

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
PROFÁGUA

Bernardo Luiz Ferreira de Oliveira

MONITORAMENTO HIDROLÓGICO TRANSFRONTEIRIÇO DA BACIA
AMAZÔNICA POR ALTIMETRIA ESPACIAL

Manaus
2018

Bernardo Luiz Ferreira de Oliveira

MONITORAMENTO HIDROLÓGICO TRANSFRONTEIRIÇO DA BACIA
AMAZÔNICA POR ALTIMETRIA ESPACIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientadora: Dra. Joecila Santos da Silva

Manaus
2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

48m Oliveira, Bernardo Luiz Ferreira de
 Monitoramento Hidrológico Transfronteiriço da Bacia
 Amazônia Ocidental por Altimetria Espacial / Bernardo
 Luiz Ferreira de Oliveira. Manaus : [s.n], 2018.
 68 f.: color.; 29 cm.

 Dissertação - PGSS - Gestão e Regulação de Recursos
 Hídricos (Mestrado) - Universidade do Estado do
 Amazonas, Manaus, 2018.

 Inclui bibliografia

 Orientador: Joecila Santos da Silva

 Coorientador: Daniel Medeiros Moreira

 1. Bacia Amazônica. 2. Monitoramento hidrológico. 3.
 Altimetria espacial. I. Joecila Santos da Silva (Orient.). II.
 Daniel Medeiros Moreira (Coorient.). III. Universidade do
 Estado do Amazonas. IV. Monitoramento Hidrológico
 Transfronteiriço da Bacia Amazônia Ocidental por
 Altimetria Espacial

ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO

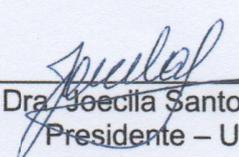
No dia 8 de outubro de 2018, às 9h, ocorreu na Escola Normal Superior - ENS, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do aluno Bernardo Luiz Ferreira de Oliveira, intitulada “**MONITORAMENTO HIDROLÓGICO TRANSFRONTEIRIÇO DA BACIA AMAZÔNICA POR ALTIMETRIA ESPACIAL**”, no Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua. A Banca Examinadora foi composta pelo(a) Profa. Dra. Joecila Santos da Silva – Presidente, Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto – Membro Interno titular, Prof. Dr. Daniel Medeiros Moreira - Membro Externo Titular, Prof. Dr. Flávio Wachholz – Membro Suplente e Profa. Dra. Stéphane Calmant – Membro Suplente. A presidente deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora, fez a leitura dos procedimentos de avaliação da dissertação e convocou o(a) aluno(a) para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu por:

Aprovação

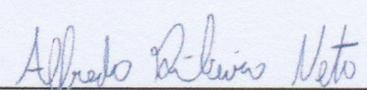
Reprovação

Aprovação condicional do Trabalho de Conclusão do Curso através de deliberação de exigências específicas da banca avaliadora.

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da banca e o discente.



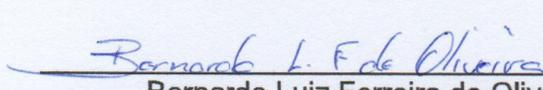
Prof. Dra. Joecila Santos da Silva
Presidente – UEA



Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto
Membro Interno – UFPE



Prof. Dr. Daniel Medeiros Moreira
Membro Interno – CPRM



Bernardo Luiz Ferreira de Oliveira
Aluno(a)

RESUMO

Este estudo teve como principal objetivo, monitorar a variação dos níveis das águas da bacia Amazônica fora o território brasileiro, fornecendo informações complementares para o Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental. O monitoramento foi realizado por meio da altimetria espacial, mais especificamente com os dados gerados pelas missões altimétricas Jason 2 e 3. Os dados altimétricos foram validados, usando como referência as séries históricas de quatro estações situadas próximas a projeção da órbita do satélite e dentro da bacia Amazônica e após essa análise, foram criadas duas Estações Virtuais de Monitoramento transfronteiriço, uma situada na calha do rio Amazonas no Peru e outra na calha do rio Negro na Venezuela. Essas estações foram inseridas em um novo modelo de Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental.

Palavra-chave: Bacia Amazônica, Monitoramento Hidrológico, Altimetria Espacial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia ocidental identificando as estações monitoradas.	8
Figura 2 Satélites da família TOPEX/Jason. Fonte: NASA, 2016.	12
Figura 3. Princípio da altimetria espacial em meio oceânico. Fonte: SILVA, 2010. ..	16
Figura 4. Princípio da medida altimétrica em hidrossistemas continentais. Fonte: Silva, 2010.	17
Figura 5. Formação do sinal do altímetro radar sob diferentes superfícies: a) em superfície oceânica; b) em superfície continental. Fonte: Mercier, 2001.	18
Figura 6. Hydroweb com as estações virtuais de monitoramento de lagos e rios. Fonte: Hydroweb-Theia, 2018.	21
Figura 7. Plataforma Hidrosat com estações virtuais, em vermelho. Fonte: Hidrosat, 2018.	22
Figura 8. Estações Virtuais na bacia Amazônica, em azul e estações linimétricas, em vermelho.	23
Figura 9. Delimitação da bacia Amazônica com as estações virtuais de validação, em amarelo e monitoramento, em vermelho. Projeções das orbitas dos satélites Jason 2 e 3, em cinza.	27
Figura 10.	29
Figura 11. Visualização da EV Manaus no MAPS, traço #063, do satélite Jason 2. Polígono de delimitação da EV, em preto e dados altimétricos em caracteres x, coloridos	30
Figura 12. Perfil hidrológico altimétrico dos dados altimétricos, caracteres em cruz, coloridos, ao longo do traço #063, do satélite Jason 2, visualizado no MAPS.	30
Figura 13. Estação linimétrica de Fazenda Passarão, identificada pelo marcador amarelo, traço #241, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do <i>Google Earth</i> em segundo plano.	36
Figura 14. Série temporal de nível de água da estação Fazenda Passarão.	37
Figura 15. Estação linimétrica de Boa Vista, identificada pelo marcador amarelo, traço #241, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do <i>Google Earth</i> em segundo plano.	38
Figura 16. Série temporal de nível de água da estação Boa Vista.	39

Figura 17. Estação linimétrica de Manaus (14990000), identificada pelo marcador amarelo, traço #063, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do <i>Google Earth</i> em segundo plano.....	40
Figura 18. Série temporal de nível de água da estação Manaus.....	41
Figura 19. Estação linimétrica de Tabatinga (10100000), identificada pelo marcador amarelo, traço #102, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do <i>Google Earth</i> em segundo plano.....	42
Figura 20. Série temporal de nível de água da estação Manaus.....	43
Figura 21. Série temporal altimétrica de nível de água da EVC Manaus.....	44
Figura 22. Série temporal altimétrica de nível de água da EVC Boa Vista.....	45
Figura 23. Série temporal altimétrica da EV Tabatinga.....	46
Figura 24. Bancos de areia na seção transversal da EVC Fazenda Passarão. Mosaico de imagens do <i>Google Earth</i> em segundo plano.....	47
Figura 25. Correlação entre a cota e o desvio para a EVC Fazenda Passarão.....	47
Figura 26. Série temporal altimétrica da EV Fazenda Passarão.....	48
Figura 27. Validação dos dados altimétricos para a EVC Manaus.....	50
Figura 28. Comparação entre os dados – Estação Tabatinga.....	51
Figura 29. Comparação entre os dados – Estação Fazenda Passarão.....	52
Figura 30. Comparação entre os dados – Estação Boa Vista.....	53
Figura 31. Série temporal altimétrica da EVC Rio Negro.....	54
Figura 32. Monitoramento transfronteiriço altimétrico na EVC Rio Negro.....	55
Figura 33. Série temporal altimétrica da EVC Solimões.....	56
Figura 34. Monitoramento transfronteiriço altimétrico na EVC Solimões.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Órgãos responsáveis pelo monitoramento hidrológico na bacia Amazônica.	7
Tabela 2. Missões altimétricas no século XXI.	10
Tabela 3. Estações Virtuais Compostas deste estudo.....	32
Tabela 4. Estações linimétricas utilizadas para a validação deste estudo.	35
Tabela 5. Validação dos dados altimétricos do Jason 2.	49

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CAER – Companhia de Água e Esgoto de Roraima

CNES – Centre National d'Études Spatiales

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNAEE – Departamento Nacional de Energia Elétrica

EUMETSAT – Europäische Organisation für meteorologische Satelliten

IRD – Institut de Recherche pour Le Développement

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

RHASA – Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Universidade do Estado da Amazônia

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional

SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

UEA – Universidade do Estado do Amazonas

SUMARIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	4
1.2.1	Objetivo Geral.....	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1.	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO.....	6
2.2.	BOLETIM DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	7
2.3.	ALTIMETRIA ESPACIAL.....	8
2.4	MISSÕES ALTIMÉTRICAS JASON 1, 2 E 3	12
2.5	PRINCÍPIO DA MEDIDA ALTIMÉTRICA	14
2.6	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS	18
2.7	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO ALTIMÉTRICO MUNDIAL – HYDROWEB THEIA.....	20
2.8	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO ALTIMÉTRICO NO BRASIL.....	21
2.9	APLICAÇÕES DA ALTIMETRIA ESPACIAL NA BACIA AMAZÔNICA	23
3.	MATERIAIS E MÉTODO.....	26
3.1	ÁREA DE ESTUDO	26
3.2	DADOS	27
3.2.1	Dados Altimétricos.....	27
3.2.2	Dados Linimétricos	28
3.3	MÉTODOS.....	28
3.3.1	Estações Virtuais.....	29
3.3.2	Séries Temporais	31

3.3.3	Validação dos Dados Altimétricos.....	32
3.3.4	Monitoramento Transfronteiriço da Bacia Amazônica	33
4.	RESULTADOS.....	35
4.1	SÉRIES TEMPORAIS DOS NÍVEIS DE ÁGUA	35
4.1.1	Estações Linimétricas.....	35
4.1.2	Estação Fazenda Passarão.....	35
4.1.3	Estação Boa Vista	37
4.1.3	Estação Manaus.....	39
4.1.4	Estação Tabatinga.....	41
4.1.5	Estações Virtuais Compostas	43
4.2	VALIDAÇÃO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS	48
4.3	MONITORAMENTO TRANSFRONTEIRIÇO DA BACIA AMAZÔNICA	53
4.4	Modelo do Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental.	57
5	CONCLUSÕES.....	59
	REFERENCIAS	62
6	APENDICE I – BOLETIM DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	68

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O monitoramento das variáveis do ciclo hidrológico normalmente é realizado por uma rede de estações hidrometeorológicas. O Brasil possui uma rede composta por aproximadamente 4 mil estações, que monitoram parâmetros como precipitação, temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, níveis da água, vazão, descarga sólida e qualidade da água. Esse conjunto de estações é denominado de Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Segundo Ibiapina et al. (1999), os levantamentos hidrológicos no Brasil tiveram início há mais de cem anos, quando foram instaladas as primeiras estações pluviométricas com medições regulares. O monitoramento surgiu com o propósito de estudar e levantar os aproveitamentos da energia hidráulica para a geração de eletricidade. A Agência Nacional das Águas (ANA) é responsável pela coordenação das atividades da RHN. As informações coletadas são utilizadas pela agência para cumprir seu papel na gestão eficiente dos recursos hídricos, assim como para o desenvolvimento de projetos em segmentos da economia dependentes do uso da água, como a agricultura, transporte aquaviário, geração de energia elétrica, saneamento e aquicultura (ANA, 2018).

Para que a gestão dos recursos hídricos seja eficiente é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico em todo o território da bacia hidrográfica, uma vez que ela é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei 9433/1997, e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Os territórios de algumas bacias hidrográficas brasileiras muitas vezes abrangem outros países, limitando a atuação dos entes que compõem o SINGREH. Exemplo dessa situação é a bacia Amazônica, que além do Brasil, ocupa parte do território do Peru, Bolívia, Colômbia, Equador, Venezuela e Guiana. Nesses outros países não é possível a obtenção de dados hidrometeorológicos da forma convencional adotada pela RHN.

Uma fonte de informação importante para a gestão dos recursos hídricos na bacia Amazônica são os boletins de monitoramento hidrológico, pois a maior parte da população habita as margens de seus rios e usam dos mesmos para obtenção de alimento, transporte e abastecimento. Segundo o SIDARMA (2018), o abastecimento de 90% dos municípios com produtos industrializados, combustível para geração de energia termoelétrica e alimentos no estado do Amazonas, são realizados por via fluvial. No entanto, a ausência de dados hidrológicos em toda a área da bacia Amazônica prejudica diversos trabalhos e estudos dependentes desse tipo de informação. É o caso do “Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental”, que se limita a fornecer informações dos níveis dos rios apenas dentro do território brasileiro.

O Boletim é um projeto institucional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que tem como objetivo, fornece para a sociedade informações atualizadas sobre os níveis dos rios nas principais estações hidrometeorológicas situadas na bacia Amazônica Ocidental, apresentando uma breve comparação do comportamento hidrológico atual com o observado nas séries históricas. Além disso, prevê com certa brevidade, o comportamento futuro do nível do rio nas estações tendo em vista o comportamento hidrológico das estações à montante. As informações presentes no Boletim são limitadas a área de atuação da RHN. As primeiras estações estão situadas em Tabatinga (Solimões) e São Gabriel da Cachoeira (Rio Negro). Como não há informações hidrológicas a montante dessas estações, não é possível fazer o prognóstico do comportamento do nível dos rios nesses locais. Para solucionar esse problema, em parte, uma alternativa de complementação para o monitoramento hidrológico é o emprego da altimetria por satélites, também chamada de altimetria espacial (CALMANT e SEYLER, 2006).

A altimetria espacial é uma tecnologia de sensoriamento remoto que, através do uso de radares altímetros em plataformas orbitais, permite, há mais de 30 anos, o monitoramento dos oceanos, passando, também, a ser aplicada, nos últimos 18 anos, a estudos em águas continentais (CALMANT e SEYLER, 2006). Utilizar os dados de satélite para observação da Terra, possibilita uma visualização da superfície em escala continental, especialmente nas regiões remotas, de maneira

eficaz e homogênea, realizando uma observação com um detalhamento tanto espacial, como temporal que as estações *in situ* não permitem (FLORENZANO, 2002). A altimetria espacial, inserida nesta área temática, fornecem dados de níveis de água em rios e lagos, com aceitável resolução espacial e temporal (BIRKETT et al., 2002; FRAPPART et al., 2005; SILVA, 2010). A Amazônia é uma região potencial para as aplicações de altimetria por satélites. Seus extensos rios possibilitam grandes faixas de aquisição de dados fluviométricos via sensoriamento remoto. Além disso, a grande contribuição para a gestão dos recursos hídricos é a possibilidade de aquisição de dados em regiões de difícil acesso e pouco monitoradas (SILVA et al, 2014).

Partindo-se da hipótese que, as séries temporais de dados altimétricos reproduzem com fidelidade as variações dos níveis de água, fornecendo dados úteis para subsidiar estudos hidrológicos na bacia hidrográfica, unidade territorial para a implementação da PNRH, buscou-se reunir dados/informações com o propósito de responder ao seguinte problema, inserido na linha de pesquisa ferramentas aplicadas aos instrumentos de gestão de recursos hídricos, da área de concentração instrumentos de política de recursos hídricos, do PPG em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos: Como a utilização dos dados altimétricos, focalizando-se em áreas além das fronteiras brasileiras, pode aprimorar o Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental?

Com base neste questionamento, esta pesquisa aplicada e exploratória, buscou subsídios dentro do contexto da altimetria espacial, mais especificamente nas estimativas das variações de níveis de água dos rios da bacia Amazônica, pelas missões altimétricas Jason 2 e 3, para estabelecer critérios, métodos e técnicas visando aprimorar o Boletim de Monitoramento da Amazônia Ocidental, oferecendo informações além dos limites fronteiriços do Brasil.

Devido à magnitude e repercussão dos eventos de enchentes e vazante observados nos últimos anos na região Amazônica, o desenvolvimento deste projeto é questão prioritária ao Estado do Amazonas, pois permitirá identificar o comportamento dos rios com nascentes nos países que fazem fronteira hidrológica

com o Brasil, suas variabilidades, sazonalidades, assim como os regimes hidrológicos e seus impactos relacionados com as mudanças climáticas, trazendo maior eficiência no controle das inundações ou secas, bem como dos seus efeitos, auxiliando na sustentabilidade hidrológica no Estado.

A viabilização dessa proposta com base no monitoramento por altimetria, proporciona a possibilidade de explorar zonas remotas na região, fortalece o intercâmbio de pesquisas e a troca de conhecimentos com a CPRM, possibilitando a interação com os órgãos internacionais, acrescentando o entendimento e a melhor compreensão da resposta hidrológica da bacia Amazônica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Monitorar a variação dos níveis das águas da bacia Amazônica fora do território brasileiro, fornecendo informações complementares para o Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental, como forma de garantir maior agilidade e precisão nas ações decorrentes do comportamento dos rios.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar estações virtuais e séries temporais altimétricas para estações de monitoramento transfronteiriço da bacia Amazônica;
- Estimativa do erro das medidas dos níveis de água, fornecidas pelo satélite altimétrico Jason 2 e 3, utilizando o algoritmo de tratamento das Formas de Ondas Ice-1, comparando-os com medidas *in situ* das estações fluviométricas da RHN;
- Criar um modelo de Boletim de Monitoramento Hidrológico Altimétrico da Amazônia Ocidental.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução e contextualização do assunto, levantando o problema, justificando a sua importância, incluindo-se também os objetivos a serem alcançados com a pesquisa. No segundo capítulo consta a revisão de literatura, abordando trabalhos anteriormente, apresentando a evolução histórica do monitoramento hidrológico, desde o Mundial ao Regional, seguido da origem da Altimetria Espacial e aplicação de estudos na Amazônia. Posteriormente, no terceiro capítulo, descreve a área de estudo, os dados *in situ*, dados altimétricos e a metodologia utilizada no trabalho. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos. Finalizando, no capítulo cinco são apresentadas as conclusões e perspectivas de prosseguimento da pesquisa, seguidas pelas referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

Segundo Ibiapina et al. (1999), o grande avanço na hidrometria se deu na década de 70, do século passado, com a criação do Sistema de Informações Hidrológicas (SIH), por meio de uma parceria entre o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) com o *United States Geological Survey* (USGS). Nesse âmbito foi instituído o “Projeto Hidrologia”, que dividiu o território em oito grandes bacias hidrográficas (Amazônica, Tocantins-Araguaia, Paraíba, São Francisco, Paraguai, Leste, Sul e Tietê-Paraná), cada uma delas subdivididas em 10 sub-bacias. Nesse mesmo período foi iniciada a implantação da rede hidrometeorológica na bacia Amazônica. Os trabalhos de operação e manutenção dessa rede foram iniciados pela CPRM/Superintendência Regional de Manaus, na época prestando serviço ao extinto DNAEE, seguido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a partir de 2001, a ANA, que hoje possui mais de 4 mil estações de monitoramento espalhadas por todo o território nacional. Dentre estas, tem-se as estações pluviométricas para medição de chuvas, as sedimentométricas, mensurando sedimentos e as fluviométricas aferindo nível e vazão de rios.

Portanto, o desenho atual da RHN é resultado de um processo desenvolvido ao longo de várias décadas no Brasil. Atualmente foi identificada a necessidade de uma revisão estruturada das demandas de interesse atendidas por cada ponto de monitoramento, assim como da otimização das atividades de campo e, ainda, da consolidação do uso de novas tecnologias para coleta, transmissão, armazenamento e disseminação dos dados a toda a sociedade. Neste contexto, em 2015 a ANA, celebrou um acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), seu principal parceiro, e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) para revisar a RHN, de forma que ela possa atender com excelência aos desafios da gestão de recursos hídricos, provendo dados confiáveis, representativos e tempestivos. Todas as informações geradas pela RHN são disponibilizadas pelo SINGREH, na plataforma HidroWeb.

2.2. BOLETIM DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Nas últimas décadas, eventos hidrológicos extremos afetaram a bacia Amazônica colocando em risco a sua grande quantidade de recursos naturais, causando danos sociais consideráveis as populações ribeirinhas, ocasionando dificuldades de transporte, navegação, escassez de alimento e de água e doenças epidêmicas. Estes eventos extremos, conduzidos inicialmente por anomalias climatológicas, causaram inundações, tal como em 1999, 2006, 2009 e 2012, ou vazantes, como em 1998, 2005 e 2010 (MARENGO, 2007; TOMASELLA *et al.*, 2010; ESPINOZA *et al.*, 2009 e 2011; CHAVARRI *et al.*, 2013). Sistemas de monitoramento e alerta hidrológicos são ferramentas que auxiliam na tomada de decisões para a mitigação dos danos causados por tais eventos extremos.

Apesar da Amazônia, possuir rios transfronteiriços, o serviço de monitoramento hidrológico ainda é a nível federal, com cada país possuindo um Órgão responsável pela obtenção dos dados (Tabela 1). Assim, cada um faz seus estudos climatológicos, hidrometeorológicos, agrológicos e ambientais conforme a suas necessidades de gestão dos recursos hídricos.

Tabela 1. Órgãos responsáveis pelo monitoramento hidrológico na bacia Amazônica.

País	Órgão
Bolívia	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrologia – SENAMHI
Colômbia	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM
Equador	Consejo Nacional de Recursos Hídricos – CNRH
Guiana	Guyana Water Authority / Hydraulic Research Division – GWA/HRD
Peru	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrologia – SENAMHI
Suriname	Ministry of Public Works / Hydraulic Research Division – MPW/HRD
Venezuela	Dirección General de Cuencas Hidrográficas

Em Manaus, o Sistema de Monitoramento de Eventos Críticos (SACE) é um sistema computacional feito em Java, capaz de coletar, armazenar, analisar e divulgar os dados das estações automáticas coletados por diversos equipamentos hidrometeorológicos (CPRM, 2018). O SACE é responsável por prever e divulgar a

previsão de cheias do rio Negro. Devido às características hidrológicas da bacia e a extensão da série histórica, são feitas previsões de cota máxima com antecedência de 90, 60 e 30 dias antes do evento de cheia. Além disso, SACE é responsável por emitir semanalmente o Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental. O Boletim tem como principal objetivo, fornece para a sociedade informações hidrológicas atualizadas das principais estações hidrometeorológicas da Amazônia Ocidental, apresentando uma breve comparação entre o comportamento hidrológico atual e o observado ao longo das respectivas séries históricas (CPRM, 2018).

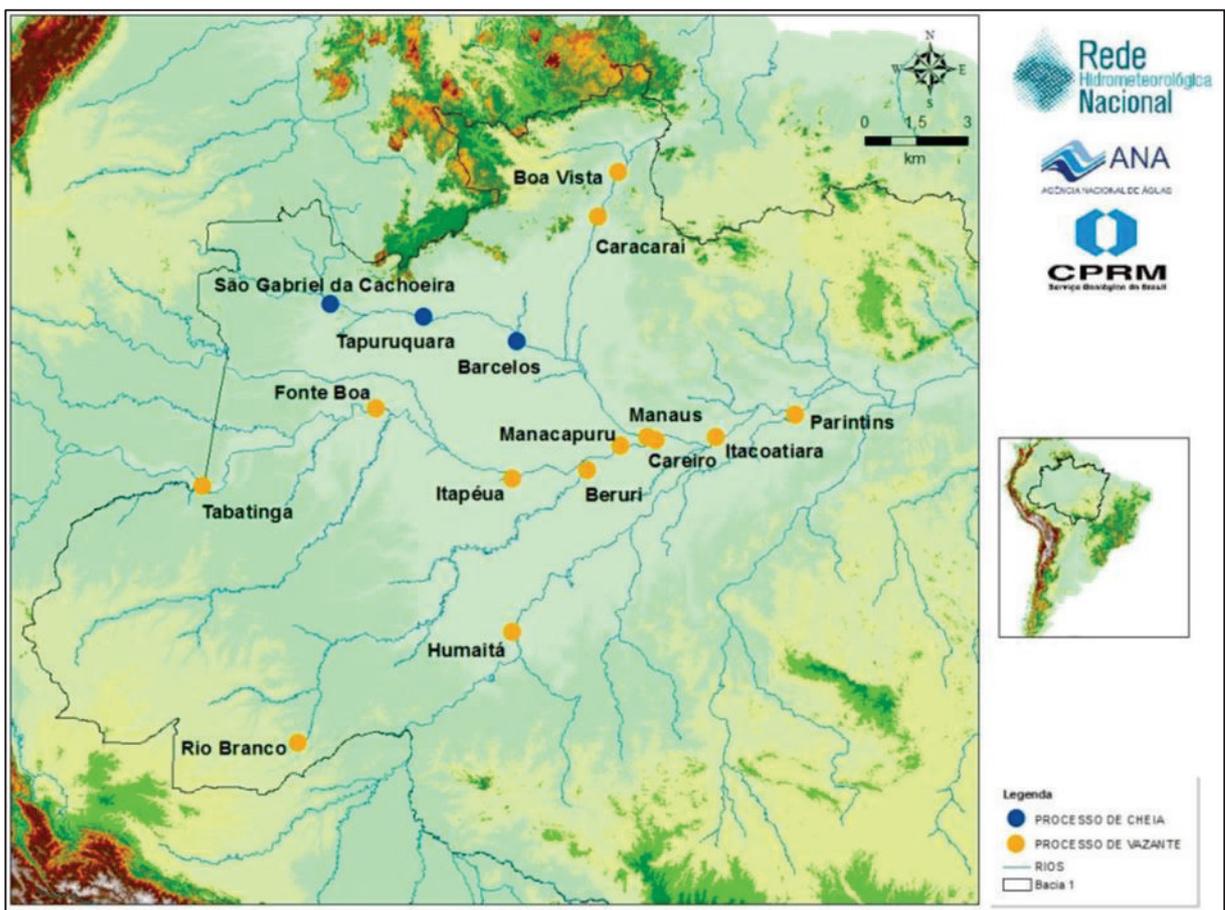


Figura 1. Mapa do Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia ocidental identificando as estações monitoradas. Fonte: CPRM, 2018.

2.3. ALTIMETRIA ESPACIAL

As primeiras medidas altimétricas para determinar a topografia e a superfície dos oceanos foram realizadas no início da década de 1970. Em 1969, a NASA

estabeleceu os objetivos de longo prazo da altimetria espacial por radar. O primeiro altímetro a bordo de um satélite foi lançado pelos Estados Unidos, com destaque para os satélites Skylab, em 1973, GEOS-3, em 1975, Seasat, em 1978, e Geosat, em 1985 (SILVA, 2010).

A partir da década de 1990, duas grandes famílias de satélites altimétricos foram desenvolvidas. A primeira, por meio de um esforço conjunto entre o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Esse projeto, especificamente dedicado ao estudo dos oceanos, foi embarcado nos satélites Topex/Poseidon (T/P) (1992-2006) e seus sucessores Jason 1 (2001-2013) e Jason 2 (2008-) e Jason 3 (2016-). A *European Space Agency* (ESA) concebeu a segunda família, desenvolvida para o estudo dos oceanos e das terras firmes, embarcada nas plataformas ERS 1 (1991-2000), ERS 2 (1995-2011) e ENVISAT (2002-2012). O estudo das terras firmes se dá a partir de um módulo continental, instalado nesses altímetros. Dessa forma, sob certas condições, é possível adquirir medidas nos continentes e nas calotas polares. Em 2000, a marinha norte-americana (*U.S. Navy*) lançou o satélite GFO, para dar continuidade à missão Geosat e, em 2003, a NASA lançou o satélite Icesat (2003-2009), com um altímetro a laser embarcado (SILVA, 2010).

A partir do século XXI houve um crescimento significativo na quantidade de missões altimétricas (Tabela 2) e novos horizontes abrem-se além do oferecido pelos satélites operacionais atuais com uma melhoria contínua na acurácia dos dados obtidos e perspectivas de monitoramento de águas continentais, costeiras e as observações dos fenômenos na meso-escala. Apesar da principal aplicação da altimetria ser o monitoramento de águas oceânicas, a partir 2000 iniciaram diversos estudos para a aplicação da técnica em águas continentais, principalmente em grandes bacias como a Amazônica. Exemplo são estudos desenvolvidos por Frappart et al. (2005), Seyler et.al. (2008, 2009a e 2009b) e Silva et al. (2010, 2013 e 2014).

Tabela 2. Missões altimétricas no século XXI.

Missão	Agência	Lançamento	Altimetro	Banda	Ciclo
Jason 1	CNES, NASA, EUMETSAT, NOAA	2001	Poseidon-2	Ku e C	10 dias
ENVISAT	ESA	2002	RA-2	Ku	30 – 35 dias
Iceasat-1	NASA	2003	Laser	-	8 e 9 dias
Jason 2	CNES, NASA, EUMETSAT, NOAA	2008	Poseidon-3	Ku e C	10 dias
Cryosat 2	ESA	2008	Siral	Ku	369 dias
HY-2A	China	2011	-	Ku e C	14 dias
SARAL	CNES/ISRO	2013	AltiKa	Ka	35 dias
Jason 3	CNES, NASA, EUMETSAT, NOAA	2015	Poseidon-3B	Ku e C	10 dias
Sentinel 3	ESA	2016	SAR Radar Altimeter	Ku e C	-
Icesat 2	NASA	2018	Laser	-	-
SWOT	CNES, NASA, CSA, UKSA	2021	KaRIn	Ka	21 dias
Jason CS	EUMETSAT	2020	-	-	-

Utilizar informações da altimetria espacial permite obter uma grande variedade de aplicações e estudos dos recursos hídricos. Tais vantagens são bastante eficazes no auxílio e complementação de dados existentes na RHN e possibilitam a realização de muitas medidas necessárias para a quantificação dos processos hídricos nas extensas áreas da bacia Amazônica (SILVA, 2010):

- i. A altimetria possui uma melhor cobertura espacial, quando comparada com a RHH, permitindo obter estimativas de níveis de água em locais onde o acesso é dificultoso ou remoto;
- ii. Embora as estações virtuais só possam ser estabelecidas sob as projeções das orbitas dos satélites ou traços dos satélites e com amostragens temporais definidas pelas missões altimétricas, esse inconveniente é compensado, pela capacidade de fornecer uma amostragem espacial bem mais densa que a RHN instaladas na região Amazônica, apresentando detalhamento temporal enriquecido através da combinação de traços, seja nos pontos de cruzamento de traços do mesmo satélite ou com satélites de outras missões altimétricas;

- iii. Com a altimetria espacial pode-se medir os níveis de água de regiões complexas, como é o caso das zonas úmidas da região Amazônica, particularmente, cujo monitoramento através dos meios convencionais não é trivial;
- iv. A obtenção dos dados altimétricos ocorre de maneira muito rápida, uma vez que pode ser feita um mês após a passagem do satélite, quando se trata de dados altimétricos *Geophysical Data Records* (GDRs) e quase em tempo real, com aproximadamente, dois dias após a passagem do satélite, quando se tratam de dados *Interim Geophysical Data Records* (IGDRs), ao contrário da atualização do sistema tradicional, que leva de 6 a 12 meses;
- v. As séries temporais de nível de água obtidas através da altimetria espacial são comparáveis com outras séries, ou seja, todas as medidas do nível de água feitas para a bacia são georeferenciadas em um mesmo sistema geodésico;
- vi. Como são georeferenciados em um mesmo sistema geodésico, os dados altimétricos, permitem nivelar as estações limimétricas da RHN.

Entretanto, monitorar os níveis de água de rios, utilizando estimativas desta técnica também apresenta algumas limitações (SILVA, 2010):

- i. Modelos de correções ambientais e geofísicas (como a correção troposférica úmida, por exemplo) foram otimizados para oceanos abertos, e às vezes pode ser inexistente para os continentes, principalmente sobre a região da bacia Amazônica;
- i. Os ecos de radar estão sujeitos a interferências do terreno circundante (cobertura vegetal, topografia), pois a largura da faixa do altímetro está adaptada para o meio oceânico (CALMANT E SEYLER, 2006). Assim, ao considerar a bacia Amazônica, tem-se que distinguir várzea e zonas úmidas, da água do rio principal;
- ii. Em hidrossistemas continentais a medida altimétrica apresenta uma distorção geométrica, denominada efeito *off-nadir*, ou efeito de afastamento do nadir (FRAPPART et al., 2006; SILVA et al. 2010), que é uma distorção da medida alimétrica que ocorre quando o altímetro passa

de um meio pouco reflexivo para um com alta reflexividade, iniciando a medida altimétrica da superfície reflexiva que se encontra antes do seu nadir ou, simetricamente, continuando a medir a altura de uma superfície reflexiva que cessou de sobrevoar (Silva, 2010);

- iii. Vale ressaltar a limitação quanto à resolução temporal do satélite, que varia de acordo com a missão podendo impossibilitar estudos de alguns processos hidrológicos.

2.4 MISSÕES ALTIMÉTRICAS JASON 1, 2 E 3

A alta altitude dos satélites das missões Jason (1.336 quilômetros) reduz ao mínimo as interações com a atmosfera da Terra e o campo gravitacional, tornando a determinação da órbita mais fácil e precisa. A inclinação da órbita de 66 graus norte e sul permite que o satélite cubra a maior parte dos oceanos descongelados do globo. O ciclo de repetição da órbita é um pouco menor que 10 dias (9,9156 dias), sendo assim, o satélite passa sobre o mesmo ponto na superfície da Terra a cada dez dias (AVISO+, 2018).



Figura 2 Satélites da família TOPEX/Jason. Fonte: NASA, 2016.

O satélite Jason 1 (Figura 2) foi lançado em 7 de dezembro de 2001 pelas agências espaciais CNES e NASA, foi um avanço na observação do oceano, abrindo novos caminhos para a altimetria (AVISO, 2018). Este satélite foi o primeiro da família Jason, sucessor da missão T/P, sendo um verdadeiro observatório do oceano que fornecia medições e a altura da superfície do mar em tempo quase real, ultrapassando a precisão do T/P para medição no domínio oceânico (SILVA, 2010). A carga útil do satélite Jason 1 incluiu os seguintes componentes:

- Altimetro Poseidon-2, fornecido pelo CNES - o principal instrumento da missão;
- *Jason 1 Microwave Radiometer* (JMR), fornecido pela NASA - para corrigir a medição do altímetro para atrasos na faixa atmosférica induzida pelo vapor de água;
- O sistema DORIS de rádio posicionamento, fornecido pelo CNES - para determinação de órbita de precisão usando estações terrestres dedicadas;
- *Turbo Rogue Space Receiver* (TRST), fornecido pela NASA - para fornecer dados de posicionamento suplementares ao DORIS, em apoio à função POD e para aprimorar e/ou melhorar os modelos de campo cinza; e
- *Laser Reflector Array* (LRA), fornecido pela NASA - para calibrar o sistema de determinação de órbita.

Por ordem, a missão *Ocean Surface topography Mission* (OSTM)/Jason 2 foi lançada em junho de 2008, deveria ser o sucessor do satélite Jason 1, contudo este foi prolongado, e operaram simultaneamente até julho de 2013. O segundo satélite da família Jason tem como missão garantir a continuidade da série de medições efetuadas desde 1992 pelos seus antecessores T/P e Jason 1 (GETIRANA, 2009). A missão OSTM/Jason 2 inclui os seguintes componentes:

- Altimetro Poseidon-3, fornecido pelo CNES;

- *Advanced Microwave Radiometer* (AMR), fornecida pela NASA - para corrigir a medição altímetro para atrasos gama atmosféricas induzidas por vapor de água;
- O sistema de rádio posicionamento DORIS, fornecido pelo CNES;
- Um receptor de precisão GPS (GPSP), fornecida pela NASA - para fornecer dados de posicionamento complementares para DORIS em apoio da função *Precise Orbit Determination* (POD) e para aumentar e/ou melhorar os modelos de campo de gravidade; e
- *Laser Reflector Array* (LRA), fornecido pela NASA.

Lançado em janeiro de 2016, o satélite Jason 3 (Figura 2) é o resultado de um esforço conjunto do CNES, NASA, *Europäische Organisation für meteorologische Satelliten* (EUMETSAT) e a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), prossequindo uma herança que vem mantendo os oceanos sob vigilância a mais de 20 anos (Figura 2). Continuando desta maneira as observações altimétricas, com medições altamente precisas de altura da superfície do oceano nos anos vindouros (AVISO,2018). Seu principal objetivo é coletar dados até que a família de satélites TOPEX/Jason alcance uma série histórica de 30 anos, uma vez que esse é o período relevante para análises climáticas. Sua carga útil é similar ao do satélite Jason 2, exceto pelo Altímetro Poseidon-3B, fornecido pelo CNES. Este novo altímetro implementa um modo misto permitindo transições automáticas a bordo, para melhorar as medições em áreas costeiras, águas interiores e gelo.

2.5 PRINCÍPIO DA MEDIDA ALTIMÉTRICA

Embarcados em plataformas espaciais e desenvolvidos durante a segunda guerra mundial, os radares altimétricos (*Rádio Detecção And Ranging*) são instrumentos que medem, no nadir do satélite, a distância que o separa da superfície terrestre. Esses instrumentos fundamentam-se em um princípio simples, baseado na emissão de onda eletromagnética à vertical e pela medida do intervalo de tempo que separa a emissão da onda da recepção do eco (SILVA, 2010).

A diferença entre a altitude do satélite acima da superfície de referência (usualmente um elipsoide convencional), estabelecida por meio da determinação precisa da órbita, e a distância satélite-superfície da água, fornece as medidas do nível da água sobre a superfície de referência. Colocado em uma órbita repetida, o altímetro a bordo do satélite sobrevoa uma dada região em intervalos regulares de tempo, chamados de ciclos orbitais, durante os quais uma completa cobertura da Terra é realizada (OLIVEIRA CAMPOS et al., 2001).

A distância altimétrica (*Range*) é obtida pelo tempo de emissão e retorno da onda, considerando a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo, de acordo com a equação 1 (SILVA, 2010).

$$Ra = C \cdot dt/2 \quad (1)$$

Na Figura 3 observa-se o princípio da altimetria para meios oceânicos. Os níveis das águas oceânicas (h) são obtidos pela diferença entre a altitude da orbita do satélite e a elipsoide de referência (H) e a medida altimétrica (R), levando em conta as interações com a atmosfera.

$$h = H - R \quad (2)$$

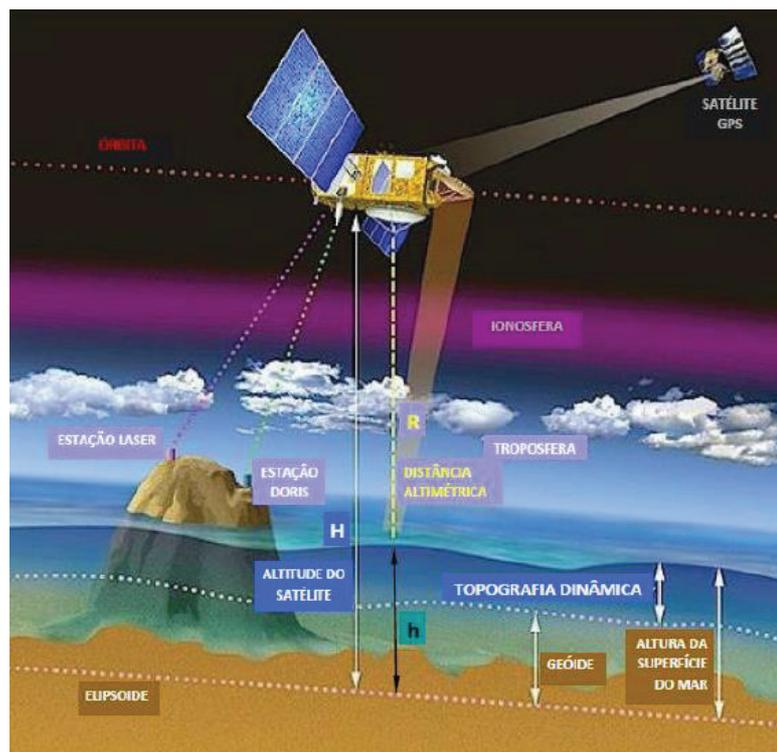


Figura 3. Princípio da altimetria espacial em meio oceânico. Fonte: SILVA, 2010.

Assim como para águas oceânicas, os níveis de águas continentais são obtidos pela diferença entre a órbita do satélite (a_s), em relação ao elipsoide de referência e a distância altimétrica (ρ). Na distância altimétrica, são adicionadas as correções instrumentais, ambientais e geofísicas ($\sum R_j$) e conversão da referência para um modelo geoidal (Figura 4). As correções ambientais são provenientes do atraso no tempo de percurso da onda do radar altímetro devido à quantidade de elétrons na atmosfera (correção ionosférica), a presença de gases nas baixas camadas (correção da troposfera seca) e à presença de água líquida na atmosfera (correção da troposfera úmida). As correções geofísicas estão relacionadas à maré sólida e a maré polar, que podem provocar deformações na superfície do planeta, podendo atingir alguns centímetros. A correção instrumental é referente à obtenção precisa da localização do satélite no momento da medição altimétrica.

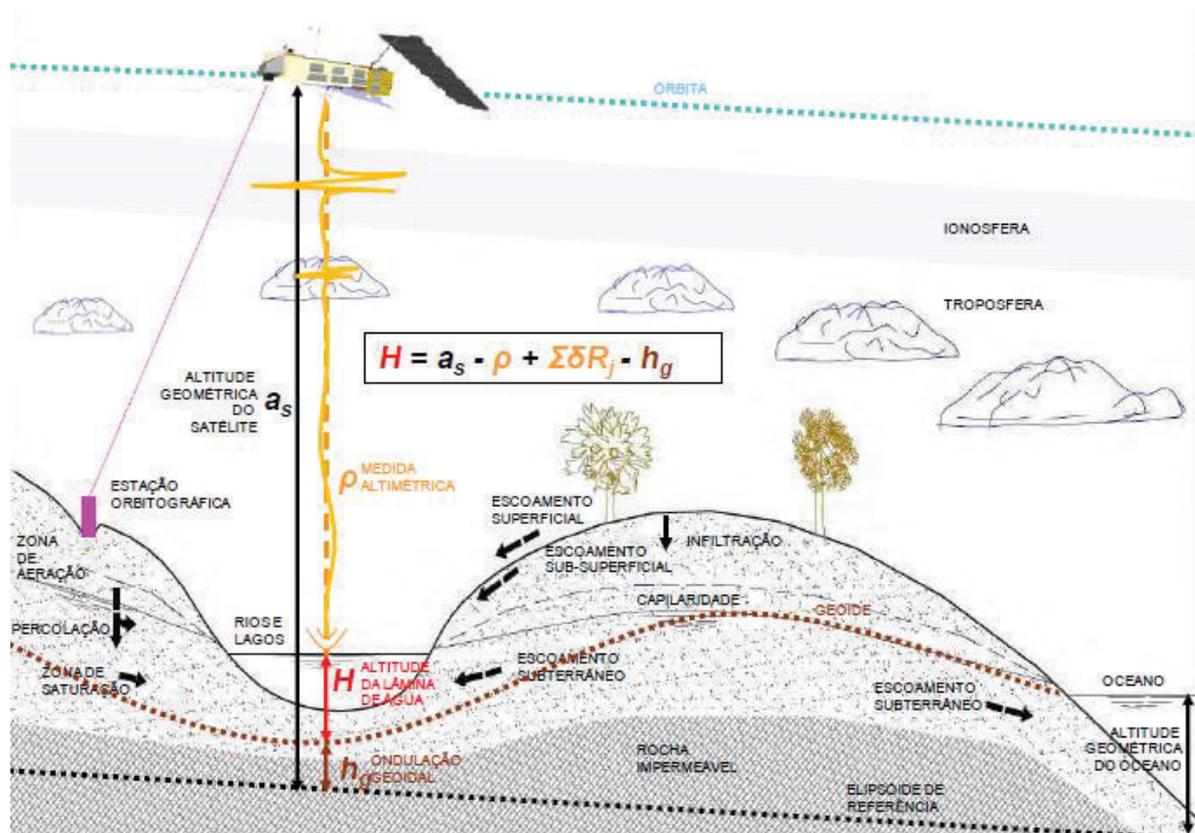


Figura 4. Princípio da medida altimétrica em hidrossistemas continentais. Fonte: Silva, 2010.

Uma forma similar de cálculo da medida altimétrica de hidrossistemas continentais é dada por Calmant *et al.* (2008), onde H é determinada pela diferença da órbita do Satélite (Alt) entre a valor do altímetro (R) e a soma das correções da Troposfera Seca (DTC), a Úmida (WTC), da ionosfera (IC) e das marés sólidas e polar (T_S) como na equação 3.

$$H = Alt - R + DTC + WTC + IC + T_S \quad (3)$$

O tratamento dos dados brutos (*tracking*) é uma operação que permite estimar os parâmetros físicos a partir da análise do sinal de retorno ao altímetro, consistindo em aplicar um tratamento adaptado à forma de onda (FO), onde, partindo da distribuição da energia recebida, busca-se localizar precisamente a posição do tempo do eco. Na Figura 5, o eixo vertical é posicionado no momento da emissão do pulso do radar, as informações de tempo de ida e volta são processadas na forma do eco refletido pela superfície do plano de água, o tempo de ida e volta é correspondente à distribuição da energia recebida na metade da curva ascendente,

passagem do verde ao vermelho no terceiro quadro. As FOs refletidas pelos hidrossistemas continentais e regiões de mar aberto são extremamente diversas, apresentando características diferentes das FOs nos oceanos, onde a natureza da zona refletida é heterogênea (Figura 5a), com múltiplas facetas situadas em alturas diferentes, resultando em uma reflexão não homogênea da energia emitida pelo altímetro (Figura 5b), alterando as FOs e consequentemente os dados altimétricos, comprometendo às medidas.

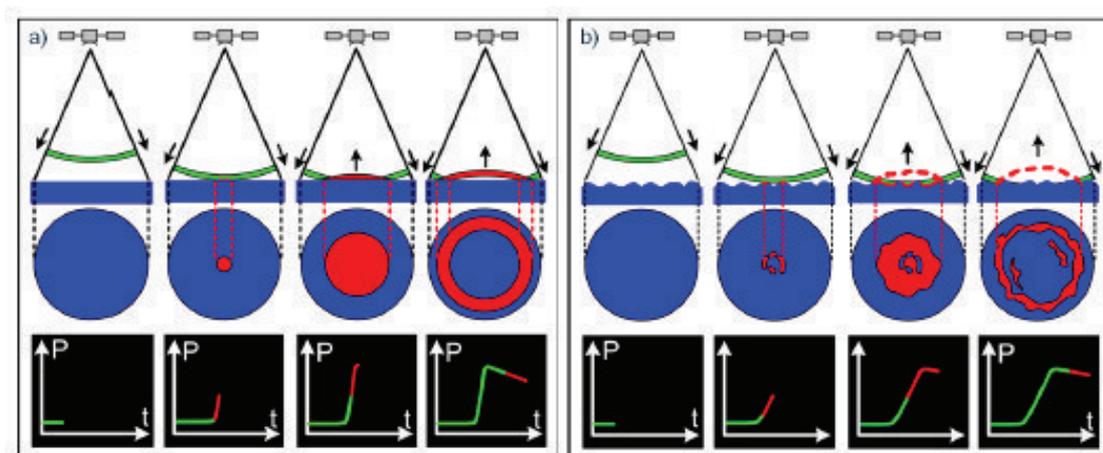


Figura 5. Formação do sinal do altímetro radar sob diferentes superfícies: a) em superfície oceânica; b) em superfície continental. Fonte: Mercier, 2001.

Uma forma de minimizar esses ruídos é o reprocessamento dos dados brutos através do uso de outros algoritmos existentes que podem ser mais apropriados para os rios. O ENVISAT foi a primeira missão que processou e tratou as FOs utilizando quatro algoritmos, onde o *Ice-1* (WINGHAM et al., 1986; BAMBER, 1994) e o *Ice-2* (LEGRÉSY E RÉMY, 1997) foram os de melhor desempenho ao longo dos hidrossistemas continentais (FRAPPART et al., 2006; SILVA et al., 2010).

2.6 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS

O princípio da calibração absoluta consiste em computar a diferença entre o nível da superfície da água (WSH - *Water Surface Height*) medida com o altímetro e a WSH

registrada *in situ* por uma régua linimétrica nivelada por receptor GPS. Entretanto, estas duas WSHs localizam-se em pontos distintos. A ligação entre elas é efetuada

pela declividade do geóide ou a declividade hidrodinâmica entre a medida altimétrica e a medida da régua linimétrica. Por exemplo, na Córsega, esta declividade é, em média, de 6 cm/km (BONNEFOND et al., 2003a e 2003b). No lago Issyk-kul, na Ásia Central, a declividade do geóide pode chegar a 25 cm/km, encontrada durante as campanhas de campo realizadas desde 2004 (CRETAX et al. 2009, 2011). Em rios, dada às contribuições hidrodinâmicas da declividade da superfície da lâmina de água é primordial coletar o perfil contínuo com receptor GPS entre a régua linimétrica e o traço da órbita do satélite. Já a validação, pode ser conduzida de duas formas, comparação interna das medidas altimétricas em pontos de cruzamento dos traços do satélite sobre um corpo hídrico e comparação externa das medidas altimétricas com estações linimétricas, instaladas próximo ao traço do satélite.

Através de estudos de calibração e validação (CAL/VAL), desenvolvidos pela comunidade científica e agências espaciais para assegurar a realização de alguns indicadores da qualidade dos dados, é possível acoplar as medições altimétricas das missões atuais com as passadas, bem como as futuras, garantindo a homogeneidade e confiabilidade das medições. A partir das análises de CAL/VAL é possível:

- i. Definir e comparar a qualidade das medidas dos sistemas altimétricos de forma autônoma e independente;
- ii. Examinar os parâmetros para corrigir os erros de propagação através da atmosfera, assim como perturbações devido à reflexão sobre a superfície e também correções geofísicas de deslocamento da Terra em relação ao elipsóide usado para referência;
- iii. Indicar as possíveis fontes de melhoria;
- iv. Contribuir no desenvolvimento de novos métodos da avaliação, calibração e validação, visto ser necessário que as atividades de CAL/VAL sejam realizadas antes da disseminação dos dados.

As atividades de CAL/VAL de satélite altimétricos em domínio oceânico têm uma longa história e os protocolos são bem conhecidos, com diversos estudos publicados. Entretanto algumas metodologias não se aplicam aos hidrossistemas continentais, por exemplo, as correções associadas à topografia dinâmica e às

marés. Em hidrossistemas continentais as marés e onda são geralmente baixas e a variabilidade dinâmica é muito menor do que no domínio oceânico. Uma experiência de CAL/VAL no lago norte-americano Erie (SHUM et al., 2003) mostrou algumas limitações no cálculo do viés das medidas dos níveis de água quando os algoritmos desenvolvidos para superfícies oceânicas são utilizados em outros tipos de superfícies hídricas, encontrado valores completamente diferente dos que foram observados em locais da calibração oceânica para o satélite Jason 1.

Crétaux et al. (2009 e 2011), em uma área de CAL/VAL no lago Issyk-kul, na Ásia Central, mostraram a necessidade de calibração do desempenho dos altímetros para se conseguir análises rigorosas que permitam estudos de multimissões em hidrossistemas continentais. Lee et al. (2011) indicaram que o *retracking* padrão operado pelo altímetro Poseidon-3, embarcado no satélite Jason 2, não apresentou bom desempenho nas proximidades da costa de Califórnia. Estudos voltados para lagos foram conduzidos por Birkett e Beckley (2010), utilizando-se o satélite Jason 2, mostraram variações de altura de água com RMS (do inglês *root mean square*) entre 3 a 33cm. Ricko et al. (2012) realizaram comparação e validação de produtos de dados altimétricos de nível de água continentais em 18 lagos e reservatórios, para um período de 19 anos (1992-2011), utilizando-se os satélites T/P, Jason 1 e 2, no qual há uma boa correlação entre os produtos, com valores variando entre 0,87 e 0,99. Jarihani et al. (2013) realizaram estudos de validação para o lago Argyle e Eildon (Austrália), utilizando o satélite Jason 2, os resultados apontam RMS de 0,28m e média de 0,04m.

2.7 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO ALTIMETRICO MUNDIAL – HYDROWEB THEIA

A plataforma digital Hydroweb Theia (<http://hydroweb.theia-land.fr/>) disponibiliza as séries temporais contínuas de níveis de águas dos 20 maiores rios do mundo e dos lagos com mais de 100 km². Ele é um produto resultante da parceria entre várias instituições de pesquisas francesas, entre elas o CNES e o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) e a UEA, através do Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA). A



Figura 7. Plataforma Hidrosat com estações virtuais, em vermelho. Fonte: Hidrosat, 2018.

A bacia Amazônica tem sido estudada extensivamente com o uso da altimetria espacial, com as missões ERS 2, ENVISAT, SARAL, T/P, Jason 2, apesar de não terem sido dedicadas prioritariamente a estudos de águas continentais. Mais de 1500 estações virtuais com dados altimétricos (Figura 8) já foram obtidas e estudadas na bacia Amazônica e apesar deste grande número, muitas estações virtuais continuam a ser elaboradas, em diversas sub-bacias no RHASA, da UEA, disponíveis na plataforma digital Hydroweb Theia.

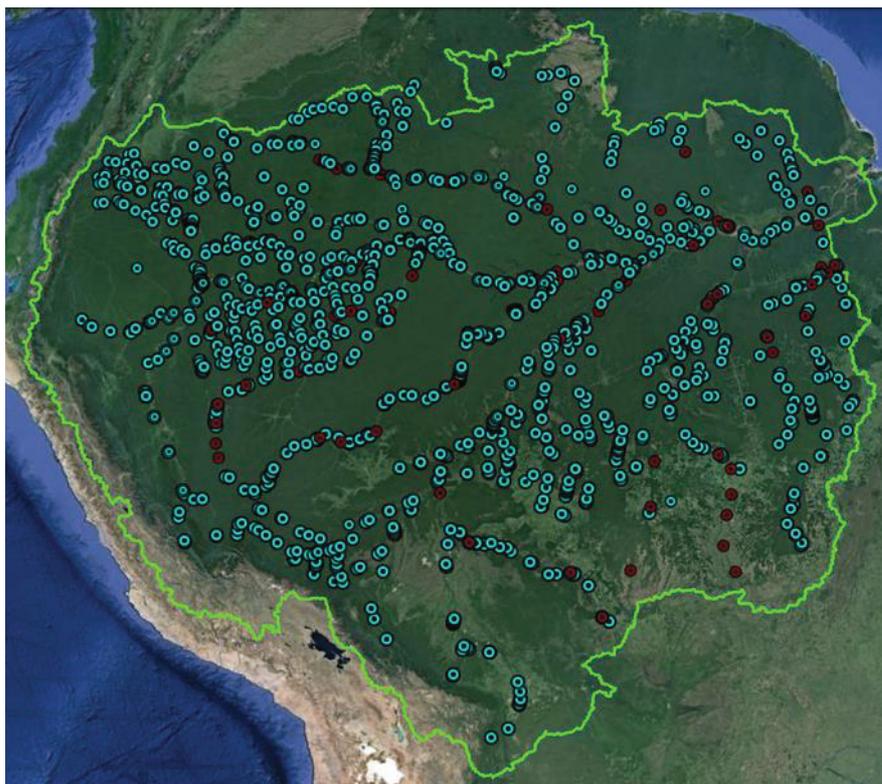


Figura 8. Estações Virtuais na bacia Amazônica, em azul e estações limimétricas, em vermelho.

2.9 APLICAÇÕES DA ALTIMETRIA ESPACIAL NA BACIA AMAZÔNICA

A aplicação de métodos da altimetria espacial para o estudo de grandes bacias hidrográficas foi iniciada por Birkett (1995b; 1998) na bacia Amazônica, abrindo novas perspectivas para a hidrologia continental. O primeiro trabalho mostrando séries temporais feitas a partir de dados do ENVISAT sobre a bacia amazônica foi realizado por Berry et al. (2005). Leon et al. (2006) determinaram curvas-chave e estimativas da profundidade média da água no alto rio Negro e avaliaram a qualidade da série temporal obtidas utilizando-se o algoritmo de FO *Ice-1*. Frappart et al. (2008; 2011a; 2011b) analisaram os volumes de águas continentais na bacia do rio Negro, utilizando dados de diversos satélites. Seyler et al. (2008, 2009a, 2009b) e Silva et al. (2012a) apresentaram variações de nível de água em lagos, vazões de margens plenas, relações entre os rios e suas zonas úmidas adjacentes, declividades e nivelamento de estações fluviométricas em rios com largura superiores a 20 m, estimadas com o uso de dados altimétricos da missão ENVISAT. O estudo realizado por Oliveira Campos et al. (2001) relacionou mudanças no nível da água no curso principal do Amazonas com o El Niño de 1997-1998. Roux et al.,

(2008) propuseram uma metodologia para interpolar séries temporais altimétricas, obtendo-se uma estimativa diária na bacia do rio Negro.

Estudos foram realizados na bacia Amazônica para a obtenção de relações entre planície de inundação e rios (BONNET *et al.*, 2008); na modelagem hidrológica e hidrodinâmica (GETIRANA, 2009; CHÁVARRI *et al.*, 2012, PAIVA *et al.*, 2013; EMERY *et al.*, 2018) e eventos extremos (FRAPPART *et al.*, 2012 e SILVA *et al.*, 2012b e 2013). Silva *et al.* (2014) destacaram a utilização da altimetria espacial na gestão dos recursos hídricos na bacia Amazônica e Paris *et al.* (2016) desenvolveram curvas-chave com dados de cotas altimétricas e vazão resultante do modelo hidrológico MGB, a partir de quase mil séries obtidas dos satélites ENVISAT e Jason 2 para mais de 100 afluentes. Fleischmann *et al.* (2016), realizaram um estudo para os rios Purus, Madeira e Juruá, onde os dados das medidas altimétricas são aplicados para analisar a assimetria das variações dos níveis de água nas várzeas. Garambois *et al.* (2016) analisam a relação hidrodinâmicas entre as ondulações do leito e as superfícies de água para o rio Xingu a partir de dados do satélite ENVISAT. Recentemente Pinel *et al.* (2017) mostraram que a altimetria permite a consistência de dados de réguas linimétricas. Emery *et al.* (2018) apresentam uma plataforma de assimilação de dados derivado da missão ENVISAT, no modelo de ISBA-CTRIP. Silva *et al.* (2018) investigaram a influência da Temperatura da Superfície do Mar dos oceanos adjacentes na variabilidade dos níveis de água na bacia Amazônica a partir da composição de dados das missões altimétricas ENVISAT e Jason 2 e dados da RHN.

Em estudo de validação dos dados altimétricos com dados *in situ*, da RHN, apresentados em Birkett (1998), os RMSs para o rio Amazonas variaram de 25 a 60 cm. Variação de RMSs da ordem de 38 a 246 cm são mostradas em Birkett *et al.* (2002) em estudos desenvolvidos em rios, com larguras entre 0,58 e 1,16 km e em planícies de inundação. Para Oliveira Campos *et al.* (2001), os RMSs variam de 45 a 80 cm, no rio Amazonas. Frappart *et al.* (2006), em estudo no rio Tapajós, encontram um RMS de 35 cm. Os resultados acima descritos utilizaram o algoritmo padrão para formas de onda oceânicas *Ocean* da missão T/P. Seyler *et al.* (2013) conduziram um estudo de calibração como medidas dos satélites altimétricos T/P,

Jason 1 e 2, onde os melhores resultados foram encontrados para o satélite Jason 2 com erro aleatório sistemático em torno de 0,35m para FOs *Ice-1* e *Ice-3* (Mercier et al., 2007).

Utilizando os produtos da missão ENVISAT Frappart et al. (2006), relacionam dados altimétricos com dados da RHN, com RMSs que variam de 26 a 140 cm, 7 a 40 cm, 10 a 110 cm e 14 a 324 cm para o algoritmo *Ocean*, *Ice-1*, *Ice-2* e *Sea Ice*, respectivamente, em rios e planícies de inundação amazônicas. Berry et al (2005), apresentaram correlações dos dados T/P, ERS e ENVISAT e a estação linimétrica do Careiro, no rio Amazonas, com valores 0,91, 0,93 e 0,98 para o coeficiente de Pearson. Estudos dedicados à validação detalhada dos dados altimétricos em rios Amazônicos, com medidas linimétricas da RHN, foram conduzidos por Silva et al. (2010), os resultados apresentam 70% dos RMS inferiores a 40 cm para séries temporais do satélite ENVISAT (FOs *Ice-1* e *Ice-2*) e 80 cm com dados altimétricos do satélite ERS-2 (FO *Ice-2*), para rios de até 20 m de largura, enquanto Birkett et al. (2002), utilizando dados do algoritmo *Ocean* do satélite T/P, encontraram 110 cm para 70 % dos RMS, com bons resultados em rios de largura superior a 1 km. Estudos de calibração conduzidos por Calmant et al. (2013), utilizando o satélite ENVISAT (FO *Ice-1*), mostraram um erro aleatório sistemático de $1,044 \pm 0.212$ m, revelando um desvio significativo de outras calibrações do ENVISAT ou Jason 2.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a bacia Amazônica Ocidental (Figura 9). A bacia estende-se pelo Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5.8%), Equador (2.2%), Venezuela (0.7%) e Guiana (0.2%) (FILIZOLA, 2002). É considerada a maior do mundo, cobre uma superfície de 6.200.000 km², a partir de 79° de longitude Oeste (rio Chamaya, Peru) até 48° de longitude Oeste (rio Pará, Brasil), e de 5° de latitude Norte (rio Cotingo, Brasil) a 20° de latitude Sul (Rio Parapeti, Bolívia) (FILIZOLA, 2002). Possui uma precipitação atmosférica anual média de 2300 mm (MARENGO, 2007) e descarga líquida média no oceano Atlântico com cerca de 238×10³ m³/s (RONCHAIL et al., 2006) correspondendo a 18% da descarga de água doce nos oceanos (SILVA et al, 2012).

Nasce no Nevado de Misme próximo a Cuzco e Arequipa, na Cordilheira oriental dos Andes Peruano, formando o rio Ucayali (SILVA, 2010), recebendo aportes pela margem esquerda dos rios Marañon e Napo, ao passar pela planície Amazônica do Peru, sendo chamado de Amazonas no Peru e Solimões ao entrar em território brasileiro. Este, recebe pelo lado esquerdo influência dos rios Colombianos Putumayo e Caquetá, conhecidos, respectivamente, por Iça e Japurá, no Brasil. Advindo do Peru, pela margem direita os rios Juruá e Purus contribuem com o rio Solimões. Recebendo influência do rio Branco mais ao norte, o rio Negro caminha próximo a Manaus até o encontro das águas com o rio Solimões, formando em diante o rio Amazonas. Antes de chegar ao oceano recebe o afluente boliviano do rio Madeira e os brasileiros Tapajós e Xingu (FILIZOLA *et al.* 2002).

A variabilidade do nível de água do rio Amazonas, tributários e zonas alagadas é dominada pelo ciclo anual. Essa variabilidade sazonal é guiada, principalmente, pela variação anual da precipitação, ligada à variação da circulação atmosférica sobre a América do Sul (RAO et al., 1996). Além disso, de acordo com Melack e Hess (2010), 350.000 km² de 800.000 km² de áreas alagáveis que estão presentes na bacia, correspondem à planície de inundação da calha principal do rio

Amazonas apresentando uma baixa declividade, em torno de 1 a 6 cm.km-1 (MEADE et al., 1991). Possui diversos afluentes navegáveis, e, simultaneamente, apresenta um sistema fluvial complexo onde encontram-se inúmeras ilhas fluviais, trechos com defluências e efeitos de remanso, mesmo em locais situados a vários quilômetros da foz do rio Amazonas (KOSUTH et al., 2009), o que, de acordo com Meade et al. (1991), influencia o escoamento dos seus principais tributários.

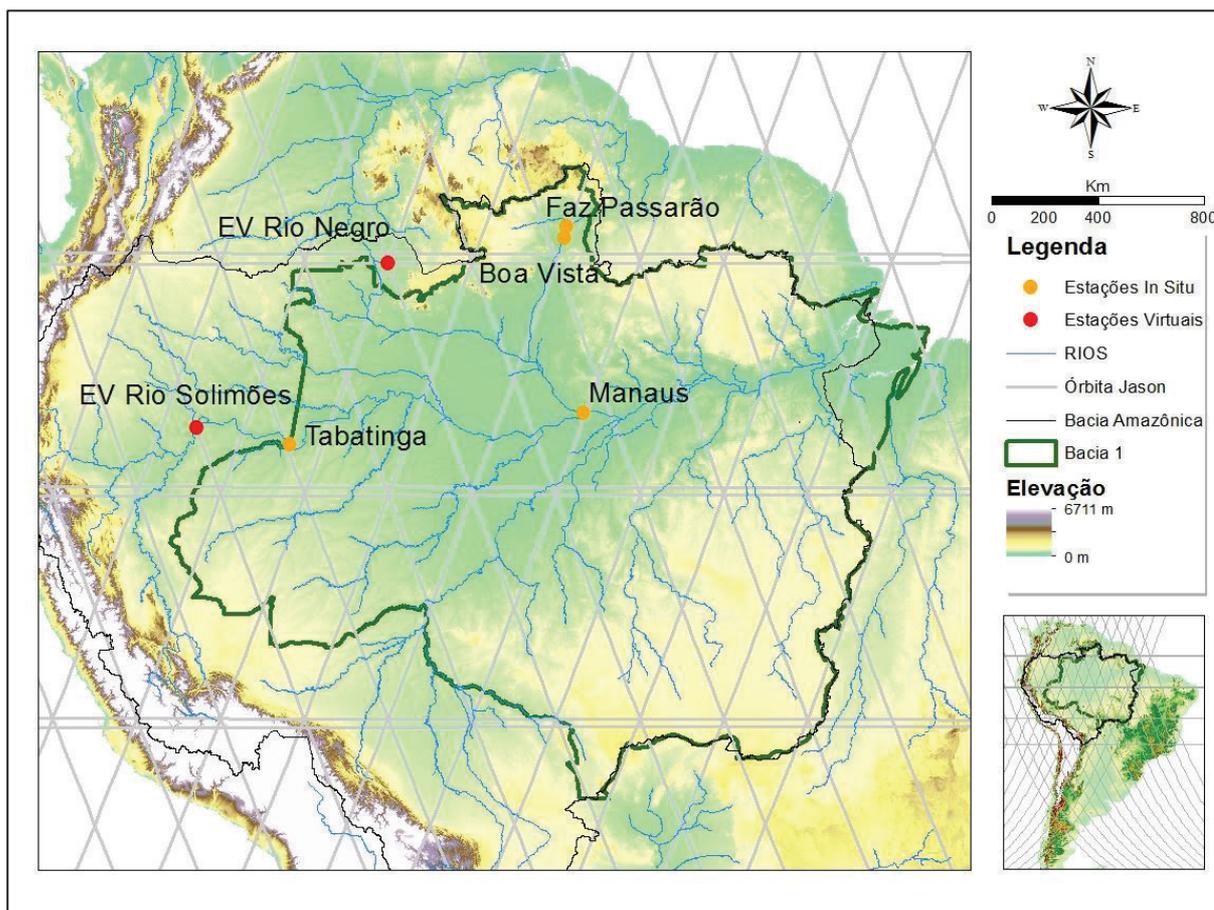


Figura 9. Delimitação da bacia Amazônica com as estações virtuais de validação, em amarelo e monitoramento, em vermelho. Projeções das orbitas dos satélites Jason 2 e 3, em cinza.

3.2 DADOS

3.2.1 Dados Altimétricos

Para este estudo foram utilizados 10 anos de dados das missões altimétricas Jason 2 e Jason 3, processados com o algoritmo de tratamento de FO *Ice-1* (WINGHAM et al., 1986; BAMBER, 1994). Os GDRs, disponibilizados no FTP, da

plataforma digital AVISO+, do CNES, foram obtidos entre as coordenadas geográficas 90°W a 40°W e 13°N a 21°S. Extraíram-se 05 traços, totalizando 1818 ciclos de 06/2008 a 10/2016 para o satélite Jason 2 e 05 traços, totalizando 480 ciclos de 02/2016 a 04/2018 para o satélite Jason 3, com data, latitude, longitude e altura do plano de água e as devidas correções ambientais e geofísicas.

3.2.2 Dados Linimétricos

Os dados de nível de água das estações linimétrica utilizados neste estudo foram obtidos por meio da RHN, disponíveis na plataforma digital Hidroweb, da ANA. Foram selecionadas 4 estações que se situam próximas aos traços dos satélites Jason 2 e 3. São elas: Fazenda Passarão (14515000) e Boa Vista (14620000), localizadas na bacia do rio Branco, Manaus (14990000), na bacia do rio Negro e Tabatinga (10100000), situada no rio Solimões.

3.3 MÉTODOS

A metodologia utilizada para criar o modelo de Boletim de Monitoramento Hidrológico Altimétrico da Amazônia Ocidental foi baseada em dados altimétricos, validados a partir de estações linimétricas, distribuídas ao longo da bacia. Na figura 10 estão esquematizadas as etapas do processamento de dados.

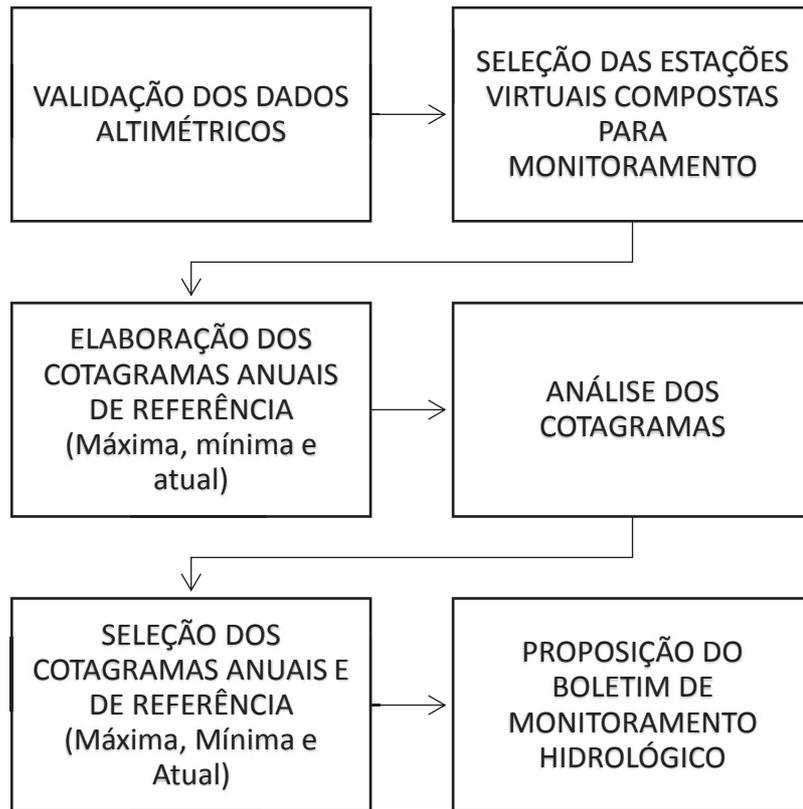


Figura 10. Delimitação da bacia Amazônica com as estações virtuais de validação, em amarelo e monitoramento, em vermelho. Projeções das orbitas dos satélites Jason 2 e 3, em cinza.

3.3.1 Estações Virtuais

O cruzamento da projeção da orbita de um satélite sobre um plano de água consiste em uma estação virtual (EV), com potencial para obtenção de uma série temporal da altura do nível de água (Silva, 2010). Neste estudo, aplicou-se a metodologia descrita em Silva et al. (2010), validada por Roux et al. (2010), para criação das estações virtuais. Segundo Silva et al. (2010), essa metodologia permite que a seleção tridimensional dos dados seja realizada em um espaço superfície-profundidade através dos programas *Google Earth* (GOOGLE EARTH, 2018) e *Multimission Altimetry Processing Software* (MAPS, 2018), onde é possível a aplicação de diversos tratamentos da medida altimétrica, como a seleção de cada medida por ciclo e múltiplas correções do efeito de afastamento em relação ao nadir (*off-nadir*). Com o emprego da ferramenta MAPS, houve considerável aumento na confiabilidade de seleção dos dados altimétricos, sob qualquer plano de água para cada passagem do satélite.

Para esse fim foram conduzidas as seguintes etapas:

1ª. Etapa – Para localização do corpo de água e do traço do satélite utiliza-se o mosaico de imagem do programa *Google Earth* (GOOGLE EARTH, 2018) e através de um polígono delimita as latitudes e longitudes mínimas e máximas da EV;

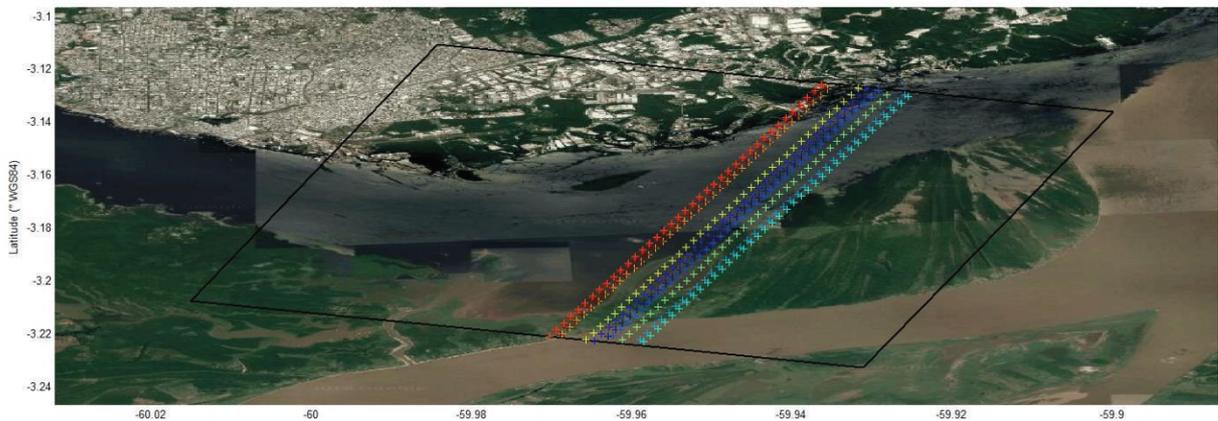


Figura 11. Visualização da EV Manaus no MAPS, traço #063, do satélite Jason 2. Polígono de delimitação da EV, em preto e dados altimétricos em caracteres x, coloridos

2ª. Etapa – Os dados selecionados no primeiro passo são, então, visualizados no programa MAPS (Figura 11), mostrando altimétrico da linha da água ao longo do traço, onde cada linha corresponde a uma passagem do satélite (Figura 12). Nesta etapa os dados que não representam o nível da água, como vegetação, bancos de areia e pedras, são excluídos.

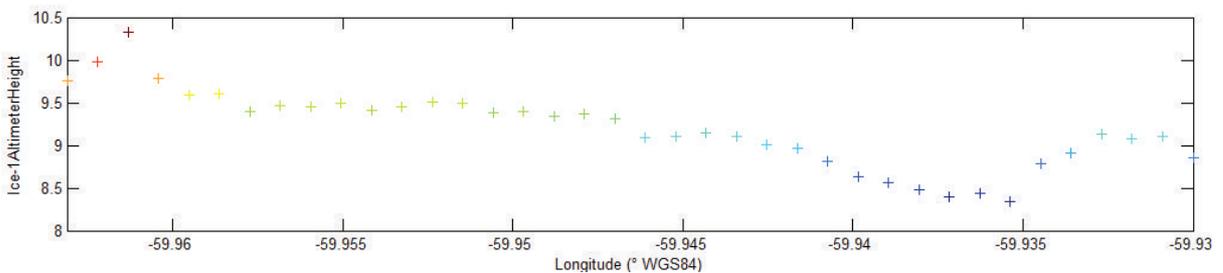


Figura 12. Perfil hidrológico altimétrico dos dados altimétricos, caracteres em cruz, coloridos, ao longo do traço #063, do satélite Jason 2, visualizado no MAPS.

3ª. Etapa – No último passo, as informações disponíveis, permitem estimar as séries temporais de altura do nível da água, calculando-se a média (M), mediana (\bar{M})

e respectivamente os desvios padrão (σ), para cada ciclo da passagem do satélite. Os dados altimétricos são gerados usando como referência o elipsoide Topex/Poseidon, que posteriormente são convertidos em altitudes geoidais, utilizando-se o modelo de ondulação geoidal EGM2008, desenvolvido por Pavlis et al. (2008).

Neste estudo, foram criadas 12 estações virtuais (Figura 9). Seis com os dados do satélite Jason 2 e seis com os dados do satélite Jason 3. Oito delas para realização da validação dos dados altimétricos e quatro para monitoramento e acompanhamento dos níveis dos rios amazônicos transfronteiriços, descritas na Tabela 3.

3.3.2 Séries Temporais

As séries temporais das cotas das estações *in situ*, foram geradas com os dados médios diários observados. As series temporais produzidas possuem uma referência arbitrária, o que impede uma comparação direta entre os valores das estações linimétricas com os valores altimétricos. Para solucionar esse problema, as referências de nível das estações *in situ* foram niveladas utilizando-se os valores de zeros das régua propostos por Moreira (2016), discriminados na Tabela 5.

As séries temporais das cotas altimétricas foram obtidas utilizando as medianas das medidas altimétricas processadas pelo MAPS e associando-as a uma dispersão, de forma a caracterizar a qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos. Tal dispersão é calculada pelo desvio absoluto da mediana (Equação 4):

$$DAM = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |H_i - H_{med}| \quad (4)$$

Onde n é o número de medidas, H_i é a i -ésima medida altimétrica selecionada e H_{med} a mediana das medidas selecionadas.

Para se utilizar as medições desses dois satélites em conjunto, foi necessário juntar os dados, o que permitiu construir novas séries temporais ao longo dos 10

anos, denominadas neste estudo Estação Virtual Composta (EVC), conforme Tabela 5.

Tabela 3. Estações Virtuais Compostas deste estudo.

Rio	Réguas	Loc. Réguas	Zero Réguas	EVC	Traço Jason	Loc. EVC	Objetivo
Uirariquera	14515000	+ 3.2074 - 60.5715	58.96	Faz. Passarão	241	+ 3.1583 - 60.5276	Cal/Val
Branco	14620000	+ 2.8257 - 60.6585	56.18	Boa Vista	241	+ 2.8409 - 60.6415	Cal/Val
Negro	14990000	-3.1218 -60.0552	-7.00	Manaus	063	- 3.1653 -59.9941	Cal/Val
Solimões	10100000	-4.2350 -69.9451	56.40	Tabatinga	102	-4.0396 -70.1352	Cal/Val
Solimões	-		-	Solimões	026	- 3.5899 - 73.1285	Monit.
Negro	-	-	-	Negro	089	+ 1.9019 - 66.6464	Monit.

3.3.3 Validação dos Dados Altimétricos

Segundo Silva *et al.* (2010), existe uma diferença entre os níveis de água obtidos pelo radar altimétrico e pelas estações limimétricas *in situ*. Estes registram níveis em pontos específicos do corpo de água e aqueles imageiam superfícies que abrangem diversos quilômetros. Em busca de uma validação para o estudo, foram adotados os seguintes critérios, para seleção das estações limimétricas, da RHN, considerando-se, que nenhuma mudança hidrodinâmica, significativa, evidenciou-se entre o traço do satélite e a posição da EVC:

- Possuir dados durante o período de funcionamento e coleta de dados do satélite;
- Ter iniciado seu funcionamento pelo menos cinco anos antes do período do estudo; e
- Estar no máximo, a 10 Km de distância da EVC a ser validada.

Após um refinamento das estações *in situ*, por intermédio dos critérios supramencionados, quatro estações limimétricas foram utilizadas na validação dos dados do satélite J2, visualizados na Figura 9 e discriminadas na Tabela 5.

As distancias entre as estações *in situ* e EVC foram calculadas utilizando-se a ferramenta régua do programa *Google Earth*, deduziu-se o erro sistemático de 53 cm do satélite Jason 2 (SEYLER et al., 2013) e a declividade utilizando o coeficiente linear de regressão entre as duas séries. Finalmente, a qualidade das séries temporais altimétricas de nível de água foi avaliada computando-se o desvio absoluto médio (DAM) para os dados altimétricos e o RMS para o conjunto de dados, conforme equações 5 e 6.

$$DAM = \sum_{i=1}^n \frac{|H_{1,i} - H_{conv1,i}|}{n} \quad (5)$$

$$RMS = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (H_{1,i} - H_{2,i})^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

onde n é o número de medidas, H_{conv} é a média de nível da régua linimétrica, $H_{1,i}$ são as estimativas altimétricas e $H_{2,i}$ são as medidas linimétricas.

3.3.4 Monitoramento Transfronteiriço da Bacia Amazônica

Foram selecionados dois locais, antes da entrada de suas águas no país, um no rio Amazonas (Peru) e outro no rio Negro (Venezuela), visualizados na Figura 9 e discriminadas na Tabela 3.

Inicialmente elaborou-se as séries temporais das cotas provenientes das estimativas dos satélites J2 e J3, com o intuito de observar o comportamento ao longo do tempo dos registros altimétricos, verificando-se a existência de periodicidade, assim como, a possível existência de anomalias. Posteriormente, foram elaborados cotagramas, para cada série temporal altimétrica, nos períodos compreendidos entre os anos de 2008 a 2018.

Para o monitoramento hidrológico transfronteiriço foram elaborados gráficos, dispondo-se 3 cotagramas, um para o nível atual do rio, com as cotas altimétricas estimadas na passagem do satélite e outros dois para as cotas altimétricas máximas

e mínimas observadas no período estudado e a estes foram associadas cores que permitam melhor visualização dos resultados.

4. RESULTADOS

4.1 SÉRIES TEMPORAIS DOS NÍVEIS DE ÁGUA

4.1.1 Estações Linimétricas

Das estações linimétricas utilizadas neste estudo apenas a estação de Tabatinga possui a distância maior do que o limite de 10 km. A utilização dessa estação se justifica pela pequena variação de nível de água diária. Além disso, na distância de 33,1 km entre o traço de satélite e a estação *in situ*, também não há nenhuma contribuição (afluente) significativa que justifique uma variação abrupta no nível que pode interferir a análise dos dados. Na Tabela 4 estão descritas as distâncias entre as estações linimétricas e as EVCs e o início dos registros na estação *in situ* e a área de drenagem da bacia hidrográfica.

Tabela 4. Estações linimétricas utilizadas para a validação deste estudo.

Código	Nome	Distância da EVC (km)	Início dos registros	Área de drenagem (km)
14515000	Fazenda Passarão	7.63	1977	50200
14620000	Boa Vista	2.52	1967	97200
14990000	Manaus	8.97	1902	712000
10100000	Tabatinga	33.13	1982	880320

4.1.2 Estação Fazenda Passarão

Estação situada no rio Uirariquera (Figura 13), principal afluente do rio Branco. Situa-se próxima ao traço 241 dos satélites Jason 2 e 3. O rio possui largura aproximada de 450 metros e apresenta muitos bancos de areia, principalmente no período de vazante. A estação possui uma série histórica com leituras de nível diário desde 1977. Em 2013 a estação foi automatizada e passou a contar com a leitura horária do nível da superfície da água.

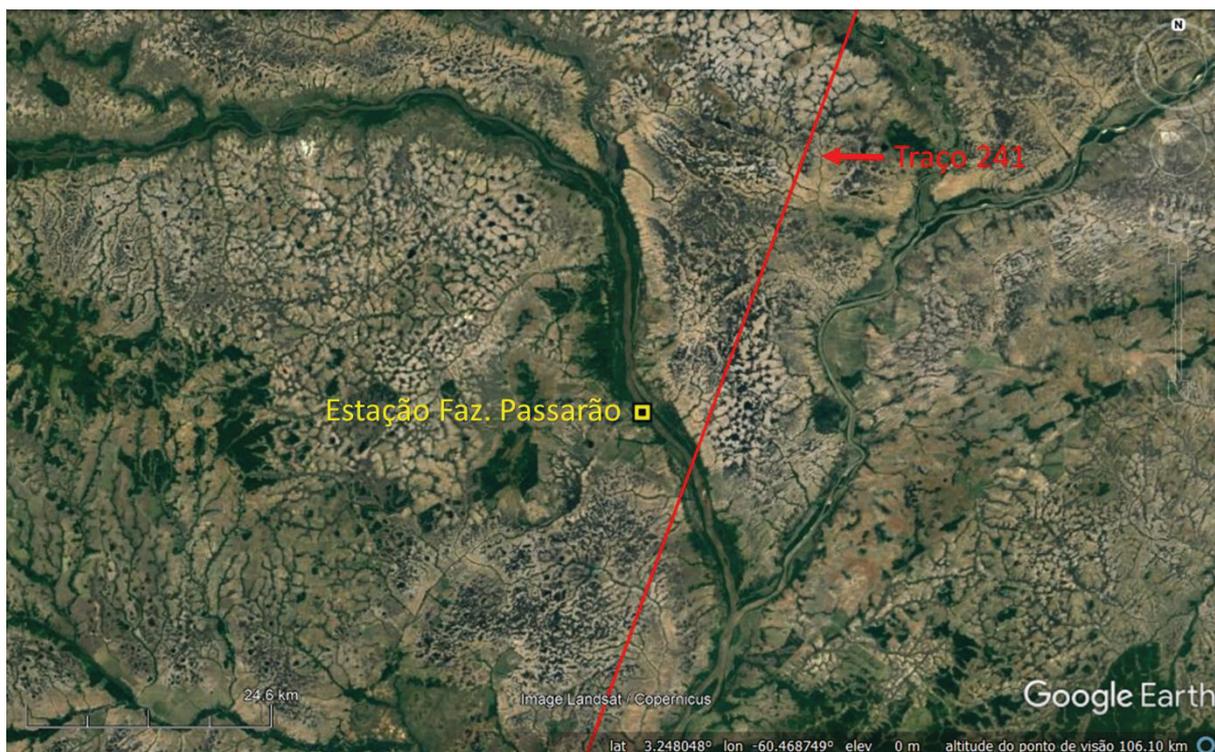


Figura 13. Estação linimétrica de Fazenda Passarão, identificada pelo marcador amarelo, traço #241, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do *Google Earth* em segundo plano.

Na figura 14, observação a série temporal de nível de água da estação de Fazenda Passarão, as cotas máximas registradas durante o período de estudo ocorrem, preferencialmente, no mês de junho, com maior valor de 71,73 m, em 03/06/2011, enquanto as cotas mínimas ocorrem, preferencialmente, no mês de maio, cujo menor valor foi de 63,06 m, em 07/04/2016. A amplitude das cotas é de 8,67 m.

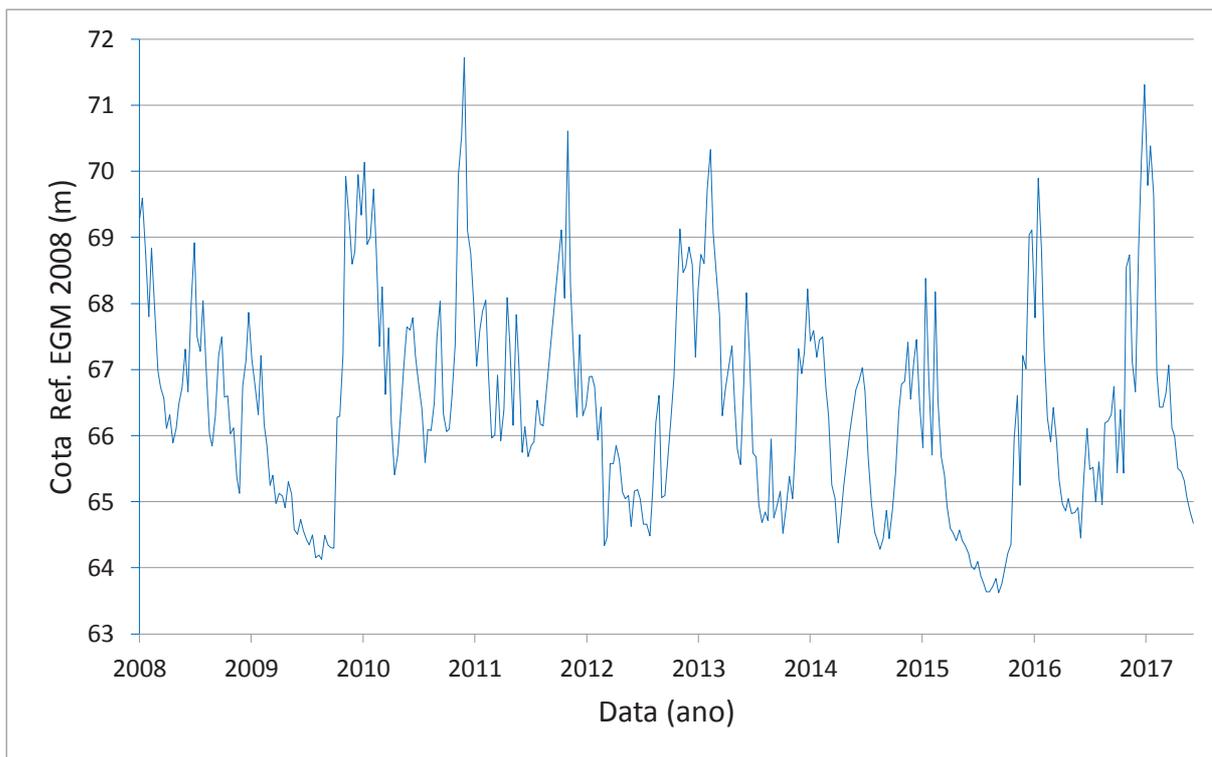


Figura 14. Série temporal de nível de água da estação Fazenda Passarão.

4.1.3 Estação Boa Vista

Estação situada no rio Branco (Figura 15), próxima ao traço 241 dos satélites Jason 2 e 3. Está localizada na estação de captação de água da Companhia de Água e Esgoto do estado de Roraima – CAER. O rio apresenta largura aproximada de 920 metros, com presença de muitos bancos de areia que se tornam mais aparentes na vazante. A estação possui uma série histórica com leituras de nível diário desde 1967. Em 2013 a estação foi automatizada e passou a contar com a leitura horária do nível da superfície da água.



Figura 15. Estação linimétrica de Boa Vista, identificada pelo marcador amarelo, traço #241, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do *Google Earth* em segundo plano.

A estação de Boa Vista está situada a aproximadamente 33 km a jusante do encontro das águas entre estes os rios Uraricuera e Branco e pela proximidade, o regime hidrológico é similar ao da estação Fazenda Passarão, onde as mínimas e máximas ocorrem, preferencialmente, nos mesmos meses de maio e junho, respectivamente. No entanto, os dados de eventos extremos não coincidem com os da estação Fazenda Passarão devido a influência da contribuição do rio Tacutu. A cota máxima foi de 66,46 m, em 08/06/2011. Essa é a mesma lógica para as cotas mínimas, que ocorreram no mesmo ano, mas em datas diferentes. A mínima em Boa Vista foi de 55,62 em 08/02/2016. A amplitude das cotas é de 10,84 m (Figura 16).

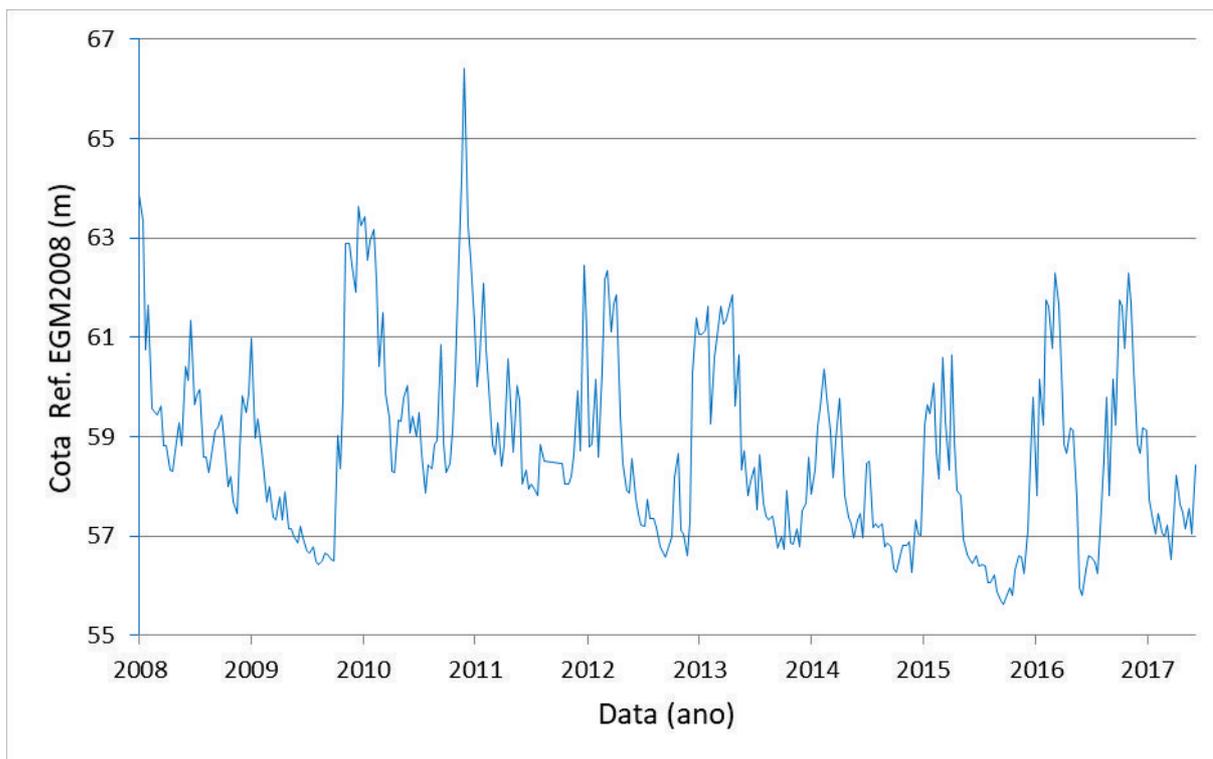


Figura 16. Série temporal de nível de água da estação Boa Vista.

4.1.3 Estação Manaus

É a estação mais antiga situada na bacia Amazônica.. Encontra-se instalada no porto da cidade de Manaus (Figura 17), na margem esquerda do rio Negro. É a última estação de monitoramento de nível da água na calha do rio Negro, antes do encontro de suas águas com o rio Solimões. A largura do rio nesse ponto de monitoramento é de aproximadamente 2650 metros.

A estação de Manaus é a que possui a maior série de dados. É uma das primeiras estações de monitoramento de nível de água do país, instalada em 1902. Devido ao grande número de observações e o comportamento linear do rio Negro próximo a Manaus, a CPRM consegue prever a cota máxima anual com 90 dias de antecedência (Alerta de Cheia de Manaus), que ocorre, majoritariamente, no mês de junho. Em Manaus, as 3 maiores cheias ocorreram na última década, sendo que a cota máxima atingida foi de 29,97 m.

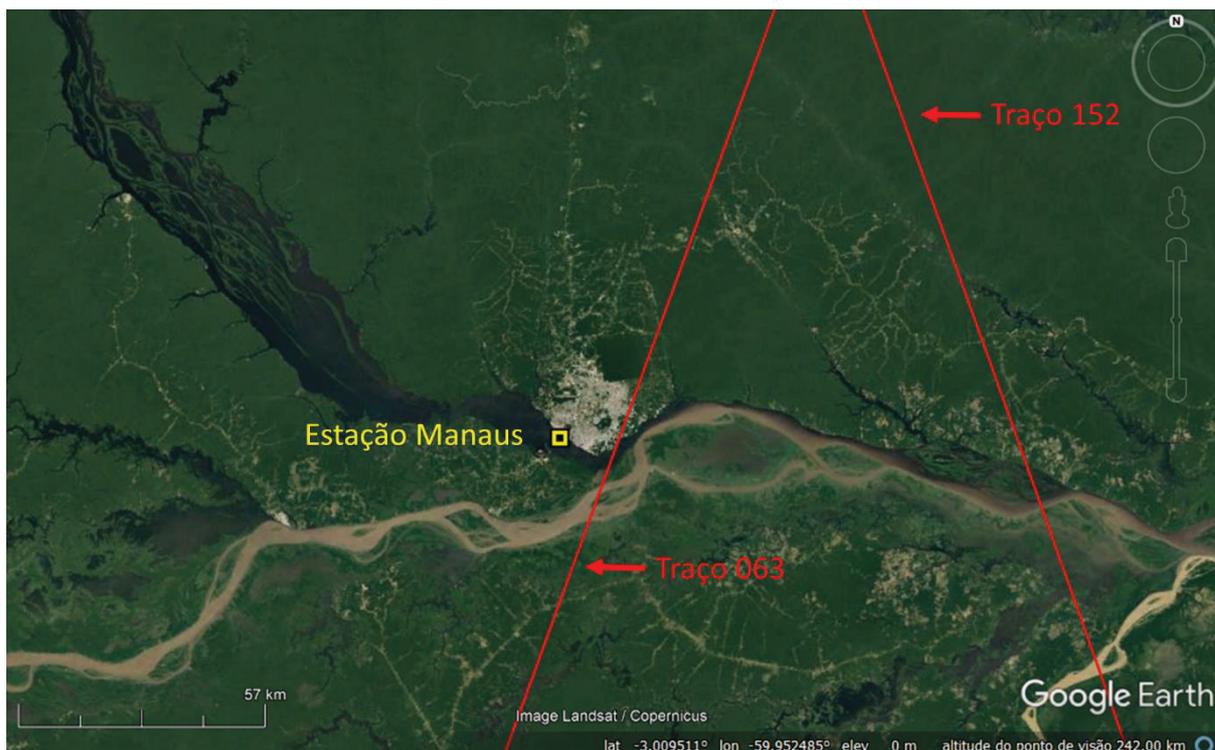


Figura 17. Estação linimétrica de Manaus (14990000), identificada pelo marcador amarelo, traço #063, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do *Google Earth* em segundo plano.

Conforme Figura 18, as cotas máximas registradas durante o período de estudo ocorrem, preferencialmente, no mês de junho, com maior valor de 22,97 m, em 01/06/2012, enquanto as cotas mínimas ocorrem, preferencialmente, no meses de outubro e novembro, cujo menor valor foi de 6,63 m, em 24/10/2010. A amplitude das cotas é de 16,35 m.

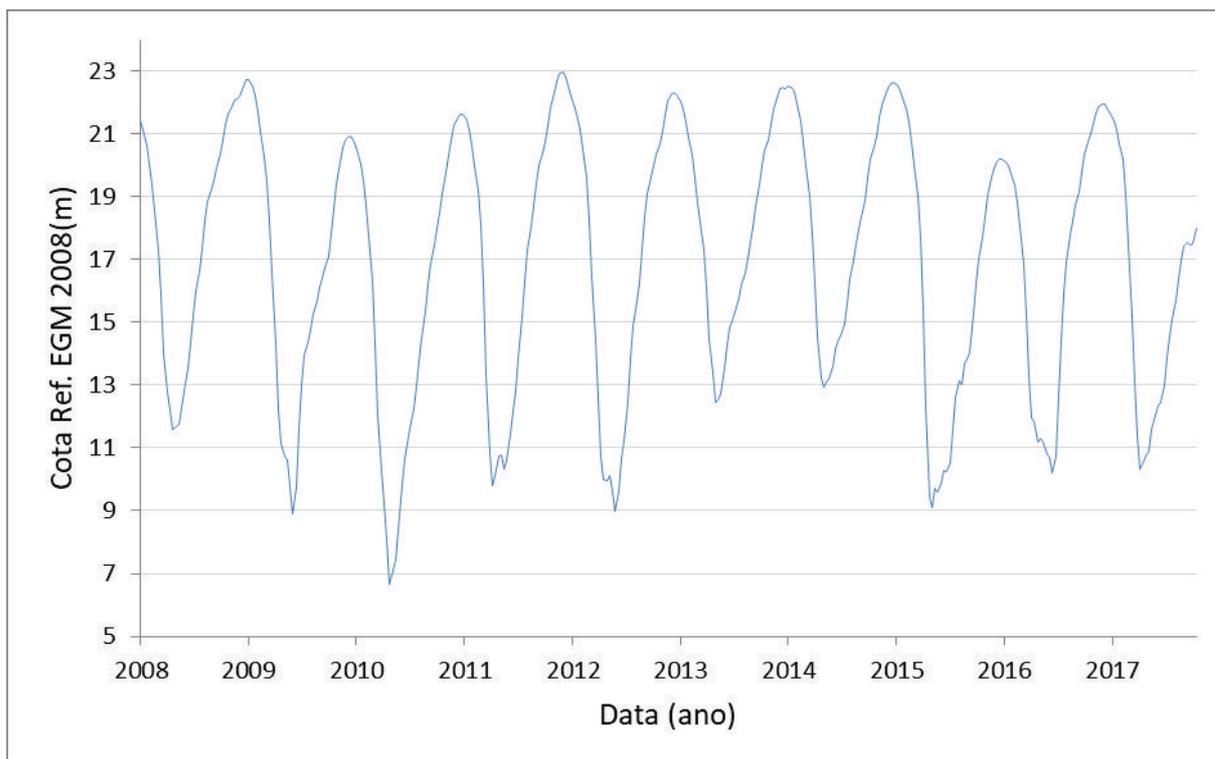


Figura 18. Série temporal de nível de água da estação Manaus.

4.1.4 Estação Tabatinga

A estação de Tabatinga situa-se na margem esquerda do Rio Solimões, próximo à fronteira com o Peru e Colômbia. É a primeira estação de monitoramento nessa bacia (Figura 19). O registro de nível diário da água teve início em 1982 e a partir de 2013 passou a contar com um equipamento automático de leitura horaria de nível. O rio possui uma largura aproximada de 2740 metros.



Figura 19. Estação linimétrica de Tabatinga (10100000), identificada pelo marcador amarelo, traço #102, do satélite Jason 2, em linha vermelha. Mosaico de imagens do *Google Earth* em segundo plano.

A série temporal de cotas da Figura 20 apresenta os níveis do rio Solimões, em Tabatinga do período de julho de 2008 até 2018. Observa-se que as máximas ocorrem, majoritariamente, no mês de maio e as mínimas no mês de outubro. A cota máxima histórica foi de 69,96 m, em 19/05/2015 e a mínima de 55,68 m em 07/10/2010, correspondendo a uma amplitude de 14,28 m.

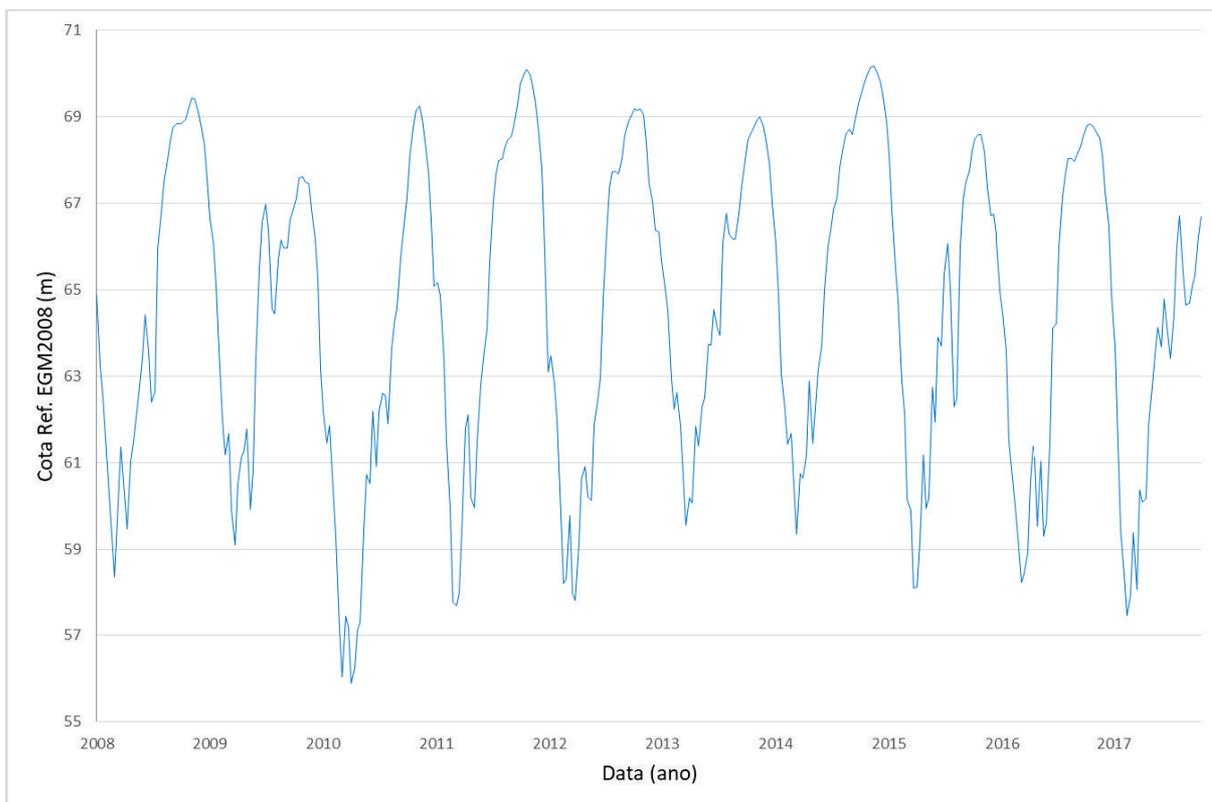


Figura 20. Série temporal de nível de água da estação Manaus.

4.1.5 Estações Virtuais Compostas

Os rios são cursos de água que transportam escoamentos concentrados com superfície livre, alimentados pelas águas advindas de precipitações pluviais ou da contribuição subterrânea (SILVA et al., 2003), apresentando a forma mais visível de escoamento superficial e fazendo parte do ciclo hidrológico (CHISTOFOLETTI, 1981). O nível de água é a principal grandeza que caracteriza a vazão de um rio (VILLELA E MATTOS, 1975) sendo esta variável no tempo e no espaço (TUCCI, 2001). Essa variabilidade corresponde ao regime hidrológico do rio, seja no decorrer de um ano civil (janeiro a dezembro) ou de um ano hidrológico (ciclo de vazante-cheia-vazante) (TUCCI, 2002). Ressalta-se ainda que, essa variabilidade sofre influência de diversos fatores, entre eles as condições climáticas, cobertura vegetal, tipo de solo e a ação antrópica (COLLISCHONN, 2005).

Roux et al. (2010) descrevem diversas metodologias para a determinação de séries temporais de nível de água com dados altimétricos, provenientes das estação

virtual, utilizadas nos estudos de hidrossistemas continentais, sendo que a seleção regular dos dados altimétricos houvera obedecido critério exclusivamente geográfico, isto é, um retângulo delimitado pelas latitudes e longitudes mínimas e máximas, sem qualquer critério para eliminação dos ruídos provenientes do tamanho da faixa imageada, e que, segundo os autores, dependem dos objetivos propostos, das informações disponíveis para tais objetivos e das ferramentas computacionais que estão acessíveis para conduzir esses estudos. Na busca de uma alternativa para melhorar a seleção dos dados altimétricos e, conseqüentemente, a elaboração das estações virtuais, Silva et al. (2010) desenvolveram e testaram uma metodologia manual, adaptada às variações no tempo e no espaço, permitindo uma seleção tri-dimensional dos dados em um espaço superfície-profundidade através do programa MAPS.

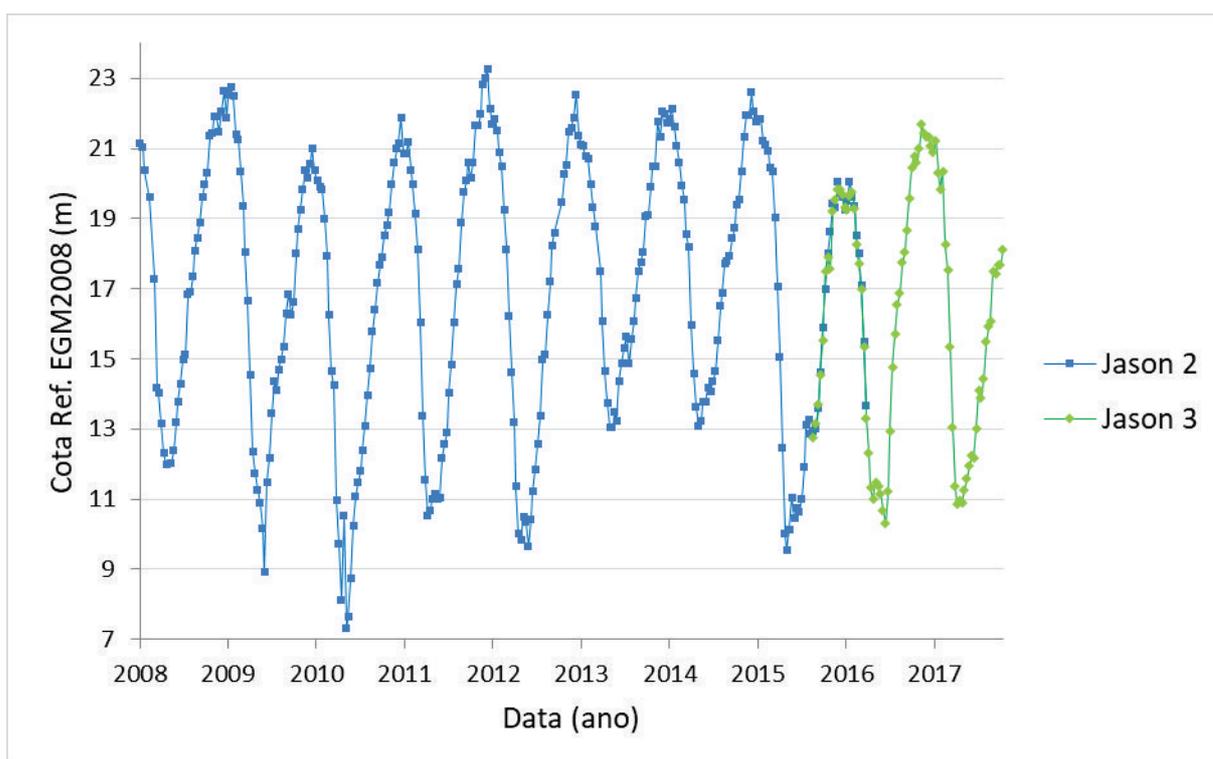


Figura 21. Série temporal altimétrica de nível de água da EVC Manaus.

Na Figura 21 observa-se a série temporal altimétrica de nível de água da EVC Manaus, em azul são apresentados os dados do satélite Jason 2 e em verde, os dados do satélite Jason 3, onde consta-se que a partir do emprego do MAPS, selecionam-se, com maior confiabilidade, os dados altimétricos sob o plano de água

para cada passagem do satélite. No MAPS é possível analisar de forma simultânea as medidas altimétricas em dimensões diferentes. A partir dessa interface, são selecionados os pontos que efetivamente serão utilizados para a série da estação virtual. A escolha é visual e tem como objetivo a eliminação dos dados que não representam a superfície da água, como as margens, bancos de areia, vegetação, entre outros. Também são incorporados tratamentos da medida altimétrica, como múltiplas correções do efeito de afastamento em relação ao nadir (*off-nadir*).

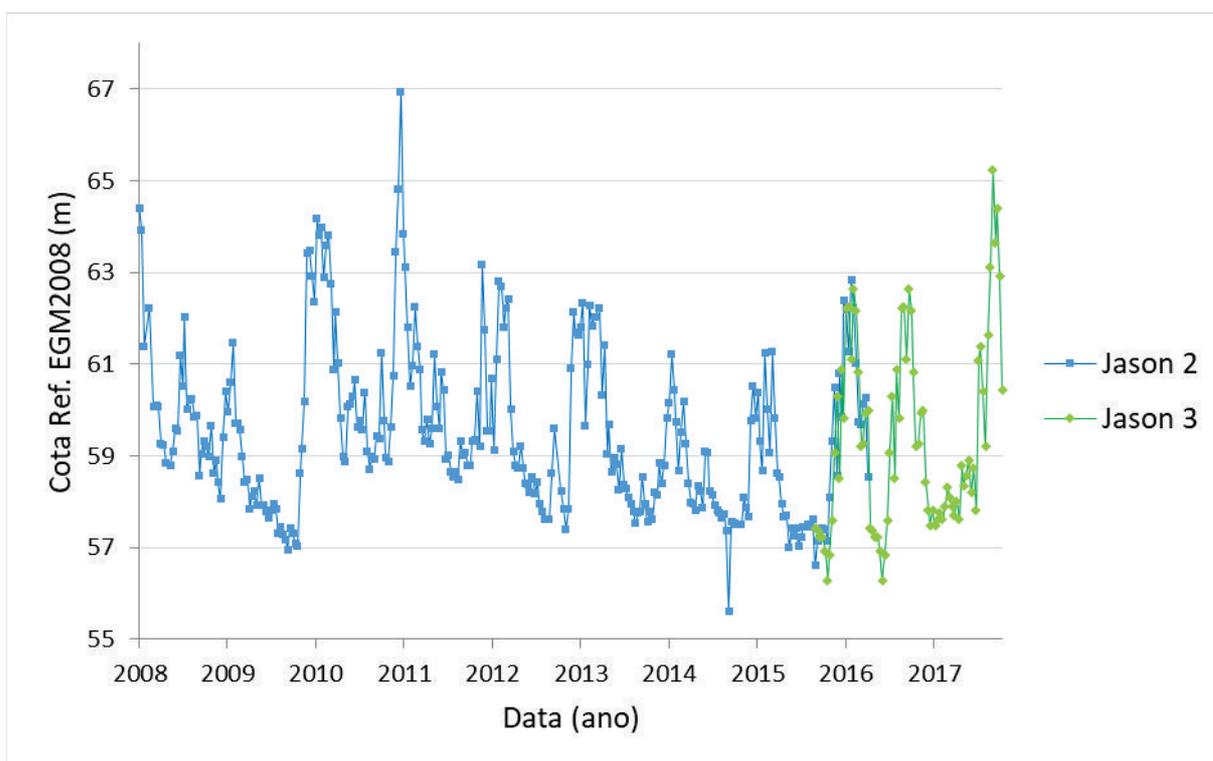


Figura 22. Série temporal altimétrica de nível de água da EVC Boa Vista.

Para uma estação virtual, a resolução temporal de amostragem de nível da água é definida pelo período de revisita do satélite (ciclo). Nas missões altimétricas Jason 2 e 3 o ciclo possui um período de 10 dias, portanto em um ano hidrológico é possível obter até 36 amostras de dados de nível da superfície da água no mesmo ponto. A baixa resolução temporal é um dos maiores inconvenientes do uso do satélite para estudos das águas continentais (CALMANT E SEYLER, 2006). Entretanto, essa resolução não apresenta uma perda de informação muito significativa para grandes bacias como a Amazônica, onde a velocidade de variação dos níveis é pequena devido as grandes áreas de seções transversais e as baixas declividades da

planície, conforme verifica-se nas Figura 22 e 23 das séries temporais altimétricas de nível de água das EVCs Boa Vista e Tabatinga, em azul constam os dados do satélite Jason 2 e em verde, os dados do satélite Jason 3.

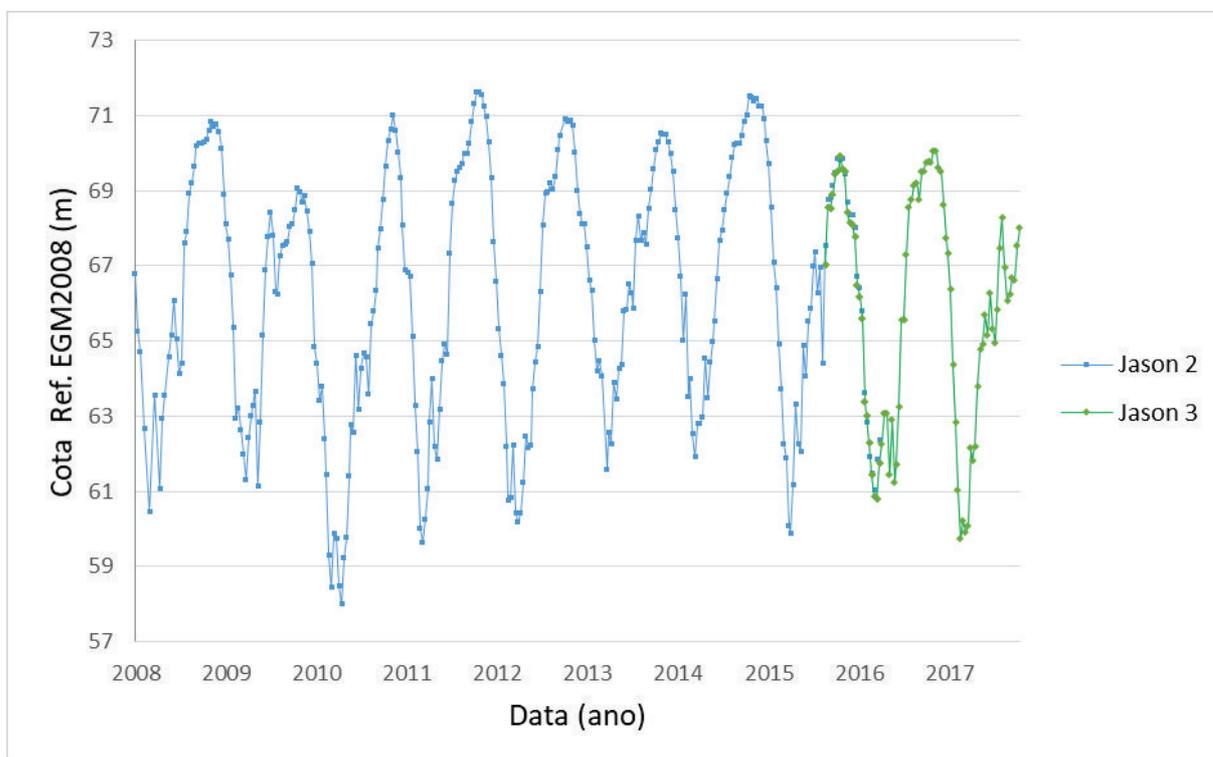


Figura 23. Série temporal altimétrica da EV Tabatinga.

Na análise dos dados gerados para cada estação, observa-se que os locais onde há uma maior presença de bancos de areia com estreitamento do canal de escoamento, como na ECV Fazenda Passarão (Figura 24), principalmente no período de vazante, os dados altimétricos apresentam maiores desvios nas cotas mais baixas, conforme observa-se na Figura 25 e na série temporal altimétrica da Figura 26 Isso ocorre devido à dificuldade de identificação visual da correta localização da superfície da água na seleção dos dados.



Figura 24. Bancos de areia na seção transversal da EVC Fazenda Passarão. Mosaico de imagens do *Google Earth* em segundo plano.

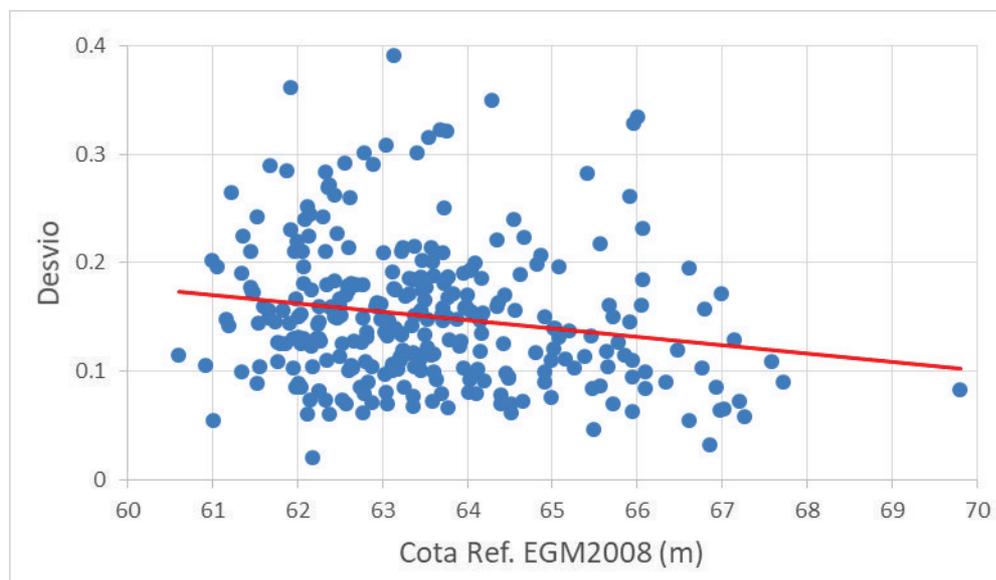


Figura 25. Correlação entre a cota e o desvio para a EVC Fazenda Passarão.

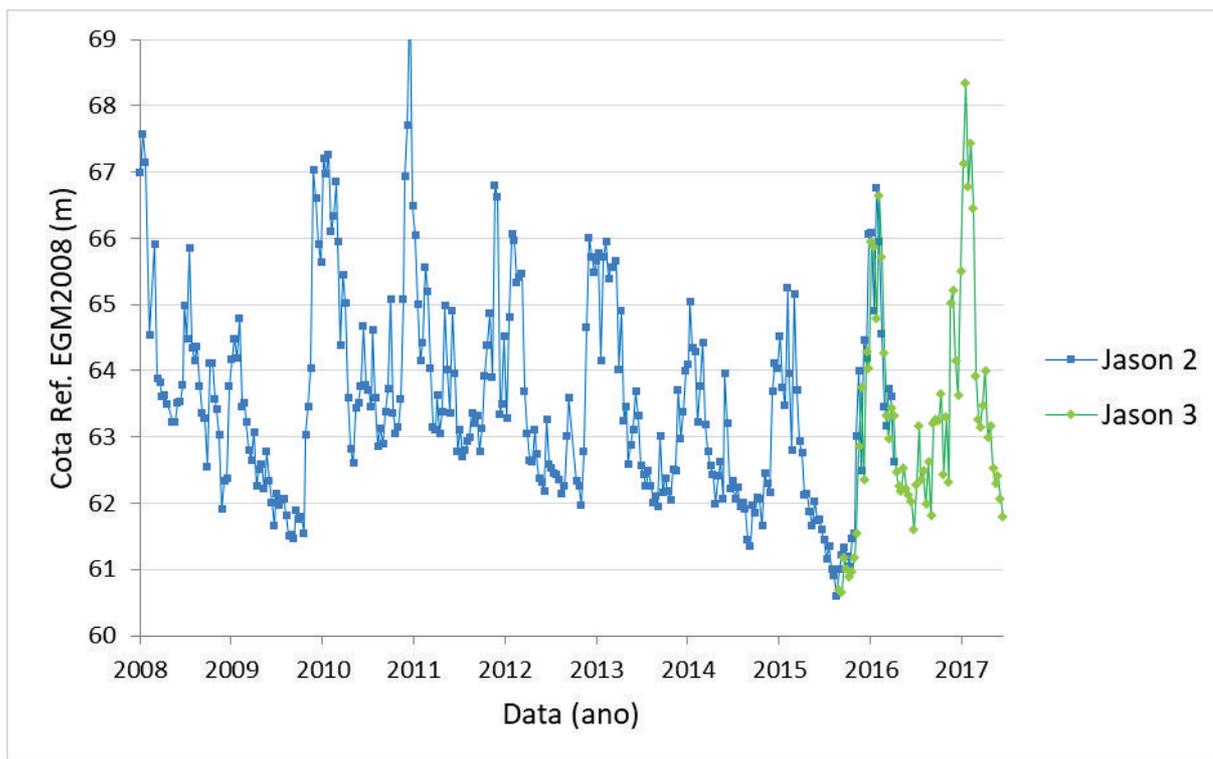


Figura 26. Série temporal altimétrica da EV Fazenda Passarão.

4.2 VALIDAÇÃO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS

O RMS é usualmente utilizado na bibliográfica para validação dos dados de altimetria, pois é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável, sendo a medida ideal quando se analisa variações positivas e negativas, como é o caso das diferenças de níveis altimétricos dos observados *in situ*. Para o cálculo do RMS, foram considerados apenas os dados altimétricos obtidos pelo Jason 2, levando em consideração que quanto maior a amostragem, maior é a confiabilidade estatística. Durante a operação do satélite Jason 2, foram gerados 303 dados (ciclos) antes da mudança da sua órbita. Até o momento do processamento dos dados para esse estudo, o satélite Jason 3 havia realizado apenas 80 ciclos, um número de amostra muito inferior que se fosse realizada sua análise, poderia mascarar os resultados obtidos pelo J2.

Neste estudo, a validação foi realizada computando-se o DAM para os dados altimétricos e RMS entre as os dados altimétricos e *in situ*, nas estações linimétricas de Manaus (14990000), Tabatinga (10100000), Fazenda Passarão (14515000) e

Boa Vista (14620000), que foram previamente niveladas conforme as altitudes do zero da régua, sugeridos por Moreira (2016). As EVCs foram nomeadas com denominação correspondente às estações convencionais.

Os resultados encontram-se listados na tabela 05. Para as séries temporais do satélite Jason 2, para o algoritmo Ice-1, o menor RMS encontrado, é 27 cm, enquanto o DAM é 19 cm, igualmente ambos para a EVC Boa Vista. O RMS médio entre as quatro estações foi de 47,25 cm. Estes valores para o RMS não corresponde a grandes erros aleatórios. Na realidade, são devidos, na sua maioria, a alguns pontos mal selecionados, que podem corresponder a contaminação do eco do radar por algum acidente topográfico, detectado pelo altímetro. Seus valores são comparáveis aos valores obtidos em estudos realizados para rios da Amazônia, para os satélites ERS-2 e ENVISAT abordados em Silva et al. (2010) e para o satélite SARAL realizado por Conchy (2016).

Tabela 5. Validação dos dados altimétricos do Jason 2.

Código Estação RHN	EVC	DAM (cm)	RMS (cm)
10100000	Tabatinga	32	44
14515000	Fazenda Passarão	43	66
14620000	Boa Vista	19	27
14990000	Manaus	35	52

Na Figura 27, são apresentados os resultados obtidos na EVC Manaus (14990000). O gráfico mostra as duas séries temporais (*in situ* e altimétrica) relativas a estação analisada. A série dos níveis altimétricos, gerada a partir do Jason 2 são os pontos vermelhos e a série de níveis de água medida pela estação fluviométrica (estação *in situ*) estão em azul. A série desta estação possui um DAM de 35 cm com distribuição uniforme em toda a amplitude de cotas. O RMS encontrado na comparação entre os dados do Jason 2 e o dados *in situ* é de 52 cm.

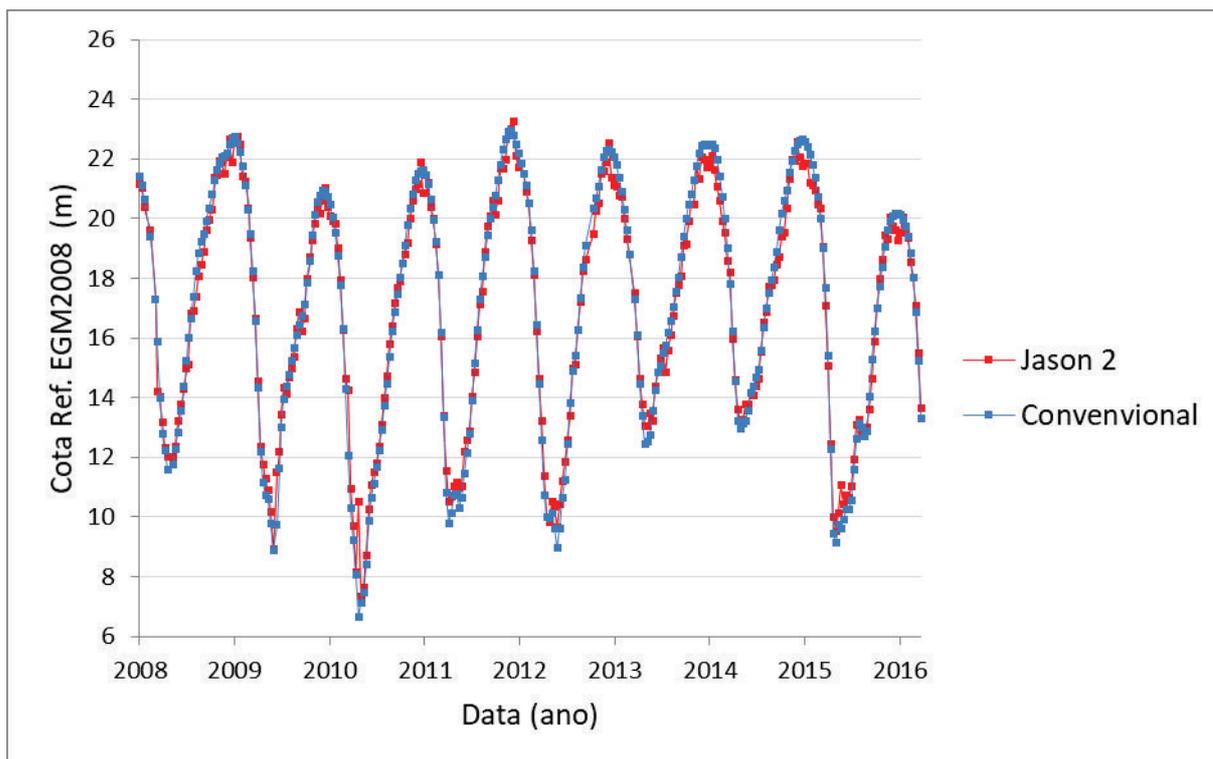


Figura 27. Validação dos dados altimétricos para a EVC Manaus.

Observa-se na Figura 28, os resultados obtidos na validação da EVC Tabatinga (10100000). O gráfico também mostra as duas séries temporais, com os níveis altimétricos representados pelos pontos vermelhos e a série de níveis de água medida pela estação fluviométrica em azul. Na análise desta estação é possível observar a limitação da técnica altimetria espacial, quanto ao registro de eventos extremos destacados com as setas azuis. Como nos anos de 2009, 2010, 2012, 2015 e 2016 as cotas máximas foram atingidas em uma data compreendida entre dois ciclos (10 dias), a série temporal altimétrica não conseguiu registrar esses dados. A série desta EVC possui um DAM de 32 cm, mas assim como demonstrado na Figura 25, os maiores desvios estão concentrados nas cotas mais baixas. O RMS encontrado foi de 44 cm.

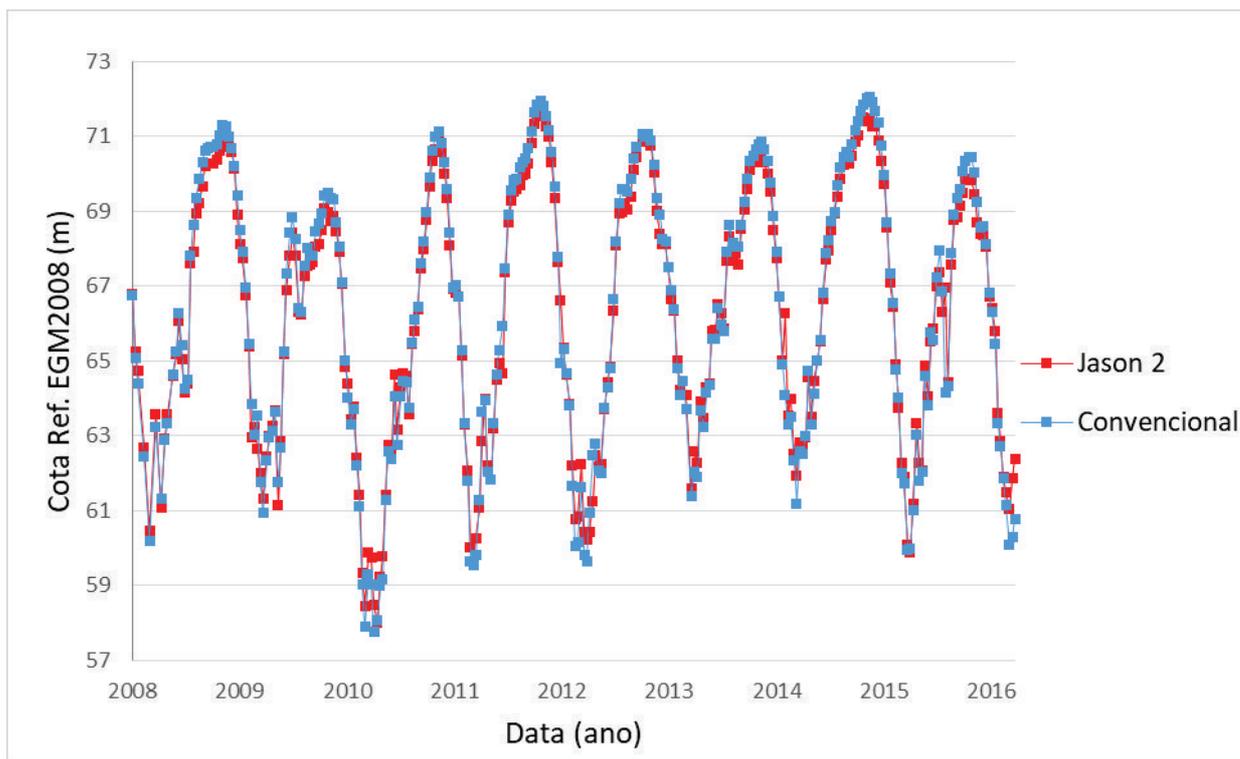


Figura 28. Comparação entre os dados – Estação Tabatinga.

A validação dos dados da EVC Fazenda Passarão está representada na Figura 29. Assim como os demais gráficos, os dados altimétricos estão representados pelos pontos vermelhos enquanto os dados da estação fluviométrica estão em azul. A série desta estação possui um DAM de 43 cm. e RMS de 66 cm.

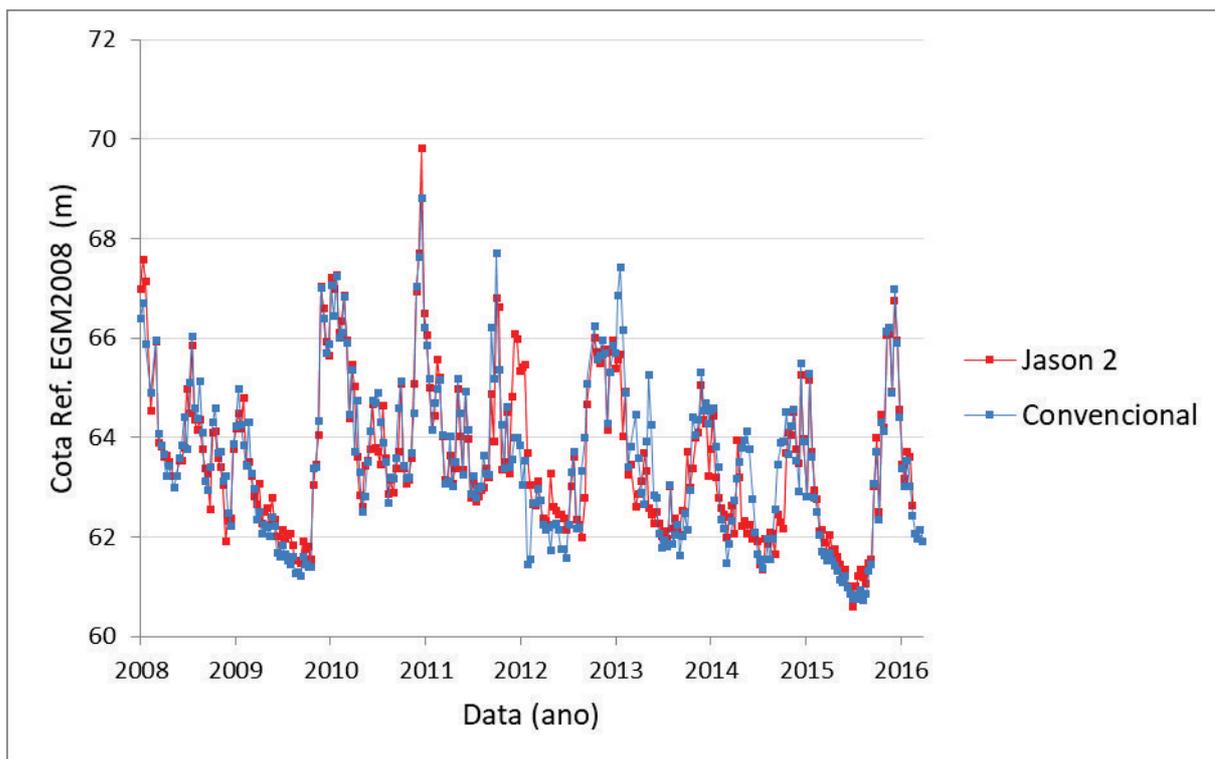


Figura 29. Comparação entre os dados – Estação Fazenda Passarão.

Os últimos dados validados são da estação Boa Vista (14620000). No gráfico, os níveis altimétricos também foram apresentados pelos pontos vermelhos e a série de níveis de água *in situ*, foram representados com pontos azuis. A estação possui um DAM de 19 cm. Assim como ocorreu em Tabatinga, os maiores desvios encontram-se na comparação das cotas mais baixas, relativas a vazante. O maior DAM foi de 1,32 cm. O RMS calculado entre as duas séries de dados foi de 27 cm.

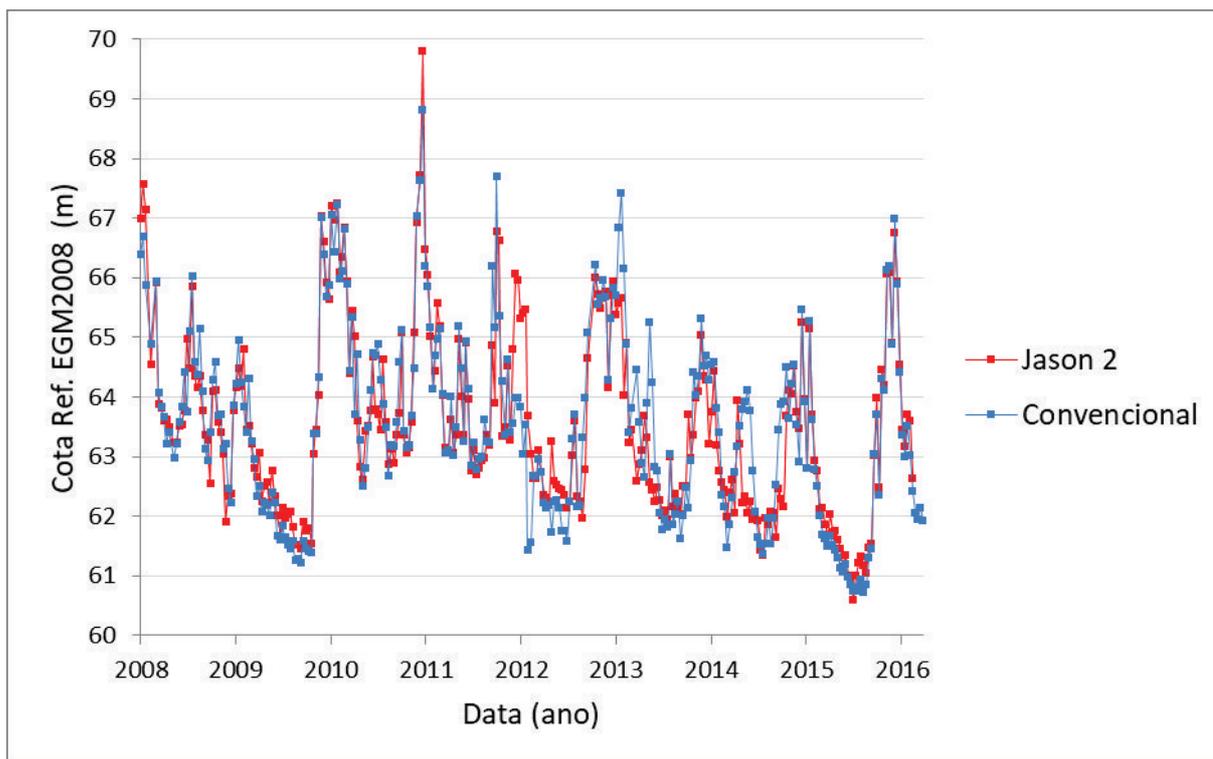


Figura 30. Comparação entre os dados – Estação Boa Vista.

4.3 MONITORAMENTO TRANSFRONTEIRIÇO DA BACIA AMAZÔNICA

Foram selecionadas duas EVCs para compor o monitoramento transfronteiriço da bacia Amazônica, uma na bacia do rio Solimões e outra no rio Negro, tendo em vista que são os principais rios da bacia e que após o encontro dos mesmos, forma-se o rio Amazonas.

A ECV na bacia do Rio Negro está situada a 164 km a montante da estação linimétrica Cucuí (14110000), primeira estação de monitoramento hidrológico no rio Negro pertencente à RHN. Foi delimitada geograficamente no cruzamento do traço 089, sob a superfície da água do Rio Negro, situado em território venezuelano. A série temporal altimétrica composta por dados gerados durante os 10 anos das missões Jason 2 e 3 é mostrada na Figura 31. As cotas máximas atingem seu pico nos meses de junho e julho. A maior cota foi de 86,91 m e ocorreu em junho de 2010, enquanto a menor foi de 78,47 m e ocorreu 02 de janeiro de 2016.

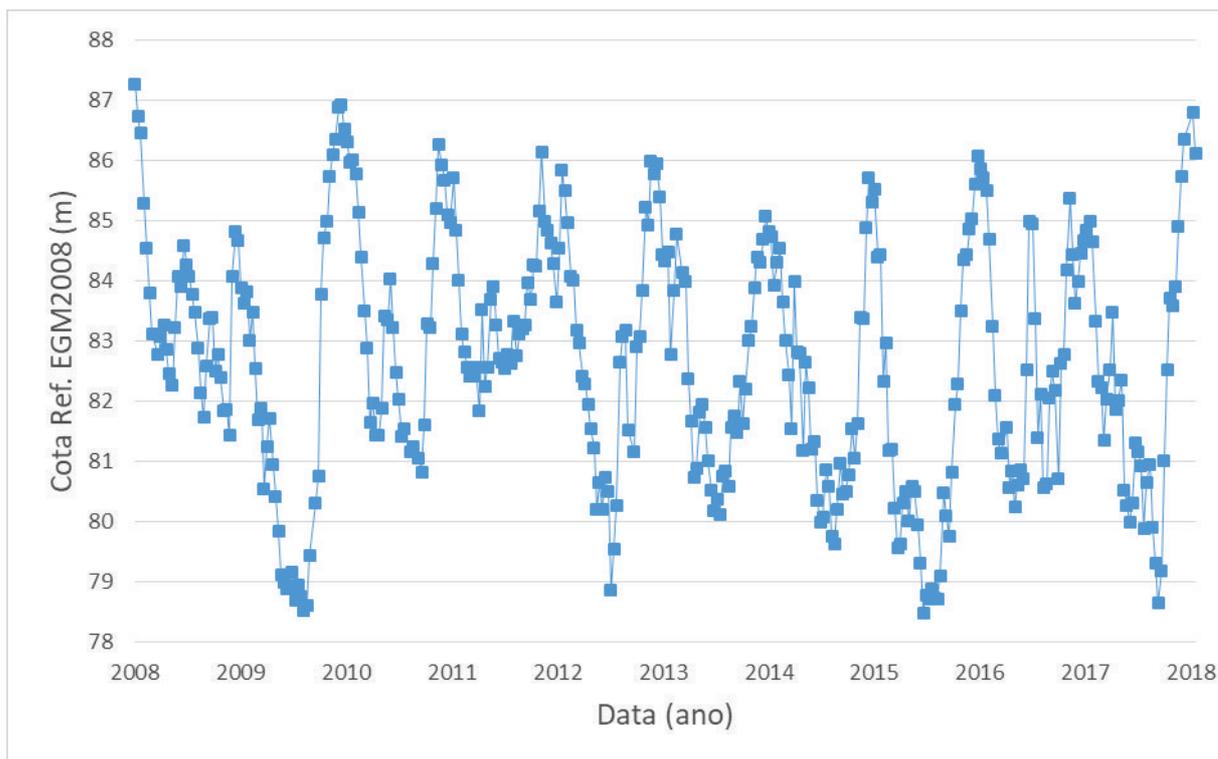


Figura 31. Série temporal altimétrica da EVC Rio Negro.

No cotograma (Figura 31) percebe-se claramente as características de sazonalidade do rio Negro, a inundação desenvolve-se sobre vários meses e permanece em sua superfície máxima durante algumas semanas, dando origem a um cotograma multimodal, resultante do regime equatorial (RODIER, 1964 e MOLINIER et al., 1997), com dois períodos hidrológicos bem definidos ao longo do ano e ascensões e recessões assimétricas. O período de enchente avança rapidamente e a vazante progride lentamente. Nesta EVC, à montante, quando o curso de água percorre o território colombiano, a cheia ocorre entre os meses de abril e julho. Um ou mais picos de magnitude inferior à máxima são encontrados no segundo semestre. A estiagem inicia-se em dezembro e se estende até março.

A identificação dos eventos extremos de máxima, que ocorreu no ano de 2010 e mínima, que ocorreu no ano de 2016, facilita a interpretação das informações contidas no gráfico e estão representados pelos cotogramas em azul e amarelos, respectivamente (Figura 32). A situação atual do nível do rio, representada pelo cotograma em vermelho, é comparada com o comportamento dos níveis das águas durante a ocorrência destes eventos.

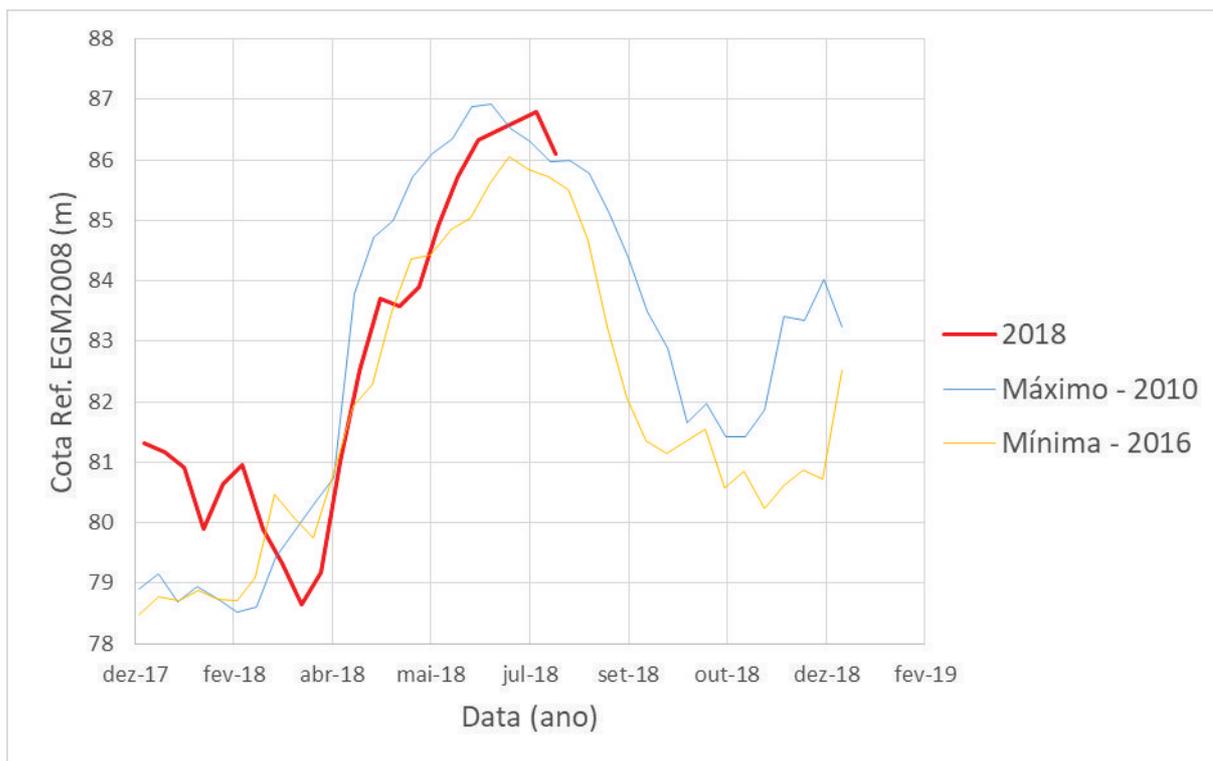


Figura 32. Monitoramento transfronteiriço altimétrico na EVC Rio Negro.

Na bacia do Solimões/Amazonas, a EVC foi criada próxima a cidade de Iquitos no Peru, no cruzamento do traço 026 com a superfície da água do rio Amazonas. Ela está situada a aproximadamente 460 km a montante da estação de Tabatinga (10100000). A série temporal composta (Figura 33) foi elaborada com os dados dos satélites Jason 2 e 3. As cotas máximas nesta estação ocorrem, normalmente, nos meses de abril e maio. A máxima observada ocorreu em 11 de abril de 2012, quando o nível do rio atingiu 88,74 m. As mínimas ocorrem entre os meses de agosto e dezembro, com a cota mínima de 78,03 m, em 31 de agosto de 2008.

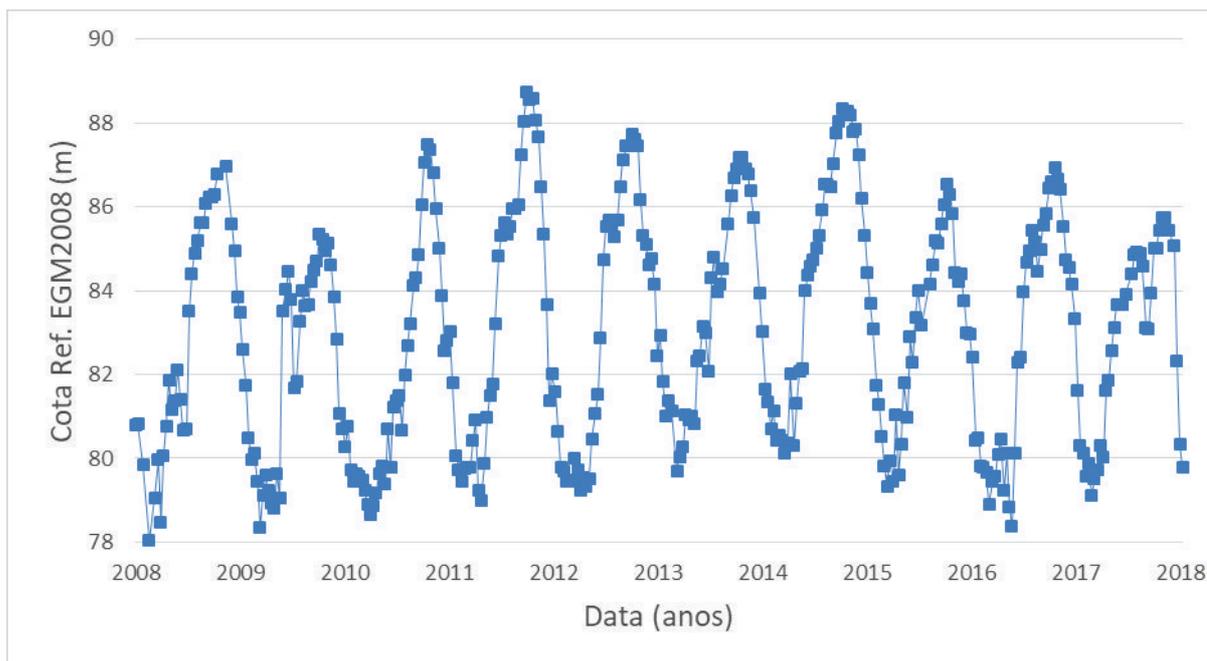


Figura 33. Série temporal altimétrica da EVC Solimões.

Na Figura 34 pode-se identificar que a inundação se desenvolve sobre vários meses e permanece em sua superfície máxima durante algumas semanas, dando origem a um cotograma multimodal, resultante do regime equatorial alterado (RODIER, 1964 e MOLINIER et al., 1997), com dois períodos hidrológicos bem definidos ao longo do ano e ascensões e recessões assimétricas. A vazante se inicia em agosto, podendo se estender até dezembro. A cheia, abrange de janeiro a junho. A identificação dos eventos extremos de máxima, que ocorreu no ano de 2012, representada pelo cotograma em azul. Como a mínima ocorreu em um ano em que os dados estão incompletos, devido a data de lançamento do satélite Jason 2, optou-se em usar os dados do ano 2009, que pela série temporal foi o ano que ocorreu a segunda maior vazante, neste ano a cota atingiu 78,35 metros, no dia 22 de setembro, representada pelo cotograma em amarelos. A situação atual do nível do rio está representada pelo cotograma em vermelho.

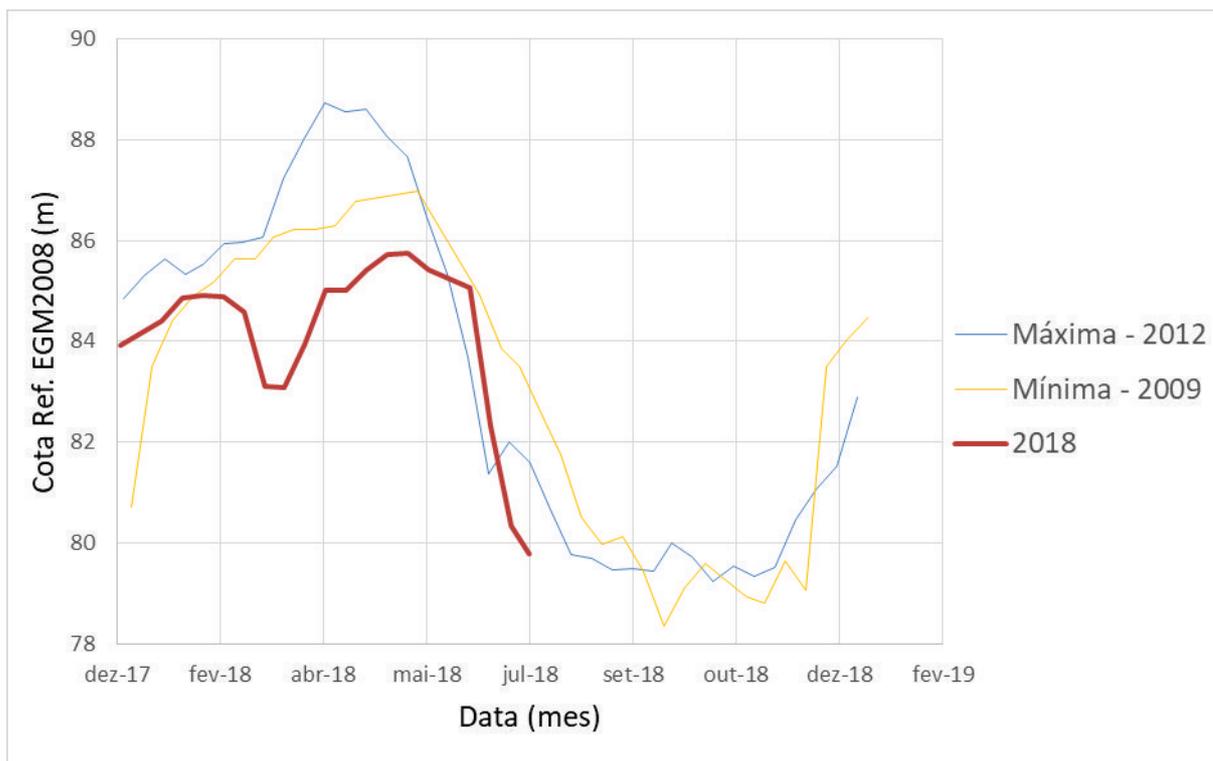


Figura 34. Monitoramento transfronteiriço altimétrico na EVC Solimões.

4.4 Modelo do Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental.

O modelo de gestão de recursos hídricos descentralizado por bacias hidrográficas preconizado na PNRH demanda uma ampla participação no processo de tomada de decisões, incluindo membros técnicos e não técnicos. Para auxiliar nessa tomada de decisões a catalogação de informações hídricas se mostra fundamental, destacando-se o monitoramento hidrológico, pois os dados coletados pela rede de estações fluviométricas são utilizados para avaliar a disponibilidade hídrica, acompanhar e prever a ocorrência de eventos críticos, produzir estudos e projetos dos diversos usuários, como potencial energético, navegação, irrigação e abastecimento além de definir as políticas públicas. A complexidade envolvida na gestão de recursos hídricos faz necessária a utilização de ferramentas de auxílio. A altimetria espacial surge como essa ferramenta, auxiliando no monitoramento, de modo a otimizar a gestão sob estes aspectos.

A implementação de gestão eficaz requer métodos robustos de monitoramento hidrológico, por conseguinte, elaborou-se um novo modelo de boletim, com as informações das duas EVCs de monitoramento transfronteiriço (Rio Negro e Solimões). A interpretação dos dados altimétricos dentro do boletim se mostraram satisfatórias, principalmente quando da determinação do término de períodos de cheia e vazante dos rios Negro e Solimões dentro do território brasileiro, uma vez que as estações estão situadas a montante e o comportamento nas grandes bacias tendem a propagar no sentido montante para jusante.

É importante salientar a importância da participação popular na gestão de recursos hídricos, visto que a gestão descentralizada e participativa é um dos fundamentos da PNRH. A identificação dos eventos extremos no modelo de Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental facilita a interpretação das informações contidas nos gráficos pela população, pois esses ficam registrados na memória da sociedade.

Dessa forma, o monitoramento transfronteiriço da bacia Amazônica, com dados altimétricos estimados pelos satélites altimétricos Jason 2 e 3, como forma de complementar o Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental, com informações altimétricas dos níveis da água em locais onde não é possível obter os dados de maneira convencional, para auxiliar a gestão de recursos hídricos, é uma alternativa viável. O Boletim é emitido semanalmente, todas as sextas-feiras, com informações sobre o comportamento dos rios em diversas estações hidrometeorológicas situadas dentro da bacia e como a resolução temporal dos dados do satélite utilizado é de 10 dias, optou-se em inserir as informações altimétricas no boletim quinzenalmente. O modelo do Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental é apresentado no Apêndice I deste estudo.

5 CONCLUSÕES

O principal objetivo deste estudo consistiu em realizar o monitoramento transfronteiriço, por altimetria espacial, dos níveis de água nos rios da bacia Amazônica, fornecendo informações complementares para o Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental, como forma de garantir maior agilidade e precisão nas ações decorrentes do comportamento dos rios, na gestão dos recursos hídricos amazônicos. Para corroborar a hipótese que os dados altimétricos reproduzem com fidelidade as variações dos níveis de água, fornecendo dados úteis para subsidiar estudos hidrológicos na bacia hidrográfica, unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, aplicou-se o método de validação externa, comparando-se diretamente as medidas altimétricas do satélite Jason 2 com as medidas diárias das réguas linimétricas. Visto que, assim como as estações linimétricas, as estações virtuais altimétricas também apresentam registros de dados de nível da água em relação ao tempo, viabilizando a análise e a comparação dos dados ao longo da série histórica de 10 anos.

Salienta-se que o critério de validação empregado foi o valor eficaz (RMS), pois é o ideal quando se analisa variações positivas e negativas, como é o caso das diferenças entre os níveis altimétricos dos observados *in situ*. Além disso, o RMS é usualmente empregado na bibliografia sobre validação de dados altimétricos. Para tal, foram selecionadas quatro estações da Rede Hidrometeorológica Nacional, mais especificamente as estações de Boa Vista (14620000), Fazenda Passarão (14515000), Manaus (14990000) e Tabatinga (10100000). O valor médio do RMS encontrado para as quatro estações foi de 47,25 cm, com valores variando de 27 cm na estação Boa Vista a 66 cm na estação Fazenda Passarão. Dessa forma, a validação dos dados do satélite Jason 2 para a bacia Amazônica apresenta bons resultados, condizentes com outros estudos de validação de dados altimétricos já realizados em águas continentais e oferece a possibilidade de observação desta região como parte de um sistema de monitoramento integrado com os dados *in situ*.

Para o monitoramento transfronteiriço da Bacia Amazônica foram estabelecidas duas estações virtuais compostas com dados dos satélites Jason 2 e

3. Uma situada na calha do rio Amazonas, no Peru (EVC Solimões) e outra no rio Negro, na Venezuela (EVC Rio Negro). Acompanhar o comportamento da variação dos níveis das águas fora do território nacional se mostrou muito eficaz na análise e previsão do comportamento dos rios nos pontos de monitoramento *in situ*, conseqüentemente propôs-se que as séries temporais destas estações virtuais compostas sejam incorporadas no Boletim de Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental, cujos objetivos envolvem a sociedade na percepção, no entendimento dos processos, e em decisões que induzam a uma sustentabilidade no uso dos recursos hídricos, que deram o respaldo necessário ao desenvolvimento desta pesquisa.

Através da altimetria espacial, técnica responsável por gerar informações hidrológicas, é demonstrada a utilidade de obtenção de dados em áreas não monitoradas com dados convencionais, auxiliando, desta forma, no planejamento, conservação e uso dos recursos hídricos. A missão altimétrica SWOT (*Surface Water Ocean Topography*), previstas para 2021, contribuirá para uma melhor compreensão dos oceanos e das suas águas superficiais terrestres, pois utilizará a altimetria interferométrica e um altímetro radar, fornecendo uma imagem bidimensional da faixa imageada, o que possibilitará aprimorar o monitoramento dos níveis de água, favorecendo a análise espacial no estudo da variabilidade hidrológica.

Nesse sentido, destaca-se o processo permanente de gestão com base em monitoramento hidrológico preconizado pela Lei nº 9.433/97, cabendo, aqui, resgatar o objetivo geral do Plano Nacional de Recursos Hídricos, voltado para a melhoria da oferta de água, que é gerenciar as demandas considerando ser a água um elemento estruturante para a implementação da qualidade de vida, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social. O monitoramento transfronteiriço da bacia Amazônica abordado neste trabalho e emblemático dessa situação e confirma seu uso como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos.

Recomenda-se, para estudos futuros, estender este monitoramento a outros rios situados fora do território brasileiro, enriquecendo-se o Boletim de

Monitoramento Hidrológico da Amazônia Ocidental, etapa vital para o conhecimento regional dos recursos hídricos e a implementação da gestão apropriada nesse rico território.

REFERENCIAS

ALSDORF, D. E., BIRKETT, C. M., DUNNE, T., MELACK, J., HESS, L. Water level changes in a large Amazon lake measured with spaceborne radar interferometry and altimetry. **Geophysical Research Letters**, 28(14):2671-2674, doi: 0094-8276/01/2001GL012962, 2001.

BRASIL (2018). Agencia Nacional de Aguas (ANA). **Rede Hidrometeorológica da Amazônia**, 2018. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/RHAmazonica.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos**, 2018. Hidroweb. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em 01 de março de 2018.

BIRKETT, C. M. Contribution of the TOPEX NASA radar altimeter to the global monitoring of large Rivers and wetlands, **Water Resources Research**, v. 34, n. 5, pp. 1223-1239. doi: 0043-1397/98/98WR-00124, 1998.

BIRKETT, C. M., MERTES, L. A. K., DUNNE, T., COSTA, M. H., JASINSKI, M. J.. Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry. **Journal of Geophysical Research**, 107(D20): 8059, doi:10.1029/2001JD000609, 2002.

BIRKETT, C. M. E B. BECKLEY. 2010. Investigating the Performance of the Jason-2/OSTM radar altimeter over Lakes and Reservoirs, Jason-2/OSTM **Special Issue, Marine Geodesy**, 33(1), pp.204-238, 2010.

BONNET, M-P., BARROUX, G., MARTINEZ, J. M., SEYLER, F., MOREIRA-TURCQ, P., COCHONNEAU, G., MELACK, J. M., BOAVENTURA, G., MAURICE-BOURGOIN, L., LEÓN, J. G., ROUX, E., CALMANT, S., KOSUTH, P., GUYOT, J. L.,

SEYLER, P. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuaí). **Journal of Hydrology**, 349 (1- 2):18-30, doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.10.055., 2008.

CALMANT, S. e SEYLER, F. Continental surface water from satellite altimetry. **Comptes Rendus Geosciences**. 338(14-15), 1113-1122, doi: 10.1016/j.crte, 2006.

CALMANT, S., SEYLER, F., CRÉTAUX, J. F. 2008, Monitoring Continental Surface Waters by Satellite Altimetry. **Survey in Geophysics**, v. 29, n. 4-5, pp. 1573-0956. doi: 10.1007/10712-008-9051-1, 2008.

CALMANT, S., SILVA, J, MEDEIROS MOREIRA, D. SEYLER,, F. SHUM, CK.CRETAUX, JF.,GABALDA, G.,2012. Detection of Envisat RA2 / ICE-1 retracked Radar Altimetry Bias INPE 5670 Over the Amazon Basin Rivers using GPS, **Advances in Space Research**, doi: 10.1016/j.asr.2012.07.033, 2012.

CHAVARRI, E.; CRAVE, A.; BONNET, M.; MEJIA, A.; SILVA, J. S.; GOYOT, J. Hydrodynamic One-dimensional Modeling of large rivers with complex geometric riverbed. **Journal of Hydrology**, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

CONCHY. T.S.X. **Validação das Medidas dos Níveis de Água Fornecidas pelo Satélite Altimétrico SARAL na Bacia Amazônica**. Bacharel em Meteorologia, Universidade do Estado do Amazonas, UEA, Brasil, 2016.

COSTI, A. C. Z. Validação de dados altimétricos de níveis de água adquiridos pelo satélite ENVISAT na bacia Amazônica. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, SBRH, Campo Grande, 2009.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia Ocidental**. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php# Acesso : 10 de Março de 2018, 2018.

FAO/WHO. **Codex general standard for food additives** (GSFA, Codex STAN 192-1995) online database, 1995. Disponível em: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/gsfa/en/> Acesso em: 10 de Abril de 2018.

FILIZOLA N, GUYOT JL, MOLINIER M, GUIMARÃES V, OLIVEIRA E, FREITAS MA. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. In: Rivas, A & Freitas, C. E. de C. **Amazônia uma perspectiva interdisciplinar**. Ed. EDUA, 33-53 p., 2002.

FRAPPART, F., SEYLER, F., MARTINEZ J-M., LEON, J-G, CAZENAVE, A.. Floodplain water storage in the Negro River basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water levels. **Remote Sensing of Environment**, 99:387-399, doi:10.1016/j.rse.2005.08.016, 2005.

FRAPPART, F. *et al.* Surface freshwater storage and dynamics in the Amazon basin during the 2005 exceptional drought. **Environmental Research Letters**, 7:044010, doi: 10.1088/1748-9326/7/4/044010, 2012.

GETIRANA, A. C. V., BONNET, M. P., CALMANT, S., ROUX, E., ROTUNNO FILHO, O. C., MANSUR, J. W. Hydrological monitoring of poorly gauged basins based on rainfall–runoff modeling and spatial altimetry. **Journal of Hydrology**, 379: 205-219, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.09.049, 2009.

GETIRANA, A. C. V. **Contribuições da Altimetria Espacial à Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias na Amazônia**. Rio de Janeiro: FRJ/COPPE. 273 p, 2009.

IBIAPINA A.V., FERNANDES D., OLIVEIRA E., GUIMARÃES V.S., SILVAM.C.A.M., CARVALHO D.C. **Evolução da Hidrometeorologia no Brasil**, O Estado das Águas

no Brasil - 1999, ANEEL-SIH, MMA-SRH, MME, Brasília/DF, Brasil, pag 121-137, 1999.

MARENGO, J.A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. **Rev. Brasil. Meteorol.** 21: 1–19, 2006.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade** - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. 2^a. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1. 214 p, 2007.

MERCIER, F., PICOT, N., LOMBARD, A., *et al.* Improved Jason-2 altimetry products for coastal zones and continental waters (PISTACH Project). *Eos Trans. AGU*, 89 (53), Fall Meet. Suppl., Abstract G31B–0662, 2007.

MOLINIER, M. *et al.* **Hydrologie du bassin amazonien**, in **Environnement et développement en Amazonie brésilienne**, by THÉRY, H. Paris, FR : Editions Belin, pp, 1997.

PAIVA R. C. D., COLLISCHONN W., BONNET M. P., DE GONÇALVES L. G. G., CALMANT S, GETIRANA A, SANTOS DA SILVA J. Assimilating in situ and radar altimetry data into a large-scale hydrologic-hydrodynamic model for streamflow forecast in the Amazon. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 17: 2929–2946, doi: 10.5194/hess-17-2929-2013, 2013b.

PARIS, A., R. DIAS DE PAIVA, J. SANTOS DA SILVA, D. M. MOREIRA, S. CALMANT, P.-A. GARAMBOIS, W. COLLISCHONN, M.-P. BONNET, AND F. SEYLER. Stage-discharge rating curves based on satellite altimetry and modeled discharge in the Amazon basin, **Water Resour. Res.**, 52, doi:10.1002/2014WR016618, 2016.

RODIER, J. **Régimes hydrologique de l’Afrique noire à l’Ouest Du Congo**. Paris, FR: ORSTOM, 137p, 1964.

ROUX, E., CAUHOPÉ, M., BONNET, M-P., CALMANT, S., VAUCHEL, P., SEYLER, F. Daily water stage estimated from satellite altimetric data for large river basin monitoring. **Hydrological Sciences Journal** 53(1):81-99, doi: 10.1623/hysj.53.1.81, 2008.

SEYLER, F., CALMANT, S., SILVA, J. S., FILIZOLA, N., ROUX, E., COCHONNEAU, G., VAUCHEL, P., BONNET, M. P. (2008). Monitoring water level in large trans-boundary ungauged basin with altimetry: the example of ENVISAT over Amazon Basin. **Journal of Applied Remote Sensing** – SPIE, 7150:715017, doi: 10.1117/12.813258, 2008.

SILVA, J. S. **Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica - Aplicações Hidrológicas**. Saarbrucken (GE), Edition Universitaires Europeennes. ISBN: 978-613-1-52979-5, 2010.

SILVA, J. S. *et al.* Water Levels in the Amazon Basin derived from the ERS-2 and Envisat Radar Altimetry Missions, **Remote Sensing of Environment**, 114:2160-2181, doi:10.1016/j.rse.2010.04.020., 2010.

SILVA, J. S. *et al.* (2013). **Variabilidade espacial do nível d'água na bacia Amazônica durante eventos extremos**. In: BORMA, L. S, 2013.

SILVA J.S, CALMANT STEPHANE, SEYLER FRÉDÉRIQUE. Variabilidade espacial do nível de água em eventos extremos da bacia Amazônica observada pelo satélite altimétricos Envisat in: Nobre C.A . (ed). Borma L.S (ed.) **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo: Oficina de Texto, p. 209-242, 2013.

SILVA, R.C.V.; MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G. **Hidráulica Fluvial**. v1, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. ISBN: 85-285-0059-4, 2003.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2ª ed., Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2001.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

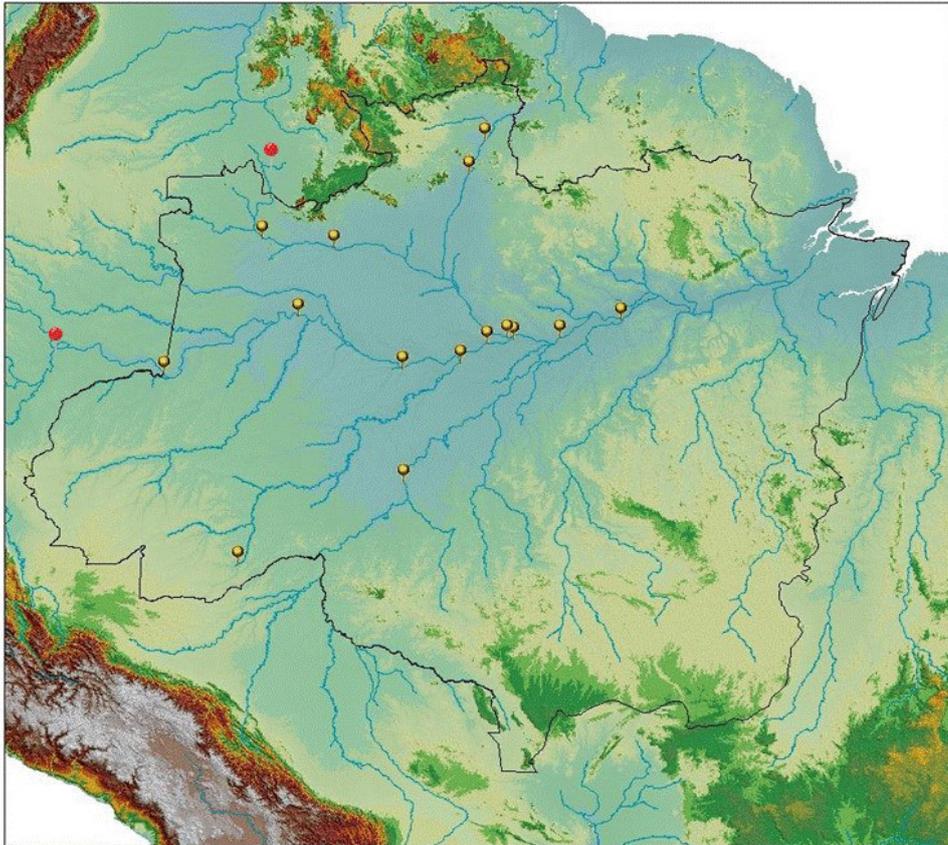
VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 pp, 1975.

**6 APENDICE I – BOLETIM DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA
AMAZÔNIA OCIDENTAL**



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MANAUS

BOLETIM DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL



2018

Boletim nº 01

- 02/08/2018 -

BOLETIM DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

O objetivo do presente boletim é fornecer informações hidrológicas atualizadas das principais estações hidrometeorológicas da Amazônia Ocidental, a serem utilizadas para os diversos fins que se fizerem necessários. Para tanto, são fornecidos dados provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional, operada em parceria entre ANA e CPRM e de Estações Altimétricas, operadas em parceria entre a CPRM e o laboratório de altimetria espacial da UEA, apresentando-se uma breve comparação entre o comportamento hidrológico atual e o observado ao longo das respectivas séries históricas. Também são apresentados o diagnóstico e a previsão climática fornecidos pelo SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia. Quaisquer dúvidas em relação às informações apresentadas podem ser esclarecidas através do e-mail: alerta.amazonas@cprm.gov.br.

1. Comportamento das estações fluviométricas monitoradas

De acordo com o comportamento atual dos níveis dos rios, em comparação aos dados observados nas respectivas séries históricas apresentados nos cotogramas ao final do boletim, verifica-se os seguintes padrões:

Bacia do rio Branco: Nas últimas semanas, o rio Branco entrou em processo de vazante, descendo expressivamente nos últimos dias.

Bacia do rio Negro: No alto rio Negro, após um longo período apresentando cotas altas, próximas às máximas históricas, o rio começou a descer. Os níveis altimétricos da superfície da água monitorados pela EV Rio Negro comprovam o fim do período de enchente. No Porto de Manaus, o rio encontra-se em processo de vazante, com seu nível reduzindo em média 6 cm por dia na última semana.

Bacia do rio Solimões: O rio Solimões encontra-se em processo de vazante ao longo de sua extensão, apresentando pequenas variações de nível em Tabatinga. No resto da calha, o nível rio desce com níveis dentro da normalidade. Os níveis altimétricos da superfície da água no rio Amazonas próximo de Iquitos, indicam a continuidade do processo de vazante.

Bacia do rio Purus: Na região do alto rio Purus, na cidade de Rio Branco (Acre), o rio encontra-se em processo crítico de vazante, apresentando pequenas variações de nível nas últimas semanas. Em Beruri, próximo à sua foz, o rio encontra-se em processo regular de vazante.

Bacia do rio Madeira: Em Humaitá, o rio Madeira encontra-se em processo regular de vazante.

Bacia do rio Amazonas: No rio Amazonas, as estações encontram-se em processo de vazante, com níveis dentro da normalidade para o período.

Salientamos que os níveis d'água mais recentes apresentados podem ser eventualmente alterados em função de verificações "in loco" realizadas pelos engenheiros e técnicos que operam a rede hidrometeorológica. Nessas ocasiões, são executados trabalhos de manutenção das estações, bem como o nivelamento das réguas.

A Figura 01 apresenta as estações monitoradas, indicando os processos (cheia ou vazante) nas quais as estações encontram-se. Os períodos de cheia e vazante são definidos com base nos dados das séries históricas.

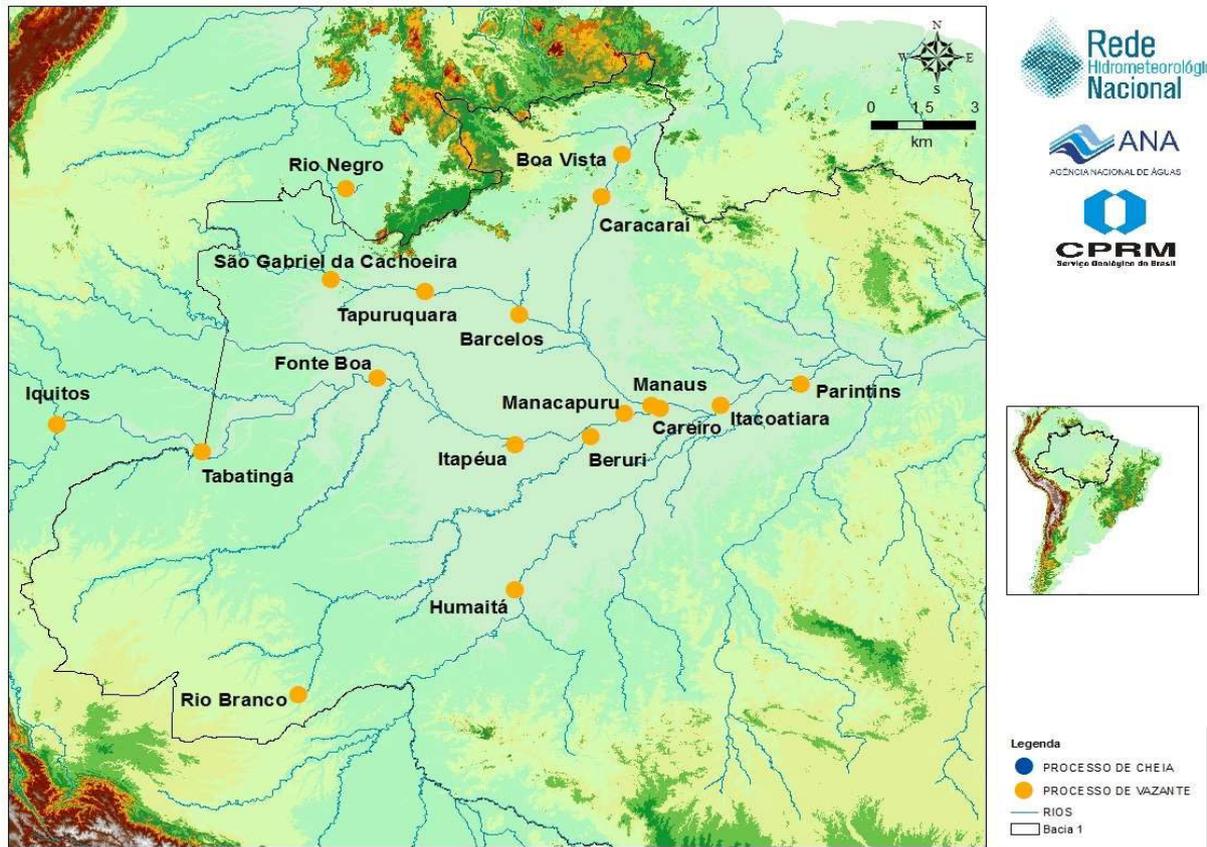


Figura 01. Processos do ciclo hidrológicos nas principais estações da Amazônia Ocidental

As tabelas abaixo apresentam os níveis mais recentes das estações monitoradas, comparando-os aos dados mais extremos observados nas séries históricas, para eventos máximos (Tabela 01) e mínimos (Tabela 02).

Tabela 01. Informações recentes de níveis das estações em comparação aos anos em que ocorreram as respectivas cotas **máximas** (cotas em centímetros)

Estações	Evento máximo			Comparação mesmo período do ano de máxima			Informação mais recente	
	Data da Máxima	Cota máxima	Relação cota atual	Data	Cota período	Relação cota atual	Data	Cota atual
Barcelos (Negro)	13/06/76	1032	-150	23/08/76	756	126	23/08/18	882
Beruri (Purus)	24/06/15	2236	-559	31/08/15	1981	-304	31/08/18	1677
Boa Vista (Branco)	08/06/11	1028	-724	31/08/11	414	-110	31/08/18	304
Caracaraí (Branco)	09/06/11	1114	-722	31/08/11	564	-172	31/08/18	392
Careiro (P. Careiro)	30/05/12	1743	-393	31/08/12	1278	72	31/08/18	1350
Fonte Boa (Solimões)	06/06/15	2282	-726	31/08/15	1815	-259	31/08/18	1556
Humaitá (Madeira)	11/04/14	2563	-1401	31/08/14	1302	-140	31/08/18	1162
Itacoatiara (Amazonas)	19/06/09	1603.5	-477	31/08/09	1339	-212	31/08/18	1127
Itapeuá (Solimões)	24/06/15	1801	-581	30/08/15	1567	-347	30/08/18	1220
Manacapuru (Solimões)	25/06/15	2078	-460	31/08/15	1840	-222	31/08/18	1618
Manaus (Negro)	29/05/12	2997	-408	31/08/12	2493	96	31/08/18	2589
Parintins (Amazonas)	16/06/09	936	-324	31/08/09	708	-96	31/08/18	612
Rio Branco (Acre)	05/03/15	1834	-1576	31/08/15	242	16	31/08/18	258
S. G. C. (Negro)	20/07/02	1217	-164	24/08/02	1066	-13	24/08/18	1053
Tabatinga (Solimões)	28/05/99	1382	-862	31/08/99	313	207	31/08/18	520
S.I.N.Tapuruquara(Negro)	02/06/76	890	-184	29/08/76	529	177	29/08/18	706

Tabela 02. Informações recentes de níveis das estações em comparação aos anos em que ocorreram as respectivas cotas **mínimas** (cotas em centímetros)

Estações	Evento mínimo			Comparação mesmo período do ano de mínima			Informação mais recente	
	Data da Mínima	Cota mínima	Relação cota atual	Data	Cota período	Relação cota atual	Data	Cota atual
Barcelos (Negro)	18/03/80	58	824	23/08/80	564	318	23/08/18	882
Beruri (Purus)	25/10/10	518	1159	31/08/10	1202	475	31/08/18	1677
Boa Vista (Branco)	14/02/16	-57	361	31/08/16	304	0	31/08/18	304
Caracaraí (Branco)	24/03/98	-10	402	31/08/98	351	41	31/08/18	392
Careiro (P. Careiro)	25/10/10	125	1225	31/08/10	1010	340	31/08/18	1350
Fonte Boa (Solimões)	17/10/10	802	754	31/08/10	1029	527	31/08/18	1556
Humaitá (Madeira)	01/10/69	833	329	31/08/69	893	269	31/08/18	1162
Itacoatiara (Amazonas)	24/10/10	91	1036	31/08/10	860	268	31/08/18	1127
Itapeuá (Solimões)	20/10/10	131	1089	30/08/10	722	498	30/08/18	1220
Manacapuru (Solimões)	24/10/10	392	1226	31/08/10	1303	315	31/08/18	1618
Manaus (Negro)	24/10/10	1363	1226	31/08/10	2241	348	31/08/18	2589
Parintins (Amazonas)	24/10/10	-186	798	31/08/10	423	189	31/08/18	612
Rio Branco (Acre)	17/09/16	130	128	31/08/16	155	103	31/08/18	258
S. G. C. (Negro)	07/02/92	330	723	24/08/92	1004	49	24/08/18	1053
Tabatinga (Solimões)	11/10/10	-86	606	31/08/10	27	493	31/08/18	520
S.I.N.Tapuruquara(Negro)	13/03/80	28	678	29/08/80	524	182	29/08/18	706



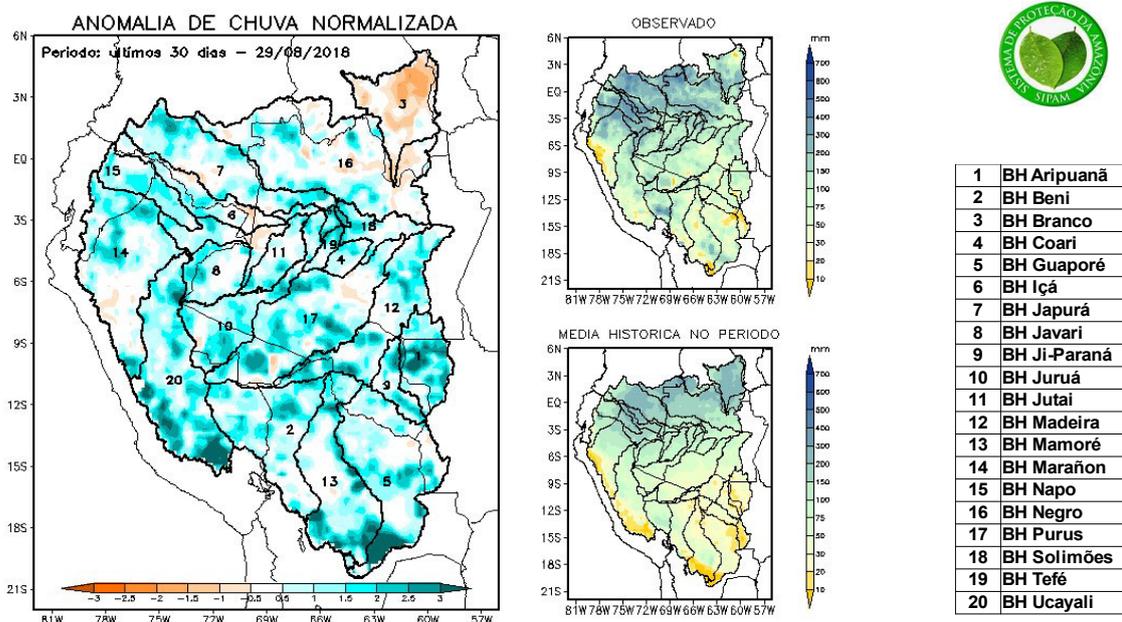
2. Dados Climatológicos (SIPAM)

Análise da Precipitação sobre a Bacia Amazônica Ocidental no período 30 de julho a 29 de agosto 2018.

Durante o período em análise, 30 de julho a 29 de agosto, os menores volumes de precipitação ainda ocorrem sobre as bacias localizadas no sul da região, com valores inferiores a 50 mm acumulados sobre as bacias dos rios Guaporé (24 mm), Aripuanã (25 mm), Ji-Paraná (26 mm), Mamoré (32 mm), Madeira (45 mm), Ucayali (46 mm), Purus (50 mm) e Beni (51 mm), ainda neste período grande parte das bacias também se encontra com mínimos climatológicos mensais, logo a seguir, as bacias dos rios Juruá (68 mm), Coari (77 mm), Marañon (78 mm), Tefé e Jutai (99 mm), os maiores volumes acumulados em 30 dias, acima de 100 mm, ocorrem na bacia do rio Javari (110 mm), Solimões (119 mm), Napo (151 mm), Içá (172 mm), Japurá (176 mm), Negro (182 mm) e Branco com 199 mm acumulados em 30 dias (29 de agosto).

No período de 30 de julho a 29 de agosto de 2018 (Figura 2, quadro maior, à esquerda), observou-se ocorrência de déficit de precipitação apenas sobre a bacia do Rio Branco e áreas isoladas na foz do Içá, próximo ao curso principal do Rio Solimões, a bacia do Rio Negro, de modo geral, se encontra em condições de normalidade no regime de chuvas do período, todas as demais bacias têm predomínio de áreas em tons azul o que indica ocorrência de chuvas em excesso neste período, sendo as cores mais intensas nas bacias localizadas mais ao sul, o que se explica por estas bacias encontrarem-se no período climatológico de menor precipitação ao longo do ano.

A Figura 2 (quadro superior à direita) mostra a precipitação acumulada no período de 30 de julho a 29 de agosto de 2018, com valor máximo de 241 mm sobre a bacia do Rio Napo, 237 mm sobre a bacia do Rio Japurá, 214 mm sobre a bacia do Içá, 201 mm sobre o Rio Negro, 163 mm na bacia do Solimões, 160 mm sobre o Javari, 158 mm sobre o Tefé, 137 mm sobre a bacia do Rio Branco, 136 mm no Jutai, 118 mm no Marañon, 115 mm no Juruá e 112 mm no Coari. As demais apresentaram precipitação estimada entre aproximadamente 50 e 100 mm, sendo os menores valores foram observados nas bacias dos rios Ji-Paraná com 57 mm e Guaporé com 52 mm acumulados nos últimos 30 dias (29/08/2018).



Fonte: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/>

Figura 02 – Distribuição das anomalias de precipitação acumuladas nos últimos 30 dias sobre a Bacia Amazônica Ocidental. Média histórica calculada com base no período de 1998 a 2017



Quadro Resumo – Climatologia / Observação / Anomalia Normalizada

O quadro abaixo apresenta, à direita, um resumo dos valores estimados de acumulados de precipitação em 30 dias nas datas indicadas (mm de chuva) como climatologia ou Precipitação Média, tomando como base as estimativas de precipitação por meio de imagens de satélite, produto denominado MERGE, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no período 1998 a 2017, levando-se em conta o limite geográfico das bacias hidrográficas da Amazônia Ocidental. No quadro central acham-se os valores (mm de chuva) estimados para o ano corrente totalizado nas mesmas datas e, no quadro a esquerda, a anomalia de precipitação normalizada (adimensional) em cada bacia. Os Valores em destaque com fundo azul indicam excesso de precipitação e fundo laranja indicam déficit.

$$\text{Anomalia Normalizada} = (\text{dados observados} - \text{média histórica}) / \text{desvio padrão}$$

A análise do quadro abaixo mostra a evolução das bacias nas datas de referência, nos períodos de 30 dias de análise amostrados a partir de 01/08 onde ainda predominavam de condições de déficit de precipitação em grande parte das bacias que compõem a drenagem da Amazônia Ocidental (tons amarelos). A partir do final da primeira semana de agosto (08/08) o predomínio de anomalias positivas de precipitação se estabeleceu em grande parte das bacias e, este quadro tem evoluído nas últimas semanas amostradas em 15, 22 e 29 de agosto, quando grande parte das bacias se encontra com índice de anomalia normalizada na faixa chuvoso, Guaporé, Purus e Beni (1,0), Madeira e Napo (1,1), Ji-Paraná, Mamoré, Juruá e Tefé (1,2), tendência a muito chuvoso na bacia do Ucayali (1,5) e Aripuanã (1,6), condição de normalidade apenas na bacia do Rio Negro (0,4) enquanto a bacia do rio Içá (0,5), Coari, Marañon, Jutai e Solimões (0,8), Javari e Japurá (0,9) apresentam condição de tendência a chuvoso. A bacia do Rio Branco apresentou déficit de precipitação com índice de anomalia normalizada negativo (-0,8).

Tabela 03. Precipitação média histórica - 1998-2017 (mm), Observação – 2018 (mm) e Anomalia Normalizada (adimensional)

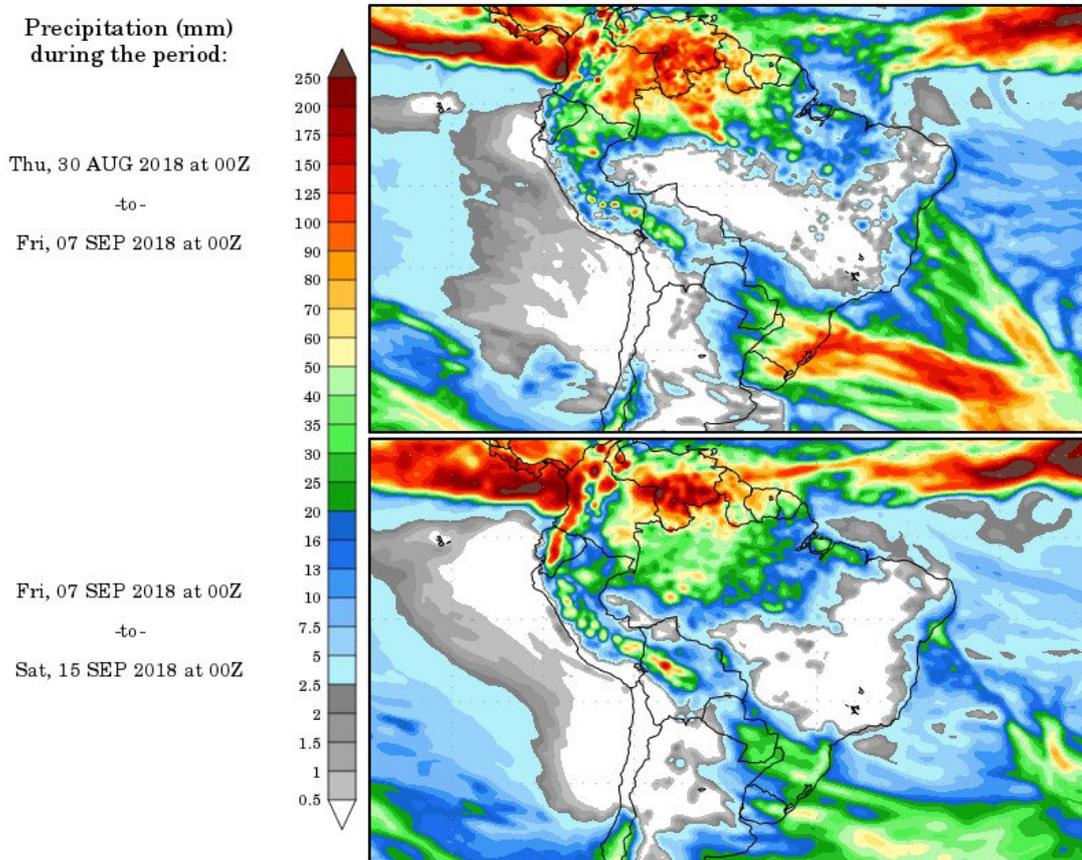
	Precipitação Média (mm)					Precipitação Observada 2018 (mm)					Anomalia Normalizada				
	01/Aug	08/Aug	15/Aug	22/Aug	29/Aug	01/Aug	08/Aug	15/Aug	22/Aug	29/Aug	01/Aug	08/Aug	15/Aug	22/Aug	29/Aug
BH Aripuanã	14	13	15	20	25	1	6	15	46	66	-0.7	-0.4	0.0	1.2	1.6
BH Beni	40	33	41	47	51	70	115	121	96	99	0.8	2.2	1.8	1.1	1.0
BH Branco	253	235	219	209	199	262	227	198	191	137	0.1	-0.1	-0.3	0.2	-0.8
BH Coari	77	65	64	67	77	32	46	69	106	112	-1.0	-0.5	0.1	1.2	0.8
BH Guaporé	23	20	20	25	24	4	27	28	51	52	-0.6	0.3	0.3	1.0	1.0
BH Içá	199	185	174	171	172	238	259	226	224	214	0.4	0.8	0.6	0.6	0.5
BH Japurá	214	195	183	176	176	234	249	235	254	237	0.2	0.7	0.8	1.2	0.9
BH Javari	116	104	103	106	110	71	114	131	140	160	-0.8	0.2	0.6	0.7	0.9
BH Ji-Paraná	13	13	15	22	26	1	9	10	43	57	-0.7	-0.2	0.3	0.9	1.2
BH Juruá	60	53	56	62	68	43	76	80	104	115	-0.4	0.9	0.7	1.1	1.2
BH Jutai	115	98	98	98	99	81	101	107	127	136	-0.6	0.1	0.2	0.7	0.8
BH Madeira	41	35	37	40	45	24	33	38	72	83	-0.5	0.0	0.0	1.0	1.1
BH Mamoré	32	26	28	31	32	22	52	53	62	65	-0.2	1.2	1.0	1.2	1.2
BH Marañon	78	74	75	74	78	63	90	89	113	118	-0.5	0.4	0.3	0.8	0.8
BH Napo	161	155	152	149	151	195	235	230	237	241	0.4	1.0	1.0	1.1	1.1
BH Negro	239	216	196	188	182	282	258	241	231	201	0.5	0.6	0.7	0.8	0.4
BH Purus	39	33	39	45	50	29	54	60	80	84	-0.3	0.8	0.7	1.1	1.0
BH Solimões	139	122	115	115	119	112	125	118	152	163	-0.5	0.1	0.1	0.8	0.8
BH Tefé	100	85	86	91	99	49	70	97	148	158	-1.1	-0.3	0.3	1.3	1.2
BH Ucayali	44	38	41	42	46	49	79	81	78	84	0.4	1.7	1.7	1.6	1.5

	Extremamente chuvoso
	Tendência a extremamente chuvoso
	Muito chuvoso
	Tendência a muito chuvoso
	Chuvoso
	Tendência a chuvoso

	Extremamente seco
	Tendência a extremamente seco
	Muito seco
	Tendência a muito seco
	Seco
	Tendência a seco

Prognóstico climático para o período de 30 de agosto a 15 de setembro de 2018

Precipitation Forecasts



Fonte: <http://wxmaps.org/pix/clim.html>

Figura 03 – Prognóstico climático para o período de 30 de agosto a 15 de setembro de 2018

Segundo o COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies), o prognóstico de precipitação, para o período de 30 de agosto a 07 de setembro de 2018, indica que os maiores volumes de precipitação podem ocorrer principalmente em Roraima, na faixa norte do Amazonas e em países vizinhos, destacando-se a Colômbia e Venezuela, em decorrência da atuação da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e da interação das passagens de frentes frias no sul e sudeste, com a convecção na Amazônia. A área que abrange o Acre, sul do Amazonas, Rondônia e Mato Grosso, a expectativa é de pouca ou nenhuma ocorrência de precipitação.

No período de 07 a 15 de setembro, o modelo sugere uma maior distribuição espacial das chuvas sobre o Amazonas, mas com menores volumes na faixa norte. Os acumulados mais expressivos continuam sendo esperados na faixa norte da região Amazônica, com destaque para o centro-norte de Roraima e Venezuela. A atuação da massa e ar seco fica mais restrita ao leste da Amazônia Oriental e ao interior do Nordeste.

3. Cotagramas das estações

Os gráficos a seguir apresentam os cotagramas: atual, máximas ou mínimas diárias, medianas e ano de ocorrência de máxima ou mínima das estações, dependendo do processo hidrológico no qual os rios encontram-se. As curvas envoltórias representadas pela faixa azul caracterizam os dados entre 15 e 85% de permanência para os dados diários de cotas. Na prática, significa que se as cotas atuais estiverem fora desta faixa é um momento de atenção, pois podem indicar, para valores acima da faixa, um processo de cheia expressivo e, nos valores abaixo, um processo de vazante acentuado.

É importante ressaltar que as cotas indicadas nos gráficos e tabelas são valores associados a uma referência de nível local e arbitrária, válida para as réguas linimétricas específicas de cada estação. Em algumas das estações já foram realizados levantamentos que permitem a conversão desses níveis em relação ao nível do mar. Caso essa informação seja necessária, favor solicitar através do endereço alerta.amazonas@cprm.gov.br.

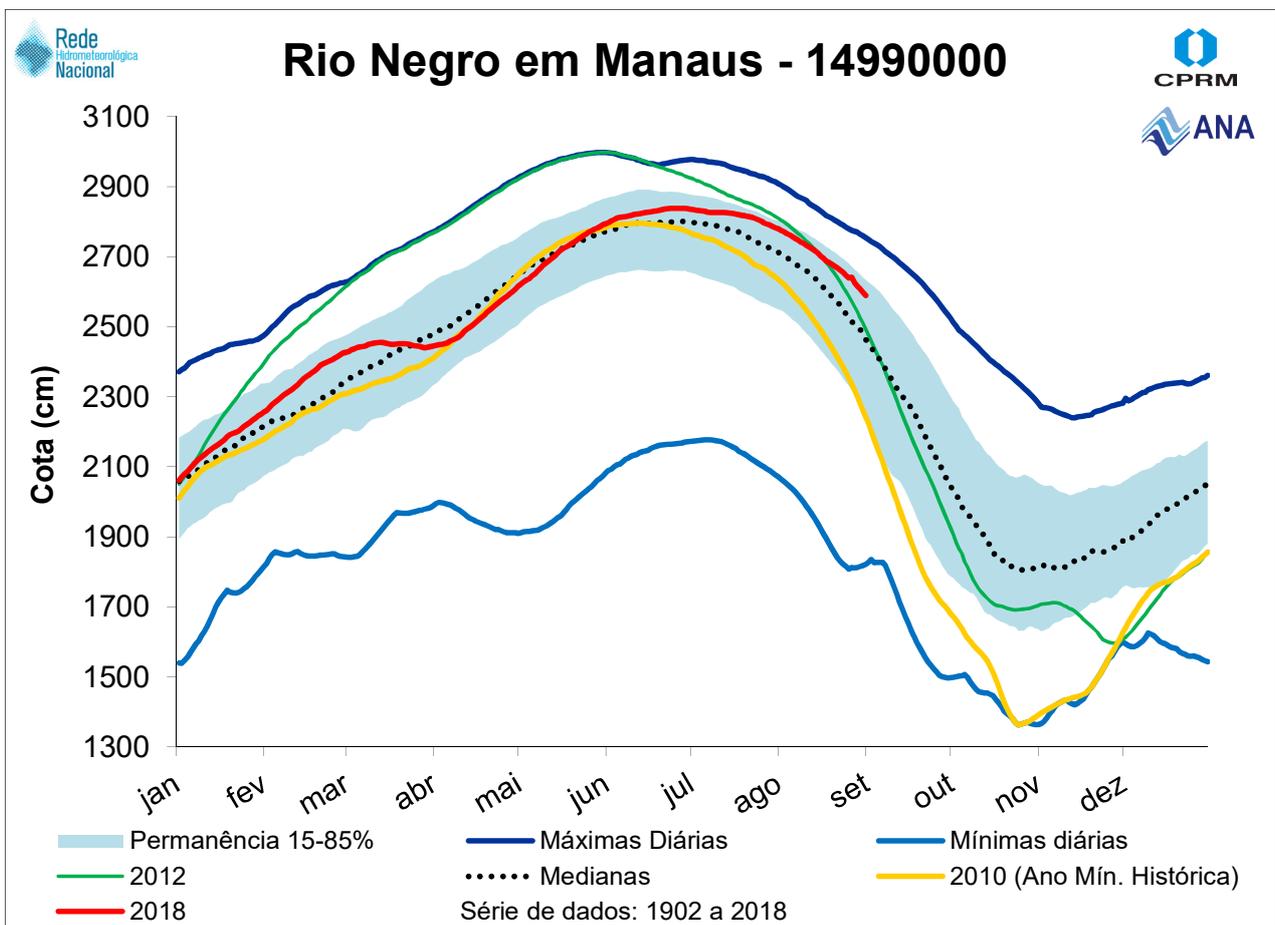


Figura 04. Cotograma do Rio Negro em Manaus.

Cota em **31/08/2018** : **2589 cm**

O rio Negro em Manaus apresenta um hidrograma estável, em que em 75% dos anos da série histórica a cota máxima ocorre no mês de junho e em 19% no mês julho. A partir daí, o rio Negro tende a iniciar seu processo de vazante até que atinja a cota mínima. O fim da vazante, por sua vez, não apresenta um período preferencial, podendo ocorrer entre outubro e janeiro do próximo ano (Figura 04).

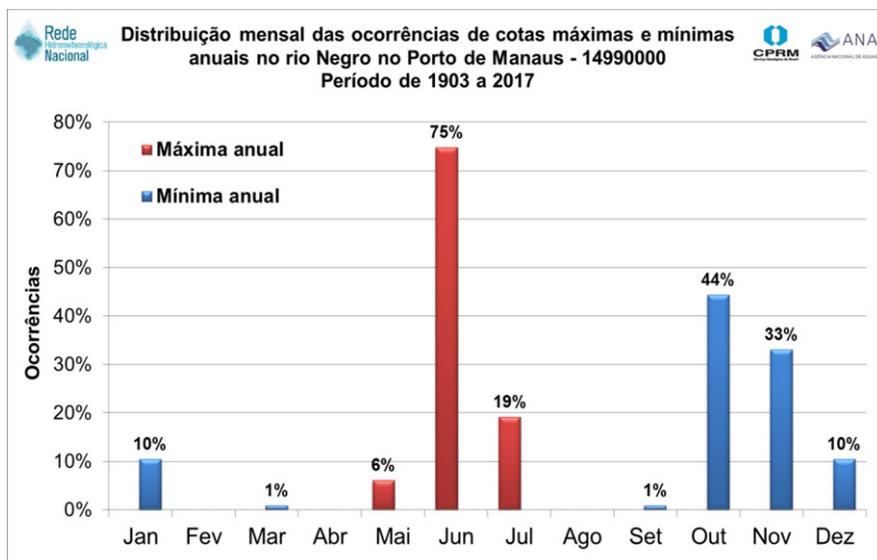


Figura 04. Meses de ocorrência dos eventos de máxima e mínima na estação de Porto de Manaus.

A Figura 05 apresenta a magnitude dos eventos de máximas e mínimas observados ao longo da série histórica na estação de Porto de Manaus.

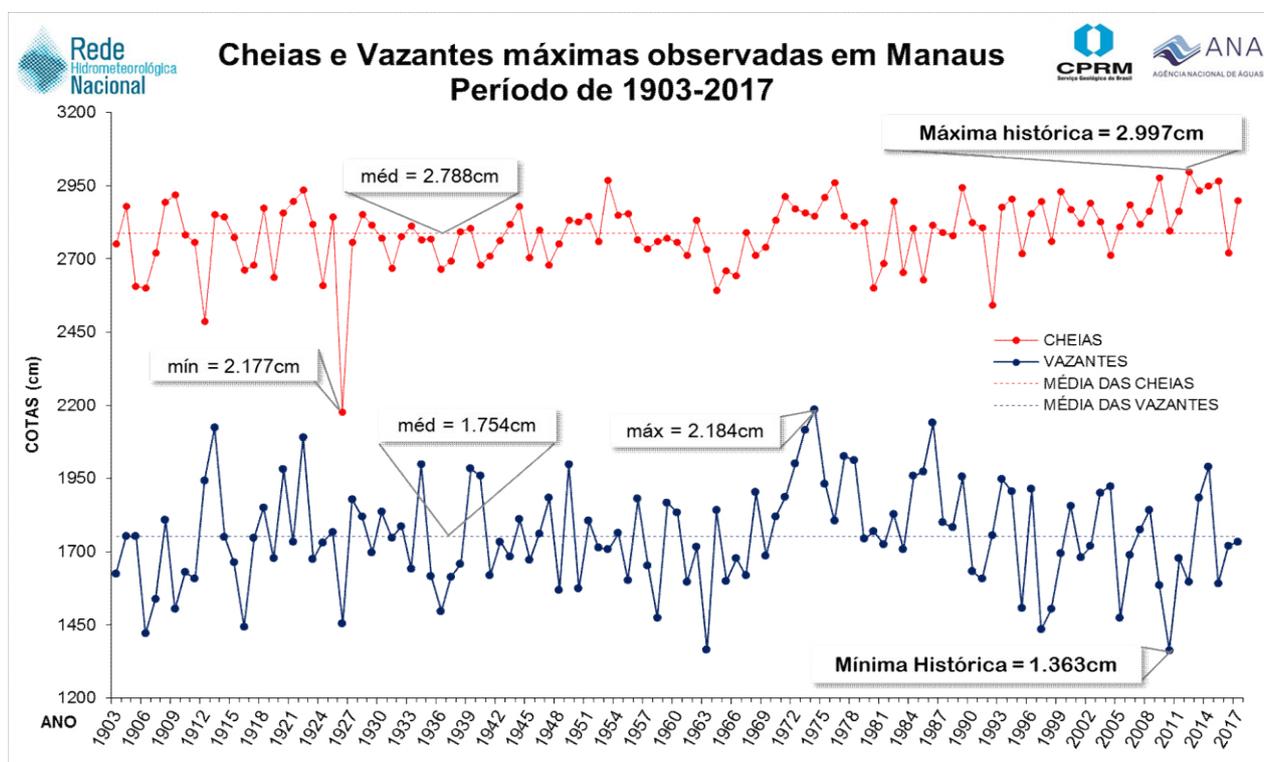
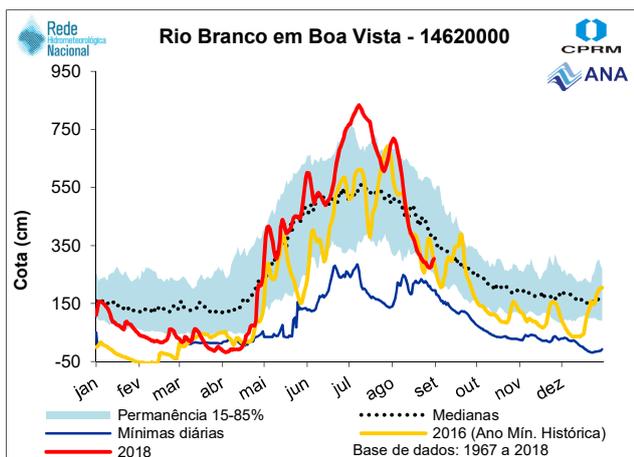
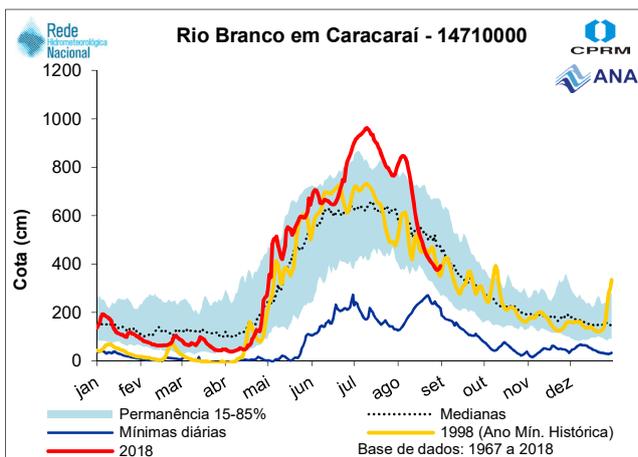


Figura 05. Dados de cotas máximas e mínimas anuais observadas em Manaus no período 1903 – 2017.

3.1 - Bacia do rio Branco

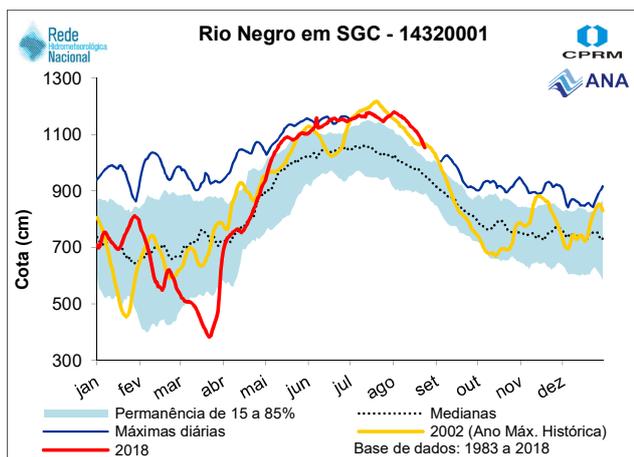


Cota em 31/08/2018 : 304 cm

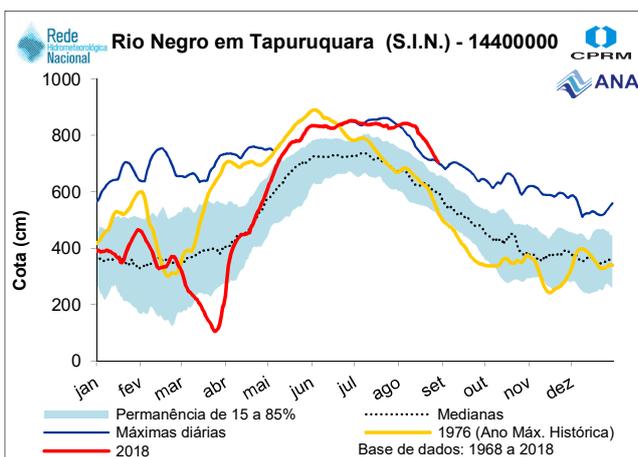


Cota em 31/08/2018 : 392 cm

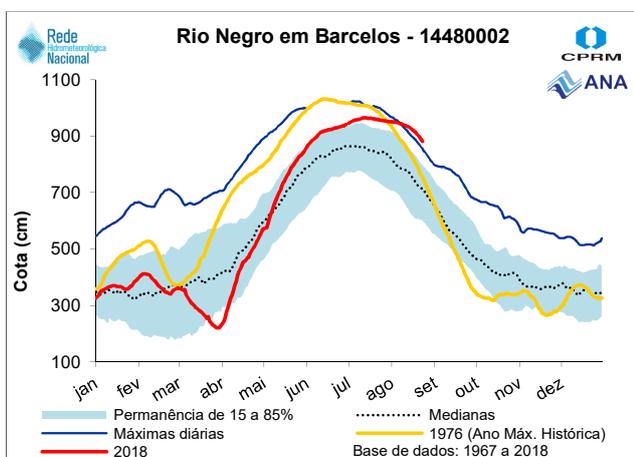
3.2 - Bacia do rio Negro



Cota em 24/08/2018 : 1053 cm

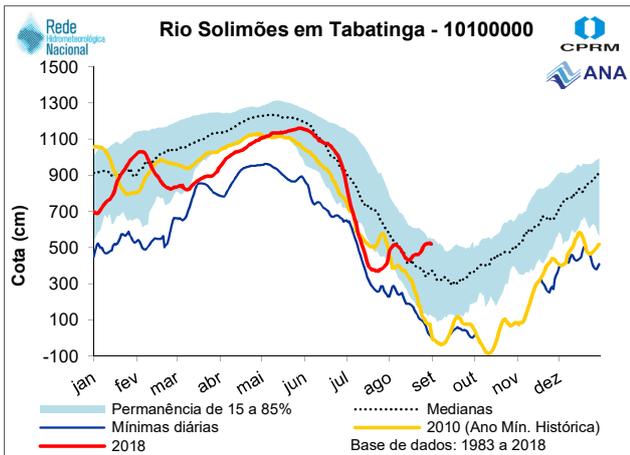


Cota em 29/08/2018 : 706 cm

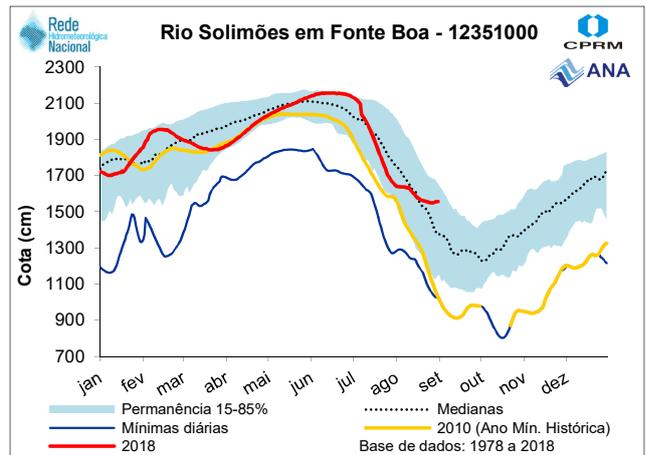


Cota em 23/08/2018 : 882 cm

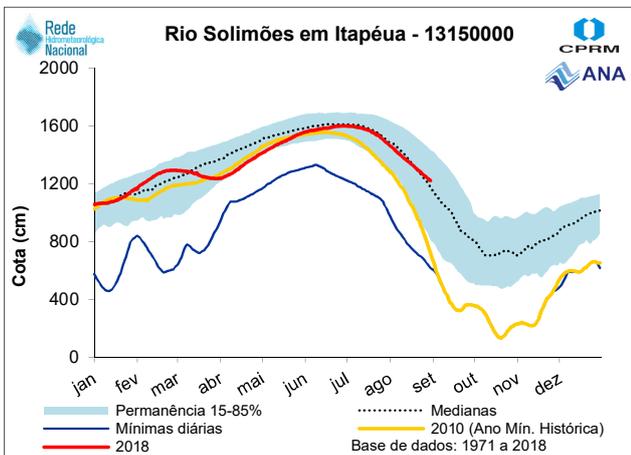
3.3 - Bacia do rio Solimões



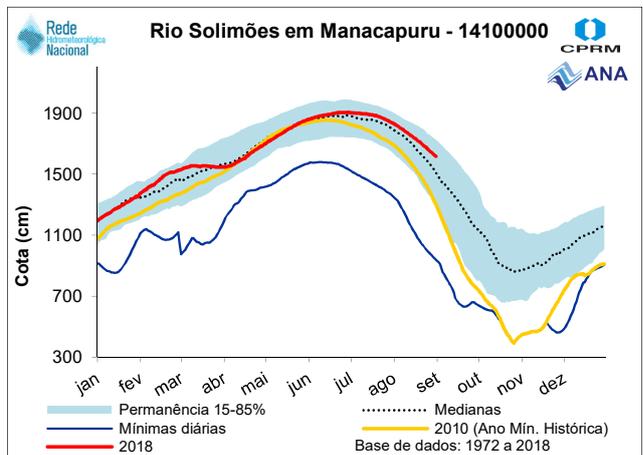
Cota em 31/08/2018 : 520 cm



Cota em 31/08/2018 : 1556 cm

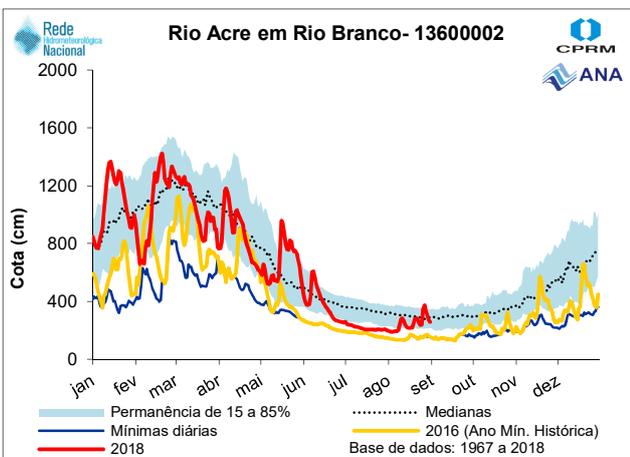


Cota em 30/08/2018 : 1220 cm

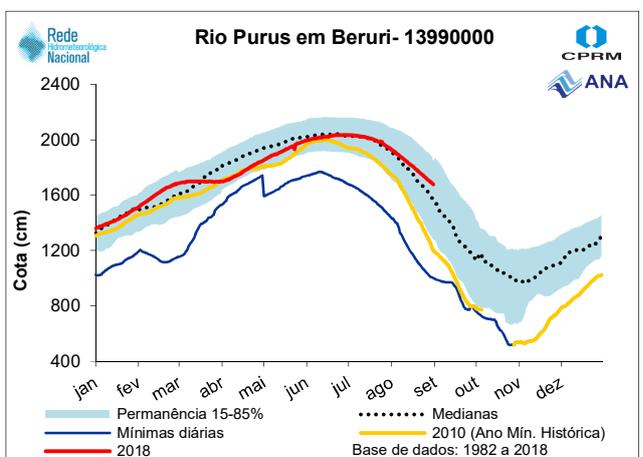


Cota em 31/08/2018 : 1618 cm

3.4 - Bacia do rio Purus

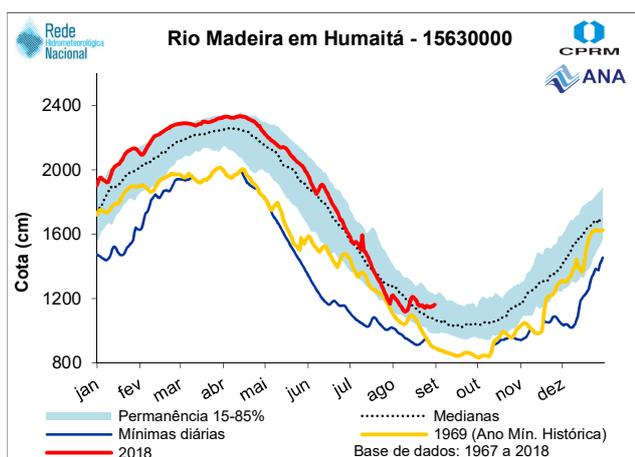


Cota em 31/08/2018 : 258 cm



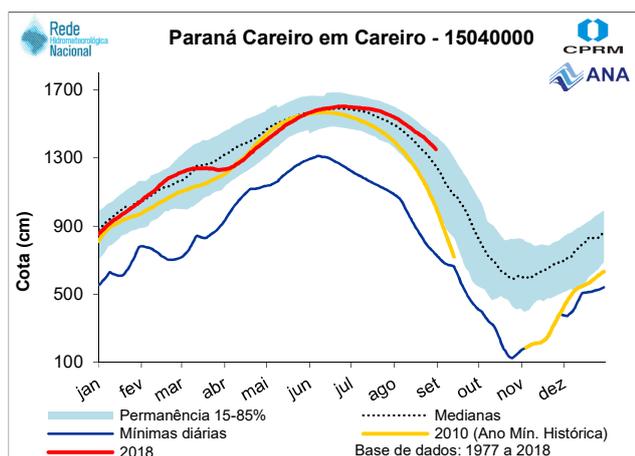
Cota em 31/08/2018 : 1677 cm

3.5 - Bacia do rio Madeira

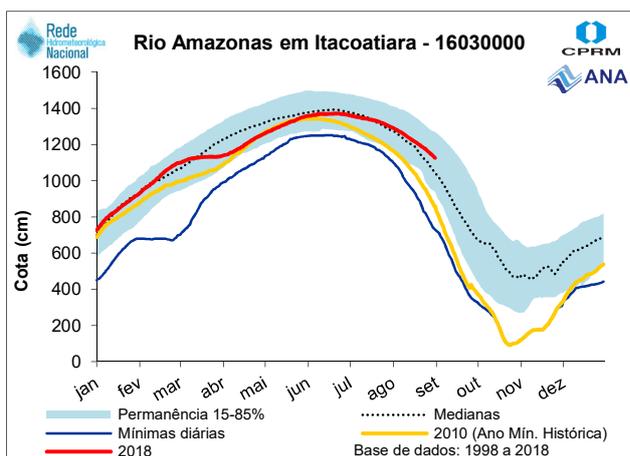


Cota em 31/08/2018 : 1162 cm

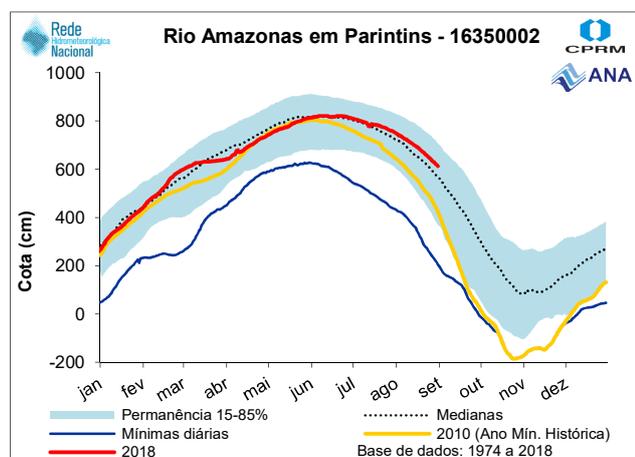
3.6 - Bacia do rio Amazonas



Cota em 31/08/2018 : 1350 cm



Cota em 31/08/2018 : 1127 cm

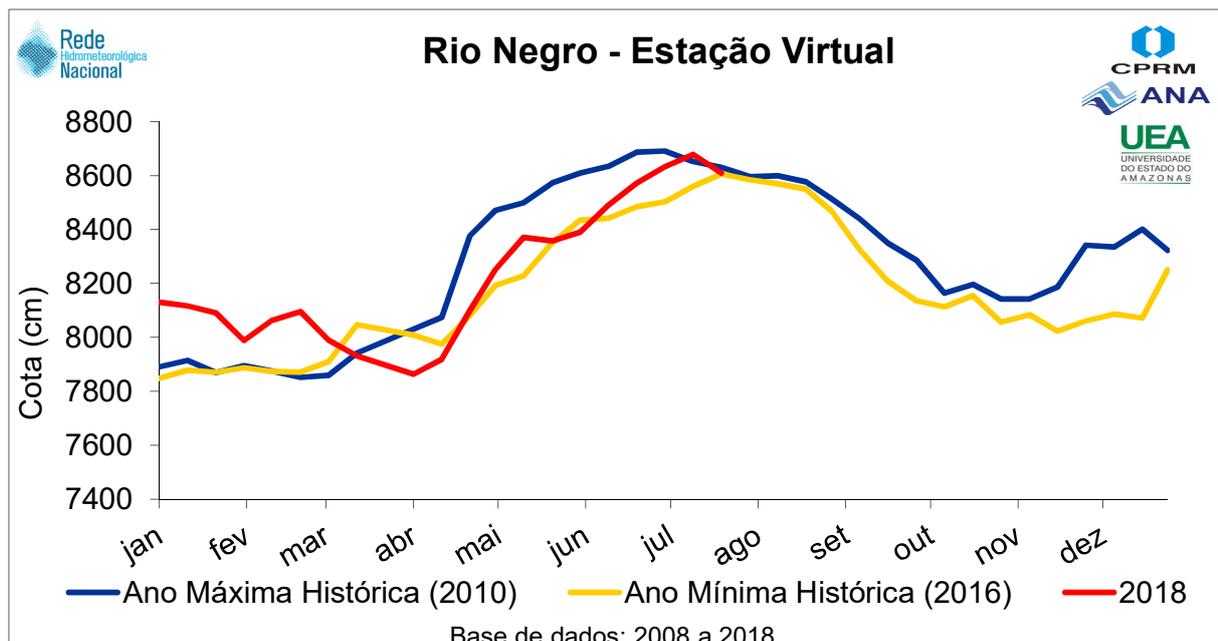


Cota em 31/08/2018 : 612 cm

4 - Monitoramento da Bacia Amazônica por dados de satélite

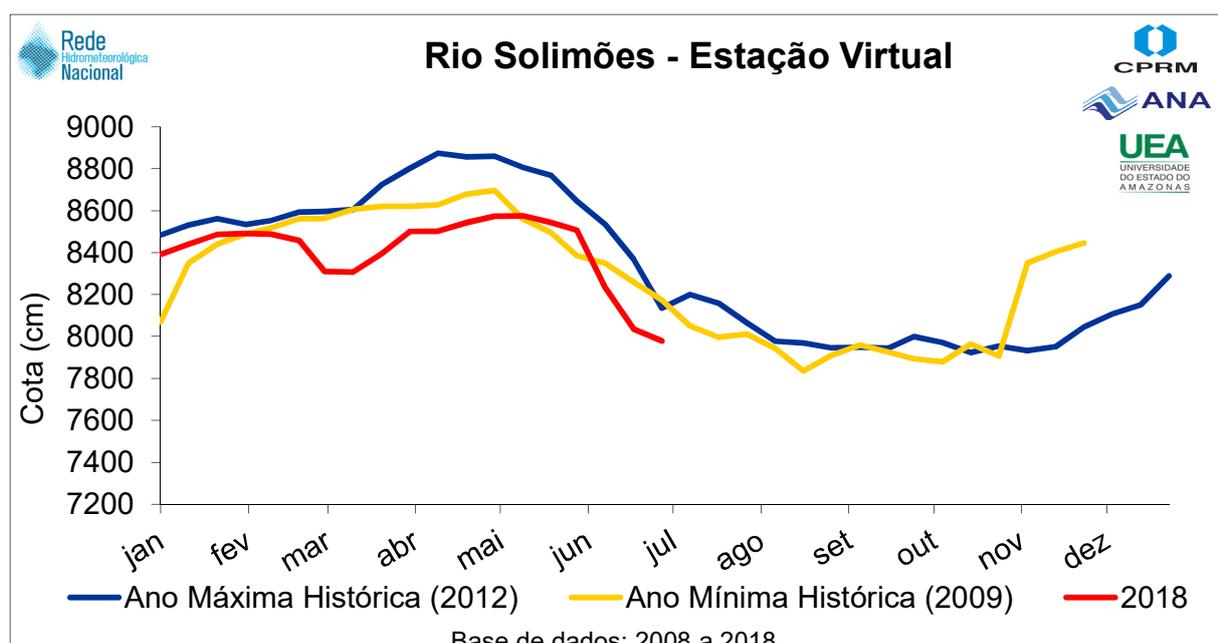
Para o monitoramento dos principais cursos d'água da bacia Amazônica em regiões localizadas fora do território brasileiro, são utilizados dados provenientes dos sensores altimétricos instalados a bordo dos Satélites Jason 3. A resolução temporal de obtenção de dados é de 10 dias.

4.1 - Rio Negro



Cota em 02/08/2018: 8610 cm

4.2 - Rio Solimões



Cota em 19/07/2018: 7978 cm

O presente boletim é resultado de uma parceria entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Agência Nacional das Águas (ANA), Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e Universidade Estadual do Amazonas (UEA).

Manaus, 02 de agosto de 2018

Bernardo Luiz Ferreira de Oliveira
Supervisor de Hidrologia
Superintendência Regional de Manaus

PARCERIA:

