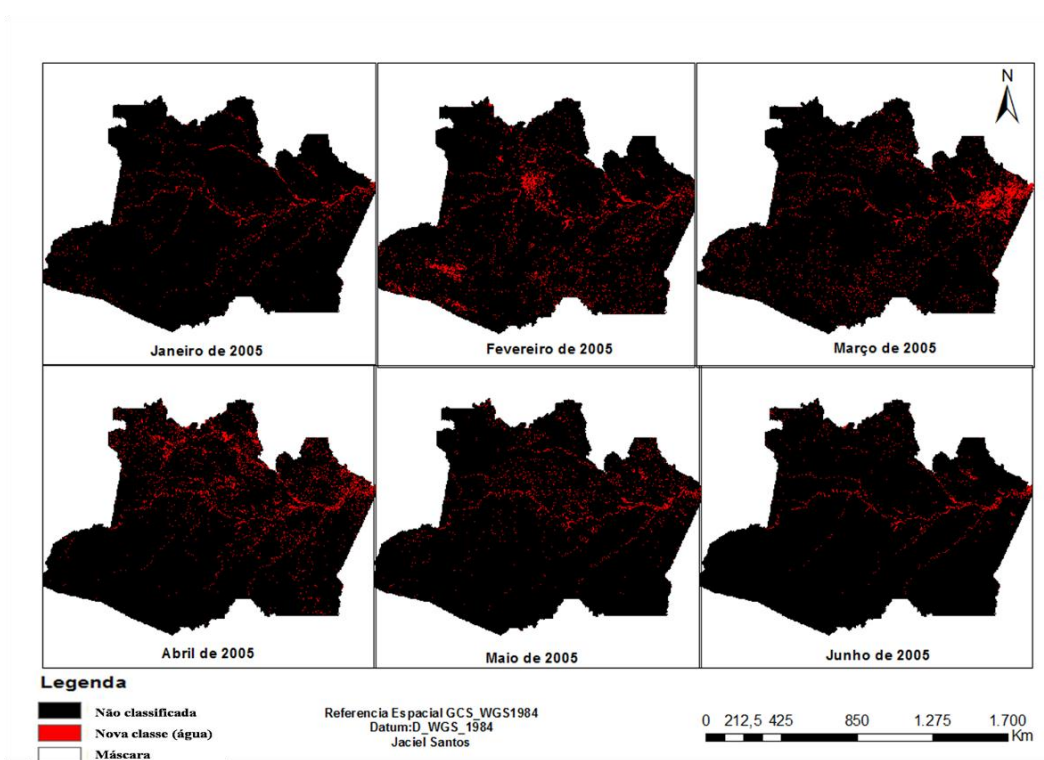


Figura 4- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2005.

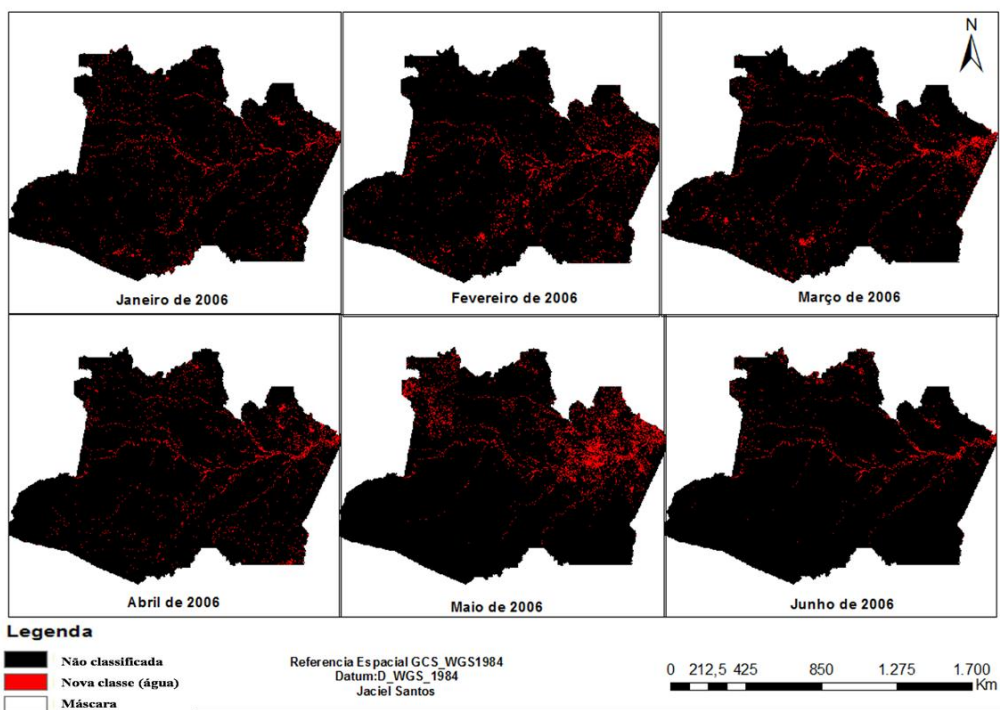


Figura 5- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2006

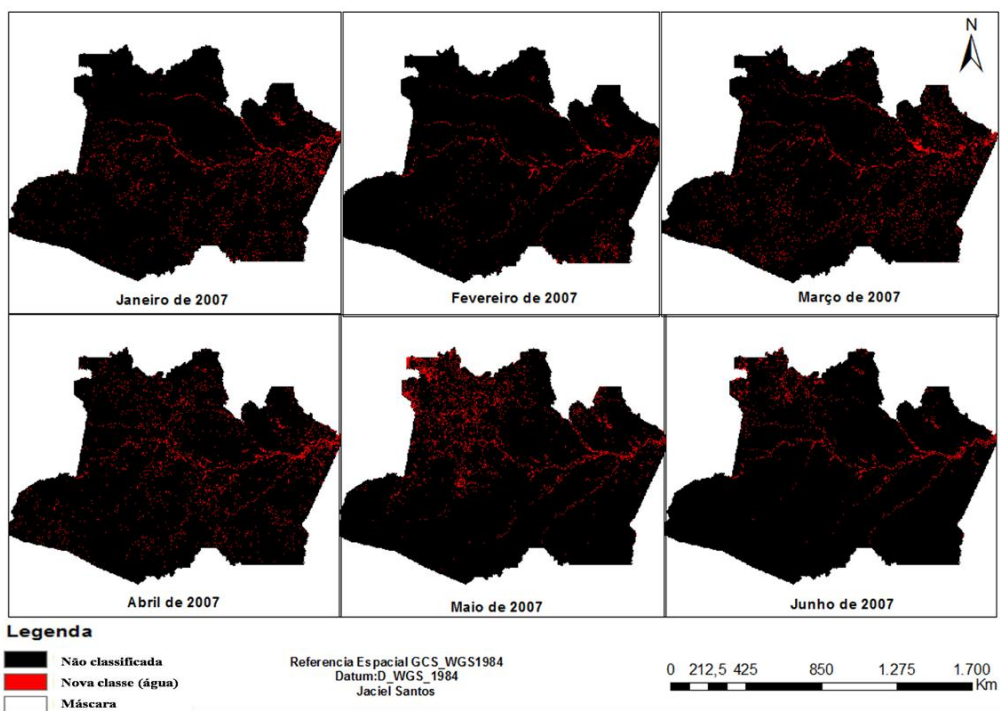


Figura 6- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2007

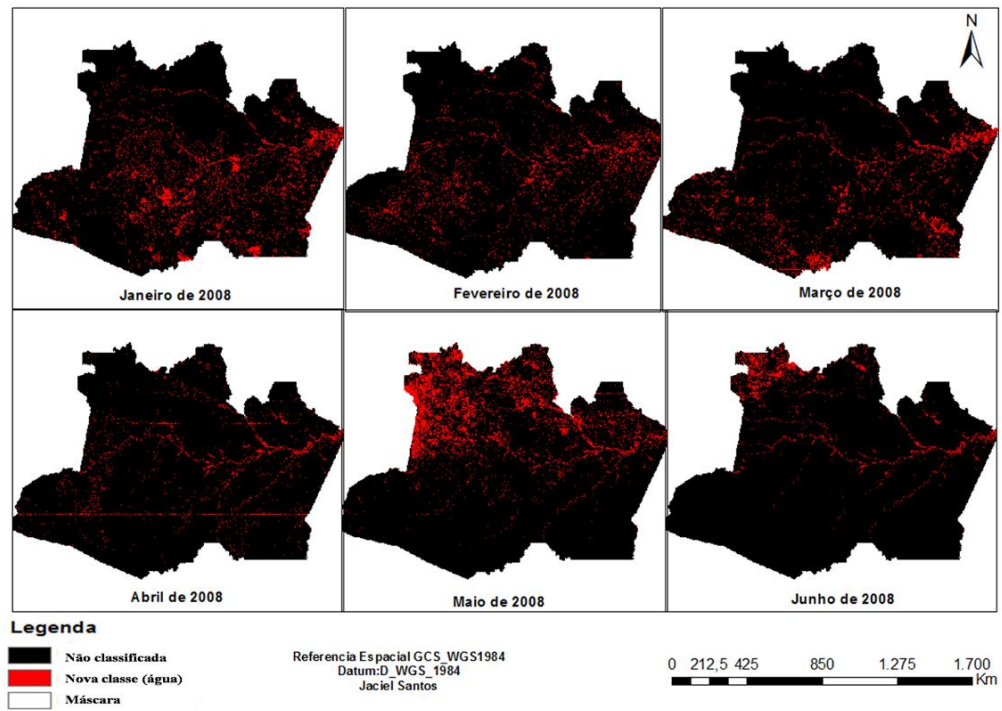


Figura 7- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2008

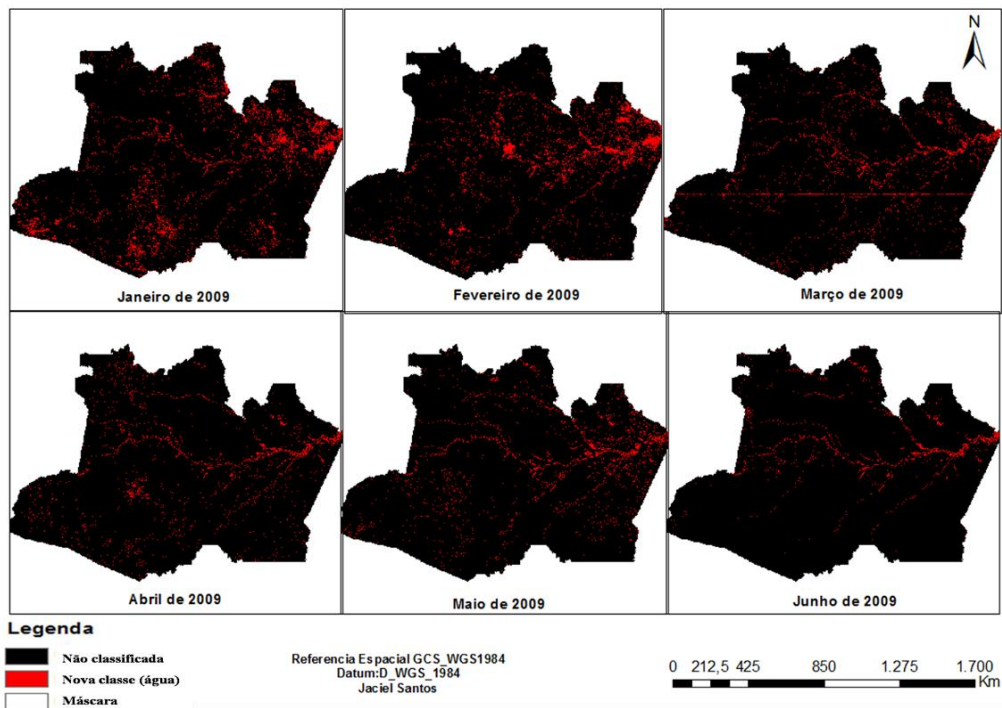


Figura 8- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2009

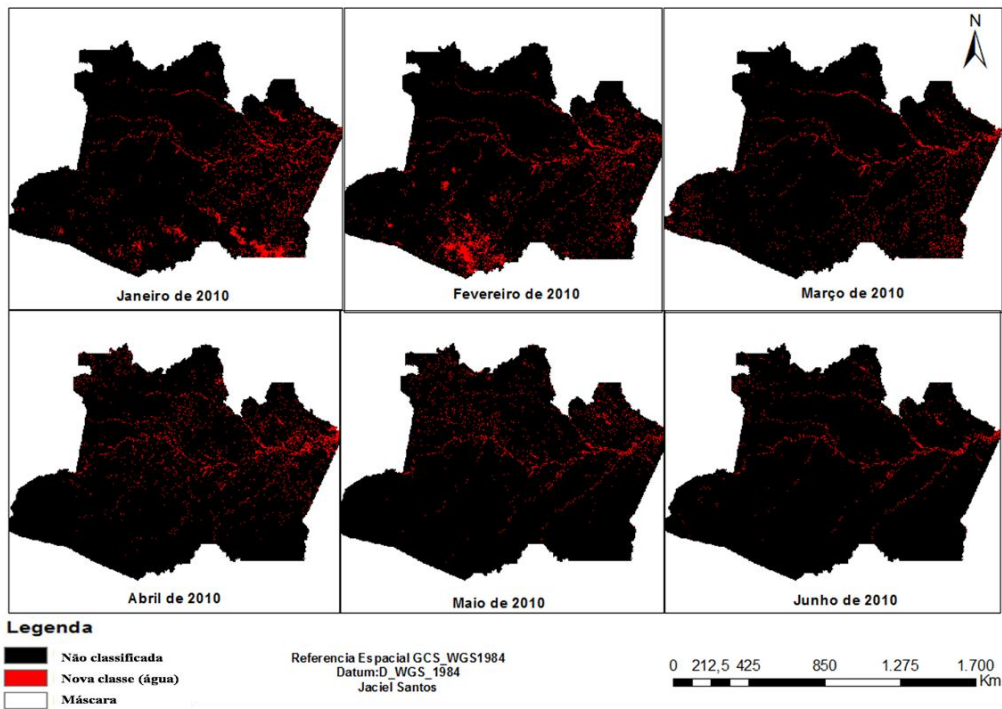


Figura 9- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2010

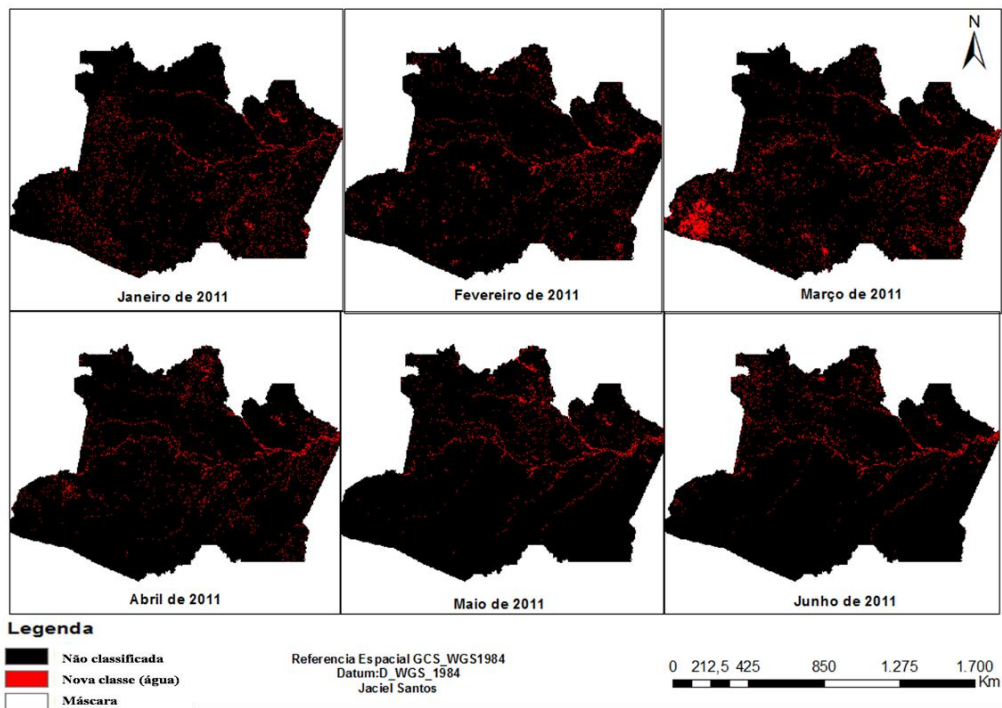


Figura 10- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2011



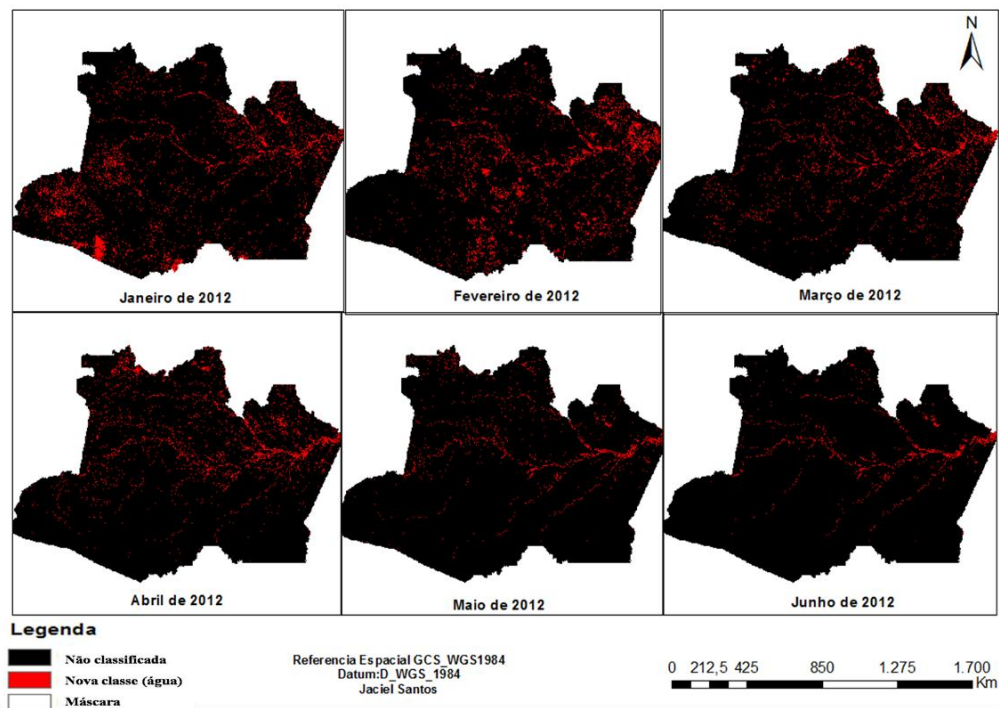


Figura 11- Mapas de inundação dos meses de janeiro a junho para o ano 2012

Quadro 1- complementar aos mapas, com anos, meses e área inundadas em km<sup>2</sup>.

ANO	MÊS	AREA KM <sup>2</sup>
2001	1	127.330
2001	2	119.929
2001	3	47.727
2001	4	67.104
2001	5	61.849
2001	6	407.694
2003	1	84.714
2003	2	66.260
2003	3	78.183
2003	4	56.432
2003	5	61.125
2003	6	61.125
2004	1	45.213
2004	2	68.555
2004	3	59.335

<b>2004</b>	4	48.577
<b>2004</b>	5	66.471
<b>2004</b>	6	24.665
<b>2005</b>	1	31.344
<b>2005</b>	2	81.998
<b>2005</b>	3	76.912
<b>2005</b>	4	77.122
<b>2005</b>	5	44.224
<b>2005</b>	6	26.025
<b>2006</b>	1	49.797
<b>2006</b>	2	60.698
<b>2006</b>	3	56.298
<b>2006</b>	4	53.757
<b>2006</b>	5	93.152
<b>2006</b>	6	30.830
<b>2007</b>	1	49.363
<b>2007</b>	2	31.870
<b>2007</b>	3	59.901
<b>2007</b>	4	58.031
<b>2007</b>	5	67.140
<b>2007</b>	6	32.752
<b>2008</b>	1	115.830
<b>2008</b>	2	77.248
<b>2008</b>	3	84.314
<b>2008</b>	4	43.008
<b>2008</b>	5	153.525
<b>2008</b>	6	46.116
<b>2009</b>	1	96.327
<b>2009</b>	2	85.743
<b>2009</b>	3	52.949
<b>2009</b>	4	46.276
<b>2009</b>	5	53.385

---

<b>2009</b>	6	29.409
<b>2010</b>	1	72.785
<b>2010</b>	2	83.082
<b>2010</b>	3	52.225
<b>2010</b>	4	59.837
<b>2010</b>	5	41.381
<b>2010</b>	6	26.144
<b>2011</b>	1	60.107
<b>2011</b>	2	52.787
<b>2011</b>	3	90.031
<b>2011</b>	4	49.715
<b>2011</b>	5	39.171
<b>2011</b>	6	37.613
<b>2012</b>	1	101.269
<b>2012</b>	2	94.585
<b>2012</b>	3	71.062
<b>2012</b>	4	67.518
<b>2012</b>	5	35.913
<b>2012</b>	6	26.347

---

## ANEXO II

Imagem interpolada para a precipitação acumulada na época de cheia, sendo os seis primeiros meses de cada ano, para a série temporal 2001 a 2012 com ênfase nas sub-bacias hidrográficas.

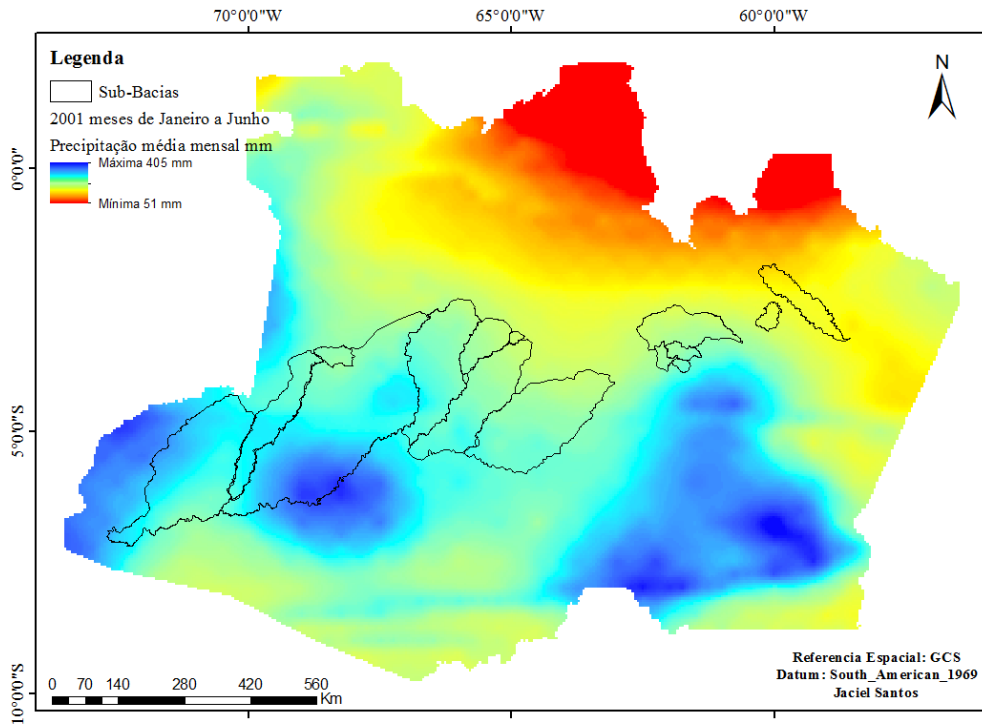


Figura 12- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2001 com ênfase nas sub-bacias

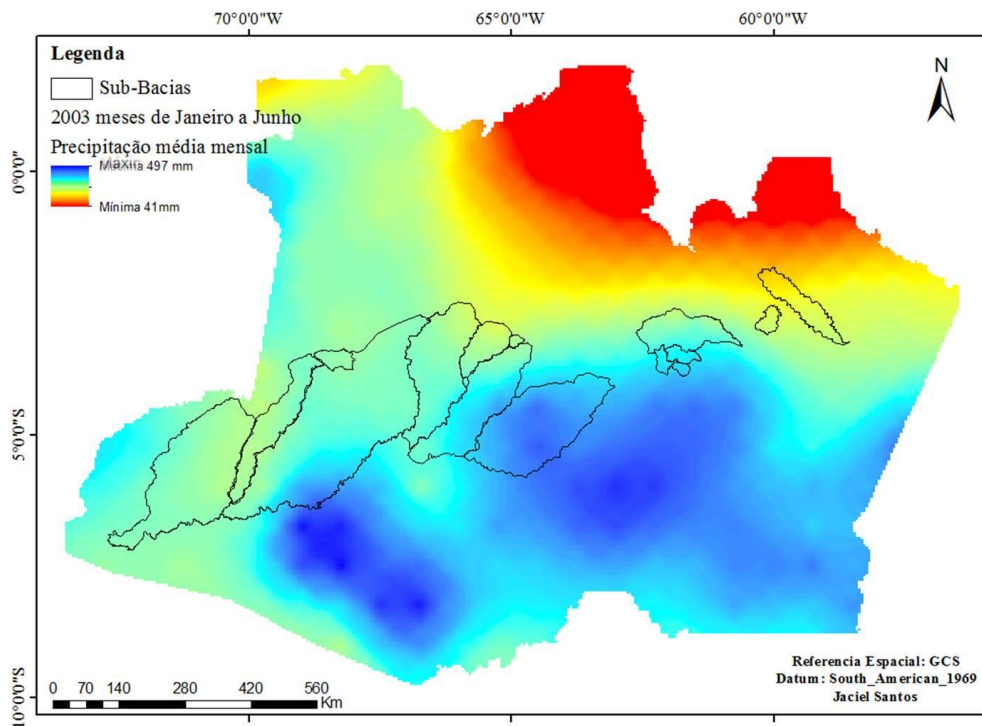


Figura 13- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2003 com ênfase nas sub-bacias

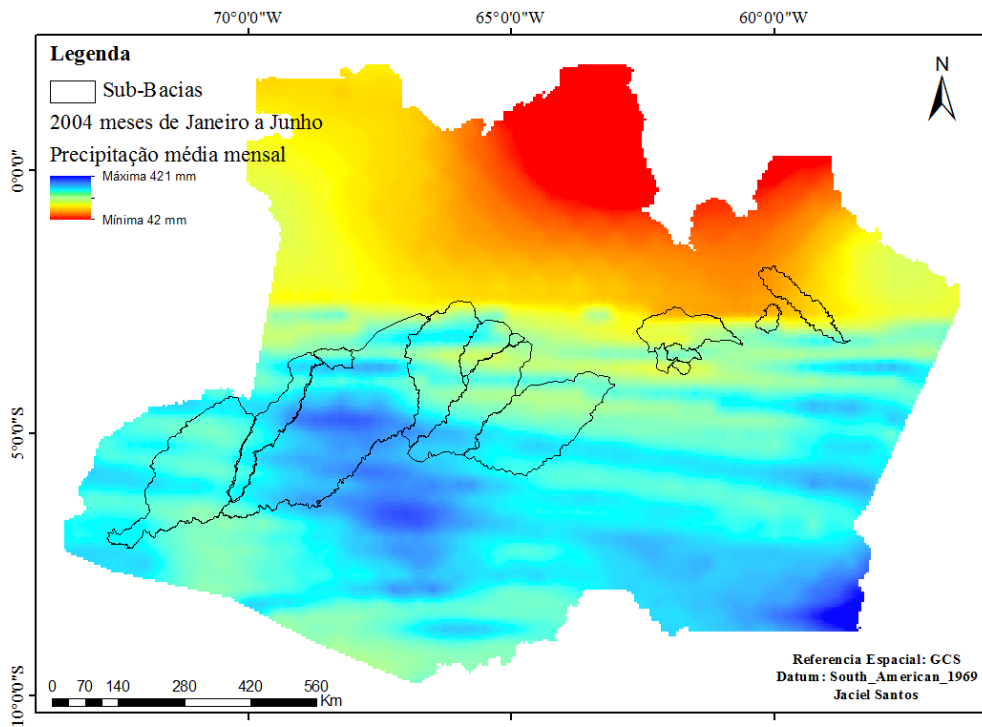


Figura 14- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2004 com ênfase nas sub-bacias

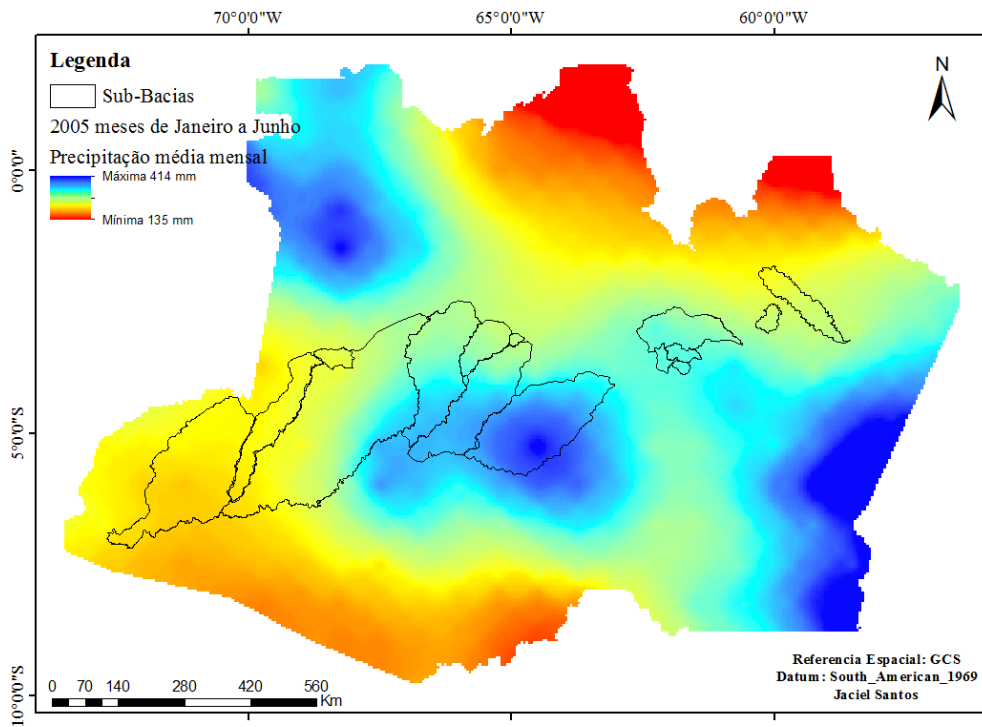


Figura 15- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2005 com ênfase nas sub-bacias

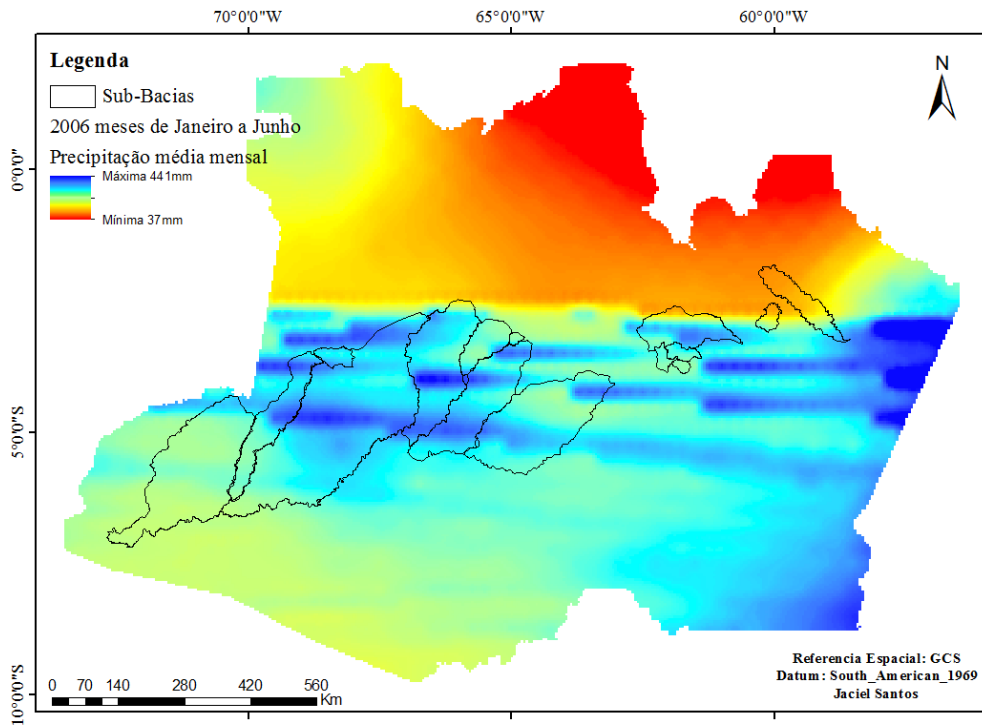


Figura 16- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2006 com ênfase nas sub-bacias

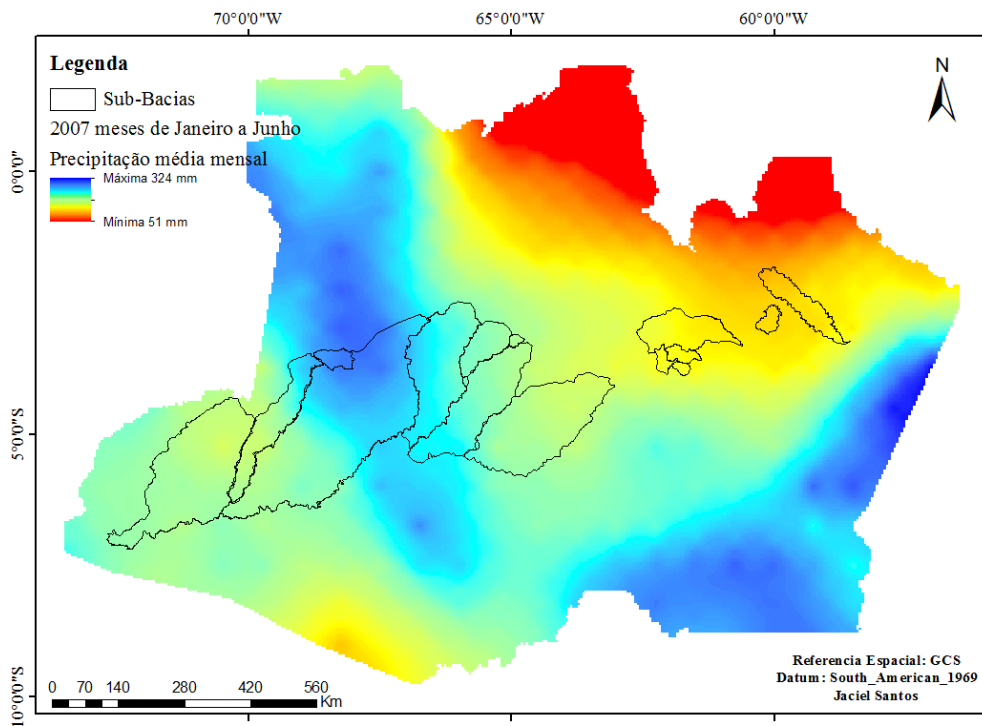


Figura 17- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2007 com ênfase nas sub-bacias

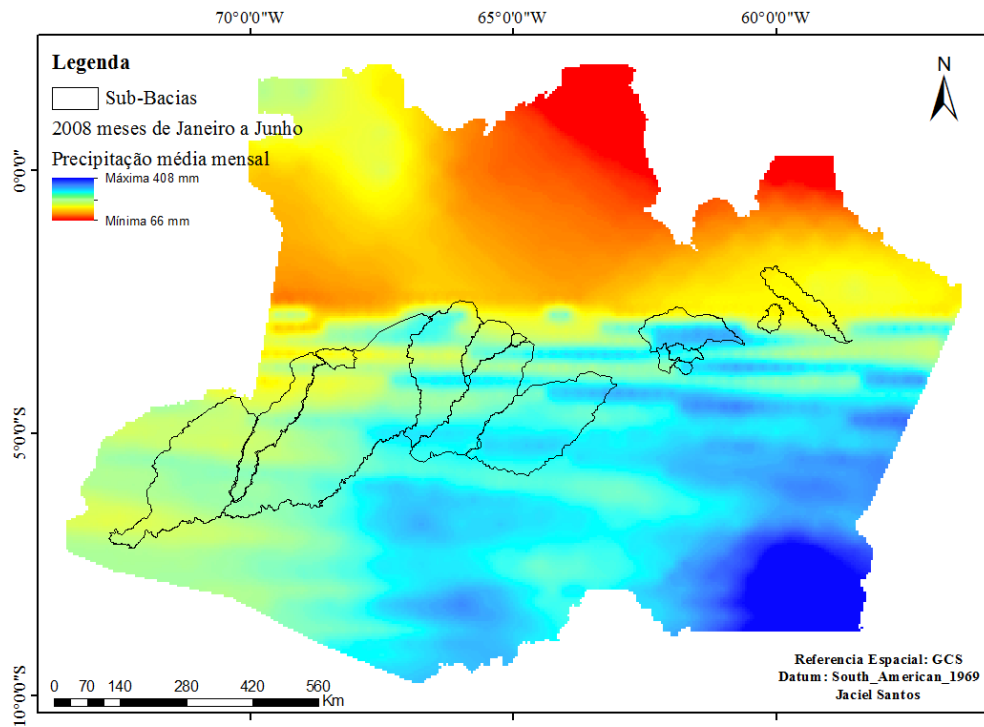


Figura 18- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2008 com ênfase nas sub-bacias

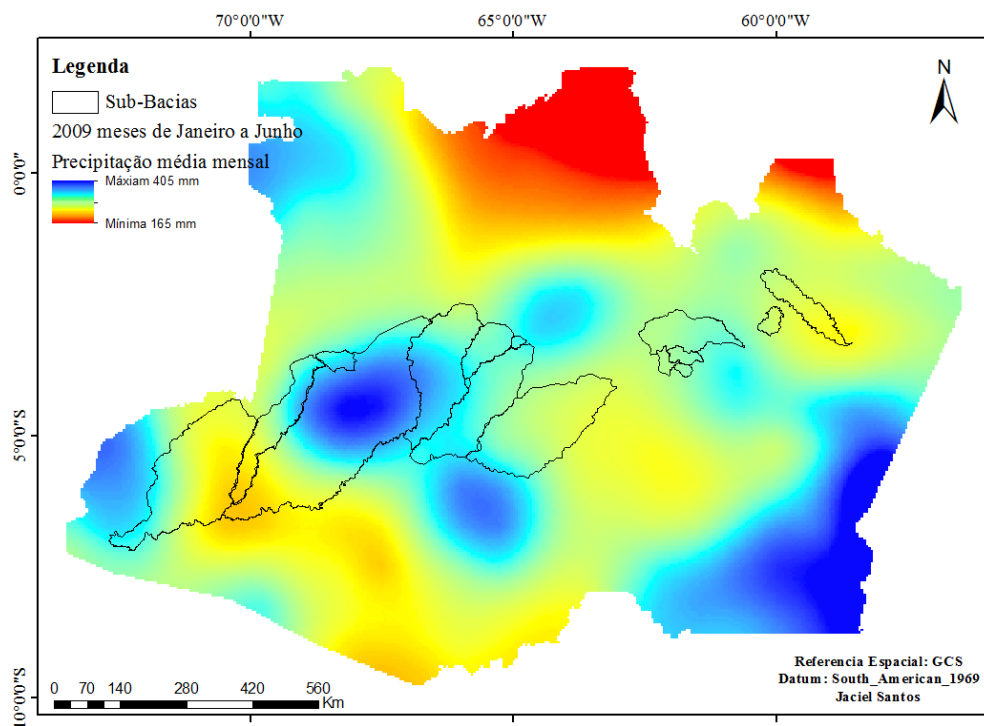


Figura 19- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2009 com ênfase nas sub-bacias

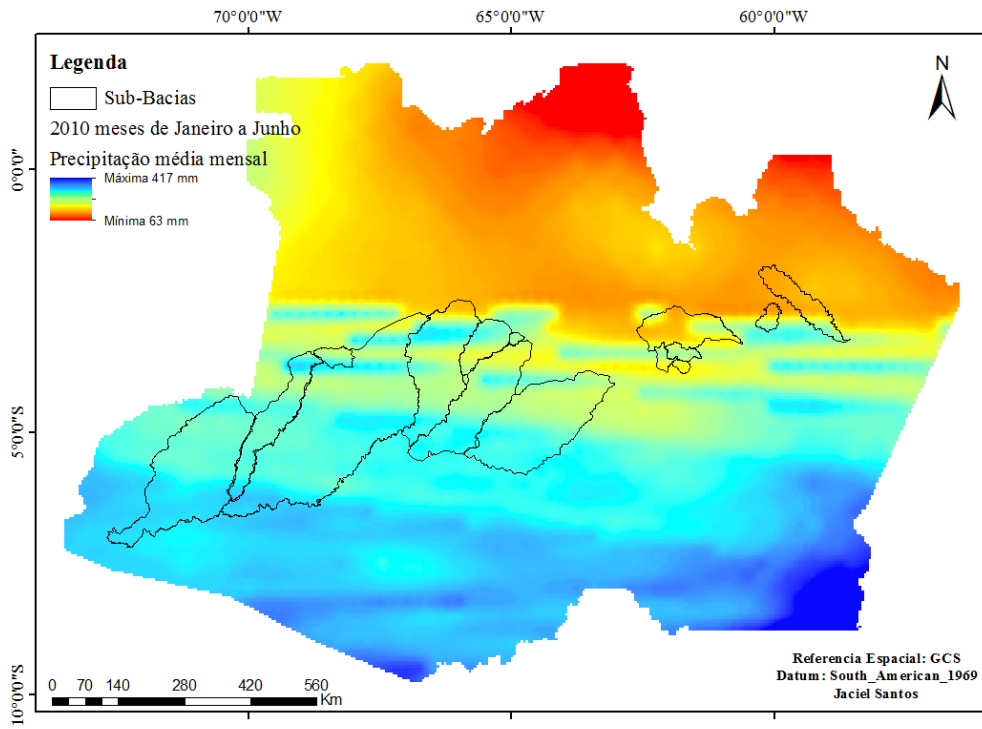


Figura 20- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2010 com ênfase nas sub-bacias

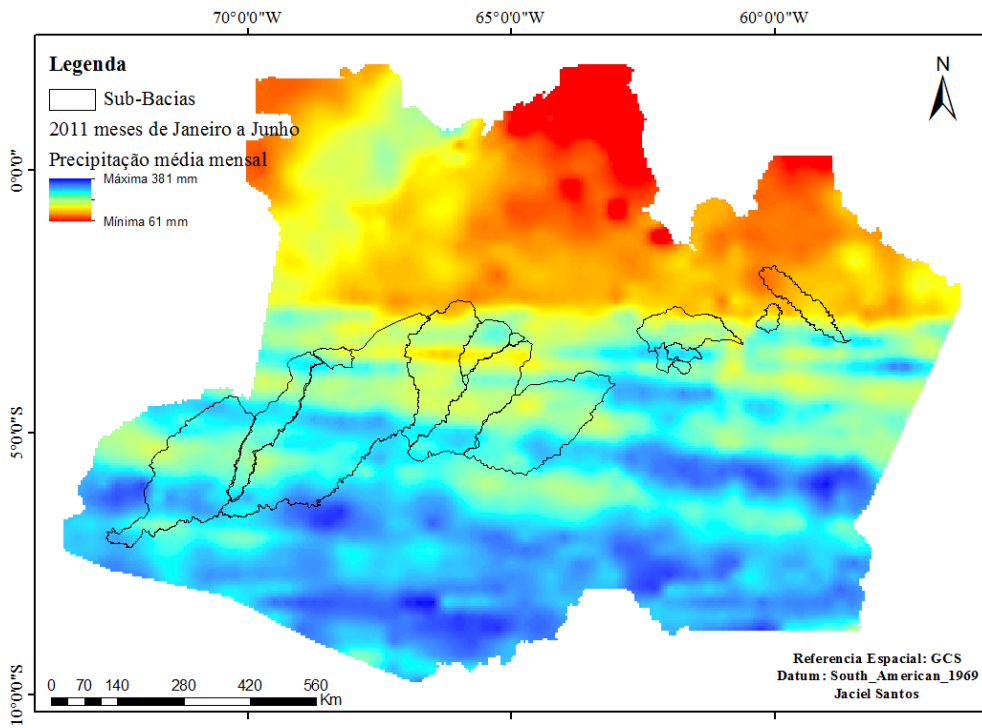


Figura 21- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2011 com ênfase nas sub-bacias



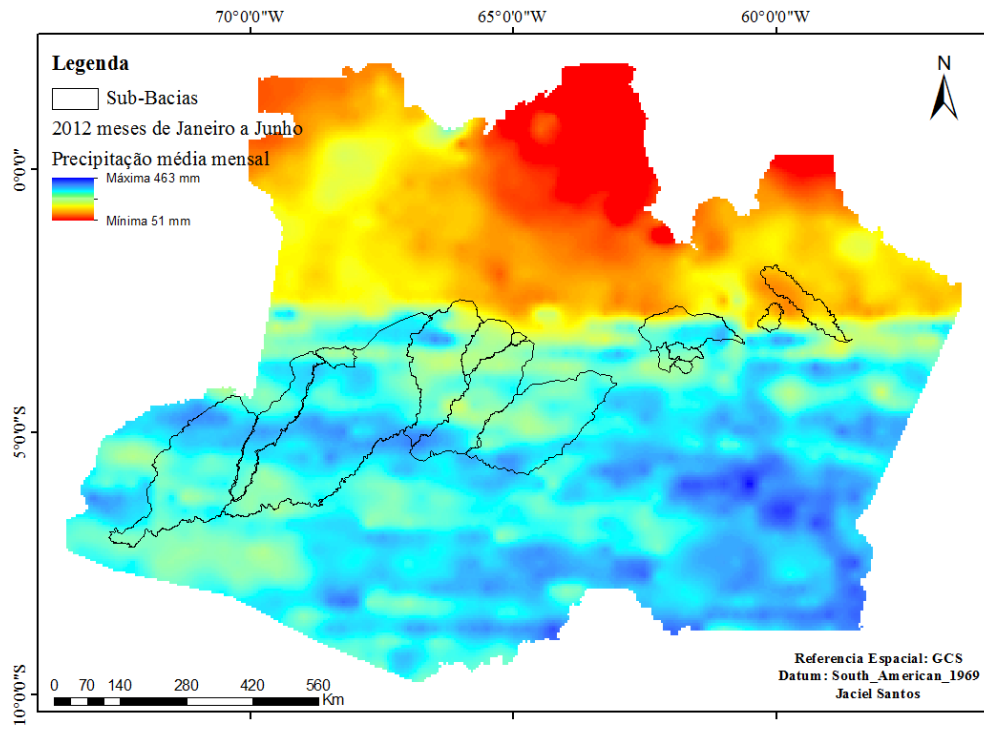


Figura 22- Imagem interpolada da precipitação acumulada da cheia de 2012 com ênfase nas sub-bacias