

## Nivelamento de estações linimétricas do rio Juruá com dados altimétricos do satélite ENVISAT

Tainá Sampaio Xavier Conchy<sup>1</sup>  
Aimée Gomes da Penha Maria<sup>1</sup>  
Robson Azevedo de Oliveira<sup>1</sup>  
Joecila Santos da Silva<sup>2</sup>  
Stephane Calmant<sup>3</sup>  
Frederique Seyler<sup>4</sup>

1 Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Escola Superior de Tecnologia – EST  
Av. Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus - AM, Brasil  
tainaconchy@gmail.com  
aimeegpm@gmail.com  
robsonaz@ig.com.br

2 Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Centro de Estudos Superiores do Trópico Úmido – CESTU  
Av. Djalma Batista 3578, Flores, 69050-010, Manaus-AM, Brasil  
jsdsilva@uea.edu.br

3 Institut de Recherche pour le Développement – IRD  
UMR 5566 LEGOS (CNES/CNRS/IRD/UT3)  
14 Av. Edouard Belin, 31400, Toulouse, France  
e-mail: stephane.calmant@ird.fr

4 Institut de Recherche pour le Développement – IRD  
UMR 228 ESPACE-DEV (IRD,UM2,UR,UAG)  
Centre IRD de Guyane, 0,275 km Route de Montabo, BP 165 97323, Cayenne, cedex Guyane  
Française  
e-mail: frederique.seyler@ird.fr

**Abstract:** A common reference altitude for streamflow gauge stations is needed for a better development of hydrological and hydrodynamic studies. This work proposes to use of the null-slope method for leveling the gauge along the Juruá River, The methodological approach checks if a gauge series could be level-adjusted between two altimetry series without violating the rule that states that no point of the gauge series is lower than a point of the downstream altimetry series and no point is higher than the altimetry series upstream. Seven cases are presented. The time series altimetric used in this part of the study are the ENVISAT Ice-1

**Palavras-chave:** Radar altimetry, gauge zero, Amazon basin, level null-slope

### 1. Introdução

A bacia Amazônica possui 6 869 000 km<sup>2</sup> de área de drenagem, aproximadamente 37% da América do Sul (Silva, 2010), abrangendo o Brasil, Bolívia, Peru, Colômbia, Equador, Venezuela e Guiana, estando 69,1% em território brasileiro. Fazem parte da bacia os rios Madeira, Tocantins, Negro, Xingu, Tapajós, Purus, Marañón, Ucayali, Japurá-Caquetá, Juruá, Putamayo-Içá, Trombetas, Napo e Uatumã (UNEP, 2004). Apresenta vazão de 238.000 m<sup>3</sup>/s (Ronchail et al., 2006). Segundo Molinier (1995), a contribuição da Bacia Amazônica com a descarga de água doce nos oceanos é de aproximadamente 15%. No entanto apresenta uma escassez de estações hidrológicas convencionais, seja por dificuldade de acesso às extensas

áreas remotas da bacia ou inexistência de infraestrutura adequada. Dados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas mostram que até 2007 existiam apenas 465 estações fluviométricas na parte brasileira da bacia Amazônica (ANA, 2011), demandando a necessidade de fortalecer o uso de novas técnicas para responder às questões científicas relacionadas à compreensão dos sistemas hídricos Amazônicos bem como do regime hidrológico dos seus rios.

A altimetria espacial parte do princípio que os satélites altimétricos medem a altura instantânea da superfície oceânica através da emissão de uma onda eletromagnética no nadir do satélite e pela medida do intervalo de tempo que separa a emissão da onda, da recepção de um eco. Esses satélites possuem cobertura global, o que também possibilita que seja obtida altura da superfície da lâmina de água em hidrossistemas continentais. Devido a sua vasta resolução espacial gera resultados em locais de difícil acesso, onde não há redes de monitoramento hidrológicas convencionais ou mesmo quando tais redes existem podem complementar os dados *in situ* quando os mesmos foram interrompidos. Assim, pode ser aplicada para suprir a falta de informação hidrológica e o decréscimo de estações de monitoramento em águas continentais, mais especificamente sobre os rios. Logo, uma técnica alternativa para obtenção de medidas de nível de água na região Amazônica.

O nivelamento de estações linimétricas é a operação que determina as diferenças de nível ou distâncias verticais entre pontos do terreno, que pode ser executado de duas formas: utilizando medidas provenientes do Sistema de Posicionamento Global – GPS (nivelamento direto) ou utilizando medidas altimétricas (nivelamento indireto).

Neste estudo, o objetivo é utilizar os dados altimétricos para nivelamento de estações linimétricas no rio Juruá, através do método de nivelamento de declividade nula, empregando os dados do satélite altimétrico ENVISAT. Com a finalidade de identificar e quantificar os dados fluviométricos, de forma objetiva para uma melhor utilização dos recursos hídricos Amazônicos.

## 2. Área de Estudo

O rio Juruá é diferente dos outros rios de água branca na zona andina porque suas nascentes estão situadas abaixo de altitude de 500 metros, apesar de no passado ser conectado com os Andes. Tem uma das maiores áreas de várzea da bacia amazônica, que é explorada por profissionais de pesca de Manaus. Nas cabeceiras, habitada por índios e pequenas comunidades, várias áreas foram designadas para os grupos étnicos e são protegidos de atividades extrativistas.

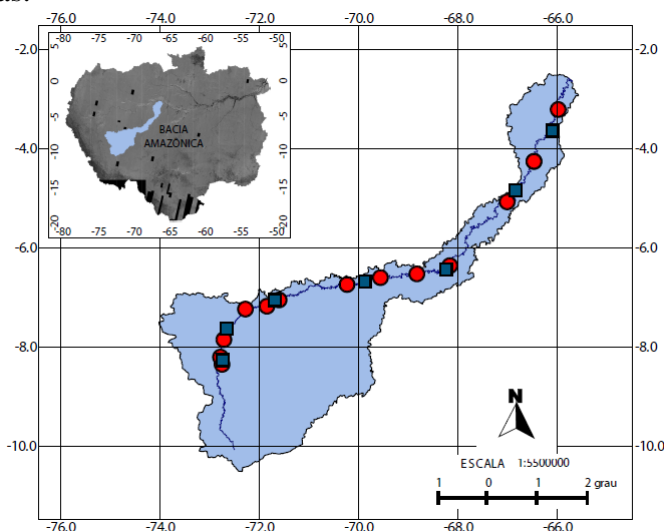


Figura 1. Localização do rio Juruá, objeto deste estudo, estações virtuais (pontos em vermelho) e estações linimétricas (quadrados em azul).

### 3. Materiais & Métodos

#### 3.1. Dados em *In Situ*

Para este estudo, as séries temporais de nível de água das sete estações linimétricas foram obtidas da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível no site Hidroweb.

#### 3.2. Dados Altimétricos do ENVISAT

O *ENVironmental SATellite* (ENVISAT) foi lançado em março de 2002 pela *Agence Spatiale Européenne* (ESA), seus dados foram utilizados para o estudo científico da Terra, análise ambiental e alterações climáticas.

O satélite contava com 10 instrumentos; estando incluso um altímetro radar RA-2 (Silva, 2010). O RA-2 é um radar de alta precisão direcionado para o ponto nadir operando em bi-frequência na banda Ku a 13,575 GHz com comprimento de onda de 2,3 cm e na banda S a 3,2 GHz com comprimento de onda de 3,4 cm (Zelli, 1999). O ENVISAT tinha inclinação de 98,5°, se posicionado em uma órbita elíptica hélio-síncrona com uma a uma altitude média de 785 km e uma distância inter-traço no Equador de aproximadamente 80 km (Silva, 2010) e resolução temporal de 35 dias. Para assegurar um tempo de vida adicional o satélite de ENVISAT moveu-se para uma órbita a uma altitude média de 782 km em 22 de outubro de 2010. A resolução temporal passou de 35 dias para 30 dias e finalizou suas operações em abril de 2012.

Os registros de dados geofísicos (*Geophysical Data Records – GDRs*), processados e disponibilizados pelo *Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère – CTOH* do *Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales – LEGOS*, para uso no presente estudo proveniente da missão ENVISAT, utilizando-se o algoritmo standard de tratamento de FO *Ice-1*, foram obtidos entre as coordenadas geográficas 90°W a 40°W e 13°N a 21°S. Extraíram-se do CTOH 90 traços.

#### 3.3. Estações virtuais

Uma estação virtual consiste na interseção de um traço do satélite altimétrico com o plano de água, sendo potencialmente possível obter uma série temporal da altura do plano de água (Silva, 2010). Foi aplicada uma metodologia para criação das estações virtuais pela seleção dos dados correspondentes ao cruzamento do plano de água, adaptadas às variações no tempo e no espaço através do programa VALS (*Virtual ALtimetry Station*) (VALS, 2012), descrita em Silva *et al* (2010).

#### 3.4. Nivelamento de estações fluviométricas através do método de declividade nula

A hidrodinâmica estabelece que a altura de superfície da água a montante do rio sempre deve ser mais elevada do que a jusante. Dessa forma, é praticamente impossível usar esta regra simples para verificar a consistência hidrodinâmica de pares de séries temporais altimétricas, uma vez que traços diferentes são poucos prováveis de cruzar o rio nas mesmas datas. Porém quando dois traços do radar altimétrico formam estações virtuais que enquadram uma estação fluviométrica, pode se verificar essa consistência hidrodinâmica. No presente estudo, o princípio é intercalar o melhor possível a série temporal da estação *in situ* entre séries temporais altimétricas, a montante, e, a jusante, cujas alturas foram convertidas em altitude. Assim, depois de feito o nivelamento da estação *in situ* nenhum ponto da série temporal altimétrica a montante, deverá ser mais baixo que um ponto da série temporal da estação *in situ*, Silva *et AL*. (2010). As medidas altimétricas usadas foram tratadas com o algoritmo *Ice-1* do satélite ENVISAT.

#### 4. Resultados & Discussão

Foram feitos sete estudos no rio Juruá com a aplicação do método de nivelamento de declividade nula, para tal foram usadas 13 estações virtuais utilizando-se o algoritmo *Ice-1* para o satélite ENVISAT, cujos resultados são discriminados na Tabela 1.

Tabela 1. Nivelamento das estações *in situ* com declividade nula entre os traços do satélite.

Estação <i>in situ</i> e Código	Latitude Longitude	Estação Virtual Montante Jusante (Lat e Long)	Distância (km)	Nível zero da régua (m)	Declividade e (mm/km)
Cruzeiro do Sul 12500000	-7,633	-7,851 e -72,718	42,12	83,273 +/- 0,030	47
	-72,661	-7,236 e -72,285	117,01		
Eirunepé 12550000	-6,684	-6,741 e -70,238	120,73	105,012 +/- 0,052	55
	-69,881	-6,602 e -69,565	94,19		
Forte das Graças 12842000	-3,640	-4,259 e -66,474	189,10	26,206 +/- 0,033	40
	-66,102	-3,213 e -65,987	102,32		
Gavião 12840000	-4,839	-5,075 e -67,014	61,97	53,513 +/- 0,062	47
	-66,850	-4,259 e -66,474	141,14		
Ipixuna 12520000	-7,055	-7,178 e -71,851	45,64	137,792 +/- 0,022	68
	-71,689	-7,052 e -71,606	14,36		
Porto Walter 12390000	-8,267	-8,350 e -72,755	23,76	180,962 +/- 0,070	128
	-72,741	-8,204 e -72,787	13,64		
Santos Dumont 12700000	-6,440	-6,527 e -68,832	173,71	83,273 +/- 0,030	47
	-68,246	-6,360 e -68,167	13,25		

Para a estação linimétrica Cruzeiro do Sul, que fica entre os traços 250 e 923 que cruzam o rio 42 km à montante e 117 à jusante, respectivamente, observa-se que a declividade média dada por ambas as séries altimétricas nesse trecho do rio é de 47 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 83,273 m.

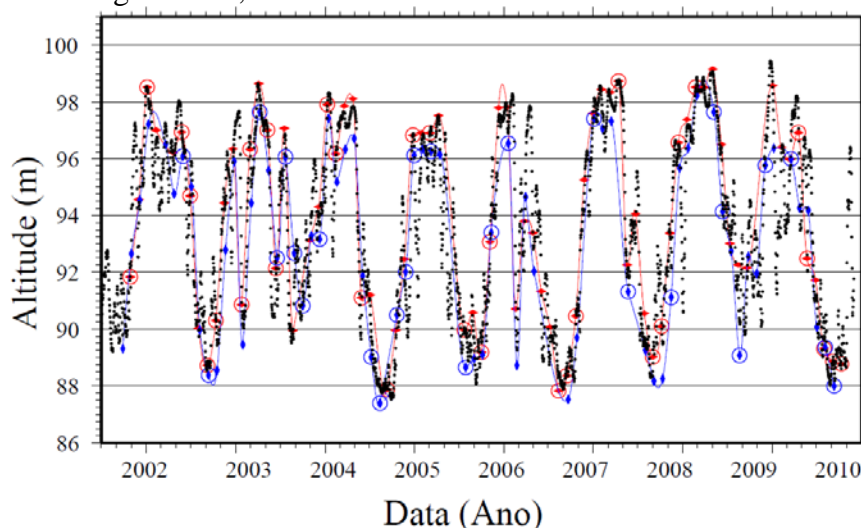


Figura 2. Nivelamento das estações *in situ* Cruzeiro do Sul, com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

Em seguida, a estação linimétrica Eirunepé, que fica entre os traços 293 e 078 que cruzam o rio 120 km à montante e 94 km à jusante, respectivamente. A declividade média dada entre as séries altimétricas nesse trecho do rio é de 55 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 105,012 m.

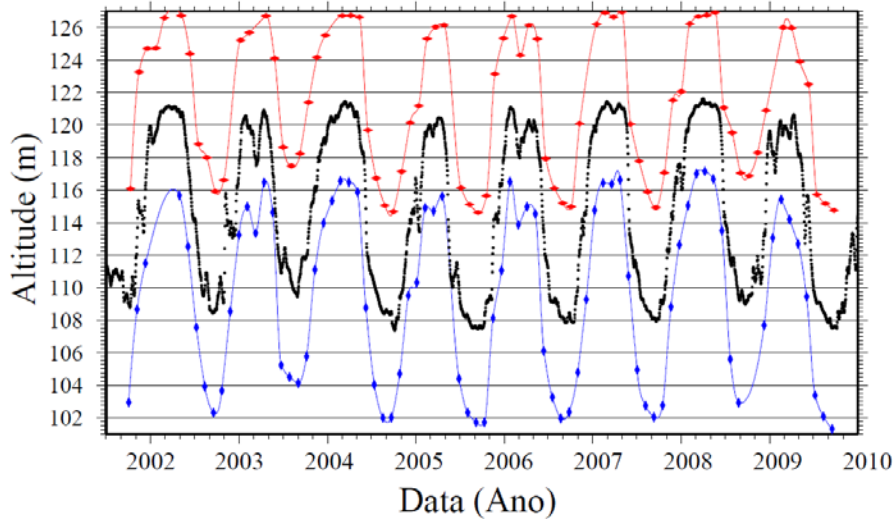


Figura 3. Nivelamento das estações *in situ* Eirunepé, com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

Para a estação linimétrica Ipixuna, que fica entre os traços 708 e 379 que cruzam o rio 45 km à montante e 14 km à jusante, respectivamente. A declividade média dada entre as séries altimétricas nesse trecho do rio é de 68 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 137,792 m.

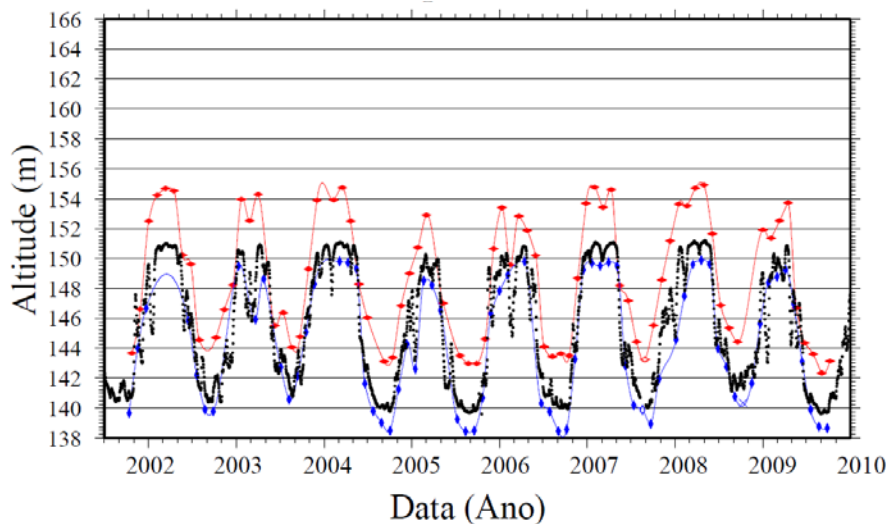


Figura 4. Nivelamento das estações *in situ* Ipixuna, com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

Já para a estação linimétrica Forte das Graças, que fica entre os traços 035 e 493 que cruzam o rio 189 km à montante e 102 km à jusante, respectivamente, observa-se que a declividade média dada entre as séries altimétricas nesse trecho do rio é de 40 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 26,206 m.

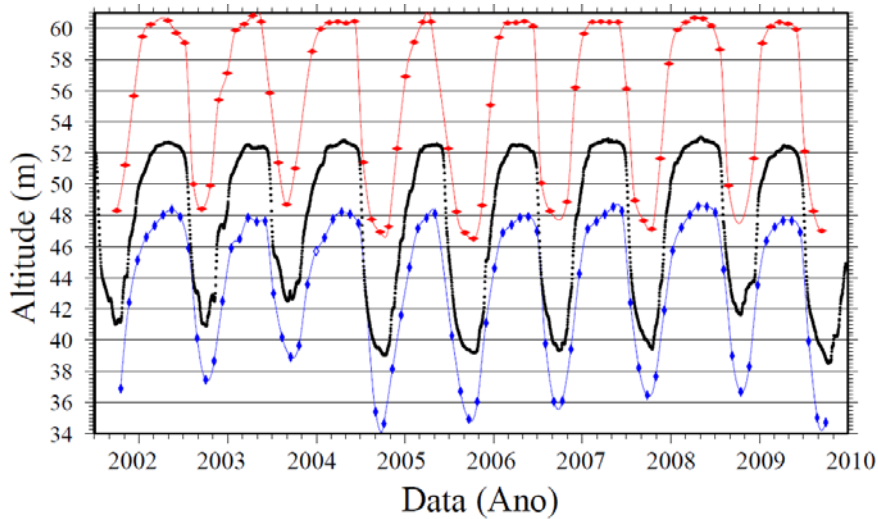


Figura 5. Nivelamento da estações *in situ* Forte das Graças, com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

Na estação linimétrica Gavião, que fica entre os traços 579 e 035 que cruzam o rio 62 km à montante e 141 km à jusante, respectivamente, observa-se que a declividade média nesse trecho do rio é de 40 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 26,206 m.

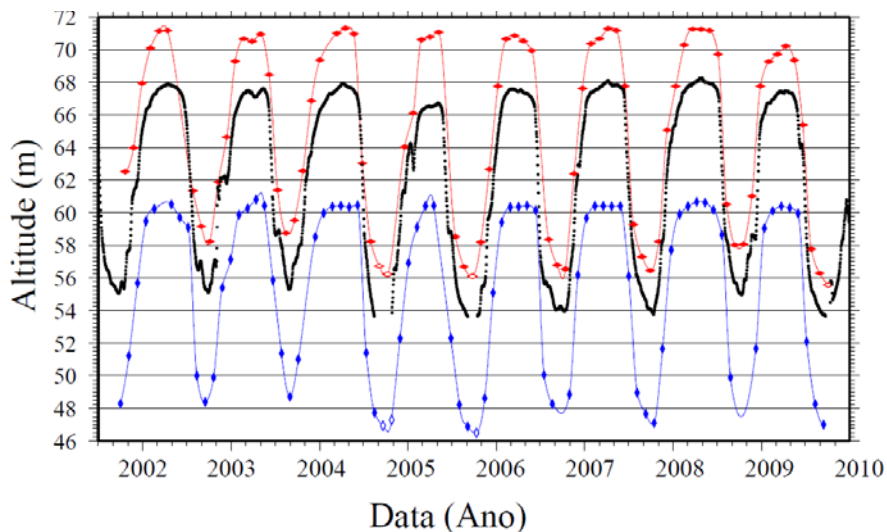


Figura 6. Nivelamento da estações *in situ* Gavião, com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

Para a estação linimétrica Porto Walter, que fica entre duas estações virtuais no mesmo traço, 465, que está a 24 km à montante e 13 km à jusante, observa-se que a declividade média dada entre as séries altimétricas nesse trecho do rio é de 128 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 180,962 m.



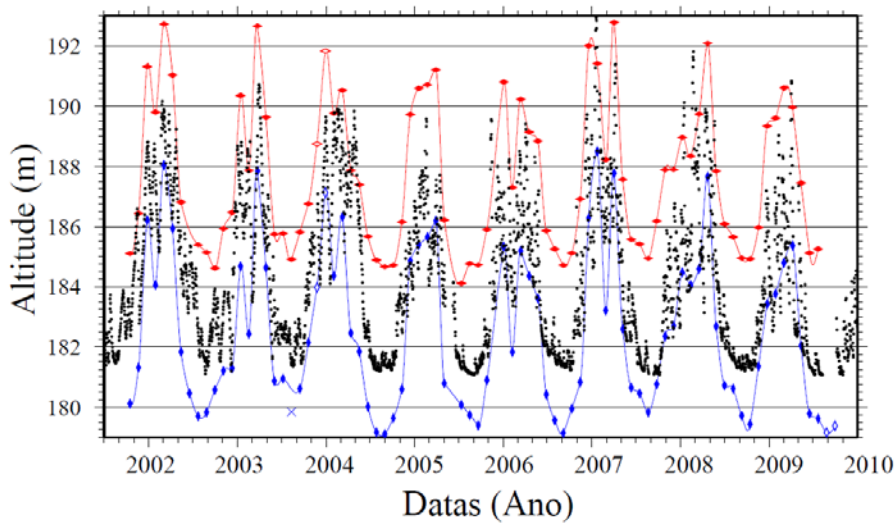


Figura 7. Nivelamento das estações *in situ* Porto Walter, com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

Para a estação linimétrica Santos Dumont, que fica entre os traços 536 e 665 que cruzam o rio 174 km à montante e 13 km à jusante, respectivamente, observa-se que a declividade média dada entre as séries altimétricas nesse trecho do rio é de 47 mm/km, resultando em um nível para o zero da régua de 83,273 m.

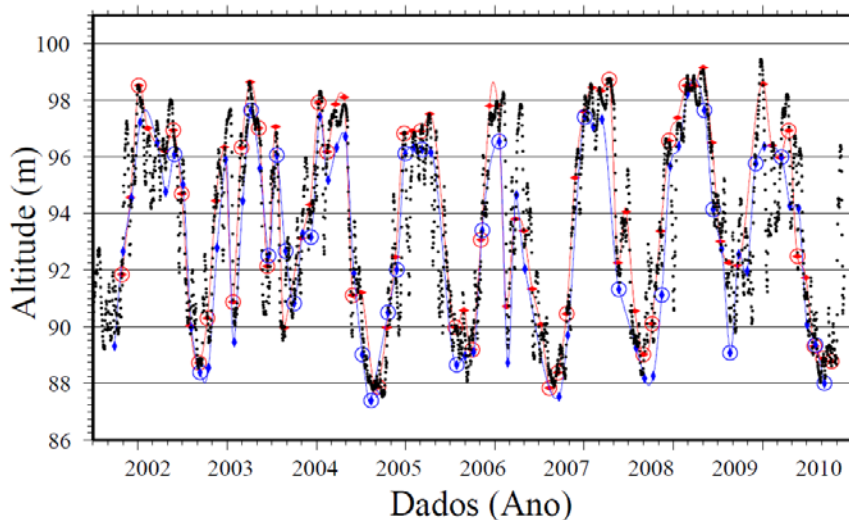


Figura 8. Nivelamento das estações *in situ* Santos Dumont com declividade nula entre os traços do satélite para as estações linimétricas no rio Juruá. As linhas azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a montante, a jusante e a estação.

## 5. Conclusão

Neste estudo, a partir dos dados altimétricos do satélite Envisat foi possível a aplicação da altimetria espacial para nivelamento das régua do rio Juruá pelo método de declividade nula.

A aplicação deste nivelamento a uma referência global nas estações linimétricas constitui uma contribuição no estabelecimento de uma metodologia e de uma proposição para o nivelamento das estações linimétricas da Rede Nacional de Hidrometeorologia. No presente momento, essa rede não apresenta muitos registros de estações niveladas. Em seu banco de dados (HIDROWEB), grande parte das estações disponíveis apresentam referências arbitrárias, característica que limita a aplicação correta dos dados de níveis de água a estudos

hidrológicos e hidrodinâmicos e, por conseguinte, a validação mais apropriada de dados oriundos da altimetria por satélites.

### **Agradecimentos**

Este estudo se insere nos projetos de pesquisa CASAM (CNPq), DS BIODIVA e CLIVAR (FAPEAM), Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas (CPRM) e FOAM (CNES/TOSCA). Os autores agradem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, pela bolsa de Iniciação Científica cedida aos primeiro e segundo autores. Ao Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère - CTOH do Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales - LEGOS, pelos Geophysical Data Records - GDRs e as correções troposféricas correspondentes e à European Space Agency - ESA pela garantia do uso dos dados da missão ENVISAT disponibilizados para o estudo.

### **Referências Bibliográficas**

- ANA (2011). **Agência Nacional de Águas. Rede Hidrometeorológica da Amazônia.** Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/RHAmazonica.pdf>. Acesso: 26 de maio de 2011.
- MOLINIER, M. *et al.* (1995). “*Hydrologie du bassin de l’Amazonie*”, in *Actes du colloque PEGI Grands Bassins Fluviaux Péri Atlantiques*. By Olivry, J.C. et Boulègue, J. ORSTOM Editions, Paris, p. 335-344.
- RONCHAIL, J., and R. Gallaire, (2006): “*ENSO and rainfall along the Zongo valley (Bolivia), from the Altiplano to the Amazon basin.*” **International Journal of Climatology** 26, 1223–1236.
- SILVA, J. S. (2010). *Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica - Aplicações Hidrológicas*. Saarbrücken (GE), Édition Universitaires Européennes. 360p.
- SILVA, J. S. *et al.* (2010). “*Water levels in the Amazon Basin derived from the ERS 2- ENVISAT radar altimetry missions*”. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2160-2181.
- UNEP (2004). Barthem, R. B. *et al.* **Amazon Basin, GIWA Regional Assessment 40b**. University of Kalmar, Kalmar, Sweden.
- VALS (2012). *Virtual ALtimetry Station*, Versão 1.0.3, 05/2011, COCHONNEAU, G. CALMANT, S. Disponível em: [http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels\\_test.php](http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels_test.php)
- ZELLI, C. (1999). “*ENVISAT RA-2 advanced radar altimeter: Instrument design and pre-launch performance assessment review*”. **Acta Astronautica**, v. 44, p. 323-333.