

ANÁLISE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO E NÍVEL DE ÁGUA UTILIZANDO DADOS DO PRODUTO MERGE E SATÉLITE ENVISAT NA BACIA DO RIO MADEIRA

Frank Menezes de Freitas¹;
Leonardo Alves Vergasta¹;
Robson Azevedo de Oliveira¹
Francis Wagner Silva Corrêa²;
Phillipe Arantes Pereira³;
Joecila Santos da Silva⁴;
Stéphane Calmant⁵;
Frédérique Seyler⁶;

¹ Universidade do Estado do Amazonas – UEA;
Bacharelado em Meteorologia; Escola Superior de Tecnologia – EST;
Av. Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus-AM, Brasil;
email: frank.meteoro@yahoo.com; vergastinha@gmail.com; robsonaz@ig.com.br;
francis.wagner70@gmail.com

² Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
Bacharelado em Engenharia da Computação; Faculdade de Tecnologia - FT;
Avenida Gen. Rodrigo Otavio, 3000, Coroado I, 69077-000 Manaus - AM , Brasil;
email: apphillipe@gmail.com

³ Universidade do Estado do Amazonas – UEA;
Centro de Estudos Superiores do Trópico Úmido – CESTU;
Av. Djalma Batista 3578, Flores, 69050-010, Manaus-AM, Brasil;
e-mail: jsdsilva@uea.edu.br

⁴ 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

⁵ Institut de Recherche pour le Développement – IRD;
UMR ESPACE-DEV;
500 rue Jean François Breton, 34093, Montpellier Cedex 5, France;
e-mail: frederique.seyler@ird.fr

Abstract. The Madeira River is considered as one of the main tributaries of the Amazon River. This study describes the ratio between the annual water level hydrographs and climatology rainfall of the Madeira River from 2005 to 2010. We have computed altimetric time series using the tool Virtual Altimetry Station – VALS with ENVISAT data and the climatology rainfall with MERGE rainfall data. The climatology rainfall was compared with the altimetric annual water level hydrographs to check of how the water level of the rivers is influenced by rainfall. The results indicate that the water stages has lag of two months. The hydrological regime is characterized by a full wave multimodal, slow rise and rapid recession, as the drought occurring, preferably, during the months of September to November and the flood during the months from February to June.

Palavras-chave: Radar Altimety, Hydrometeorology, Madeira River, Altimetria Espacial, Hidrometeorologia, Rio Madeira

1. Introdução

A característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical (formação de nuvens) e da precipitação pluviométrica, as quais se tornam as variáveis climáticas mais importantes da região (De Souza *et al.*, 2009). Do ponto de vista das estações sazonais no Hemisfério Sul, o regime de chuva da Amazônia exhibe máximos anuais bem pronunciados durante os meses do verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro – DJF) e outono (Março, Abril e Maio – MAM), sendo que os mínimos anuais ocorrem durante os meses de inverno (Junho, Julho e Agosto – JJA) e primavera (Setembro, Outubro e Novembro – SON).

A variabilidade tanto temporal quanto espacial da precipitação na região do rio Madeira está associada a sistemas meteorológicos que atuam na região Amazônica, como ZCIT, Alta da Bolívia, El Niño, La Niña entre outros (Fisch *et al.*, 1998), mas tem sua principal ligação com os movimentos de ar e no papel orográfico dos Andes (Andrade, 2008). Sendo a variabilidade fluviométrica (variação da cota/vazão dos rios, isto é, os períodos regulares de enchente e vazante) regulada primariamente pela variabilidade da precipitação pluviométrica (Marengo *et al.*, 1998; Rocha, 2001).

A relação entre a precipitação e o comportamento da cota influencia diretamente na vazão do rio que por sua vez provoca inundações ou secas e prejuízos econômicos as populações ribeirinhas. Neste contexto o principal objetivo deste trabalho é apresentar a relação direta entre a variabilidade sazonal da precipitação com a cota do rio Madeira.

2. Área de Estudo

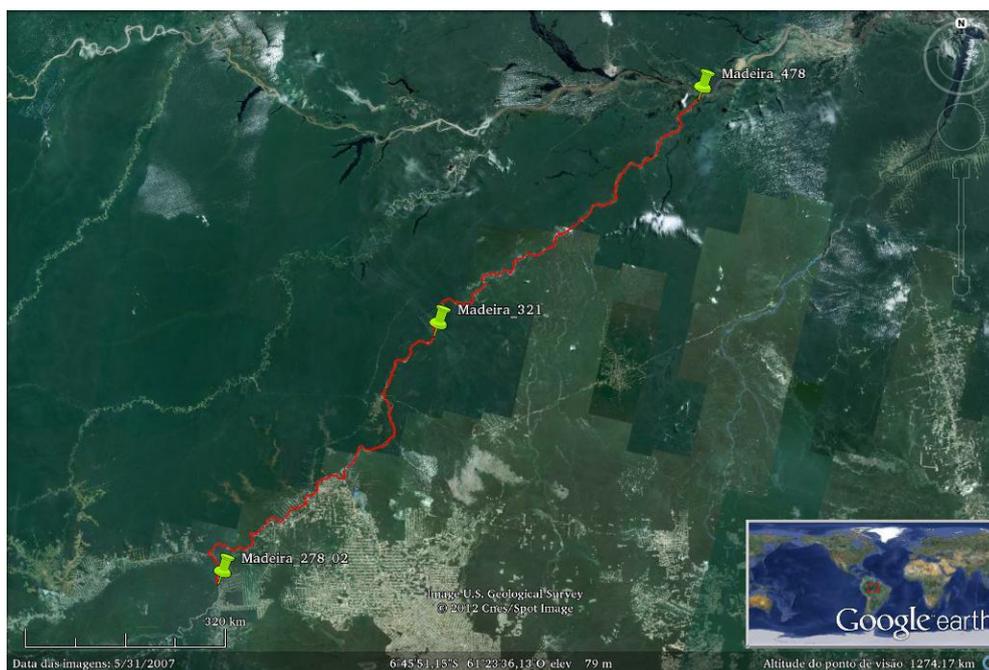


Figura 1. Localização das estações virtuais do rio Madeira, objeto deste estudo. Mosaico de imagens *Google Earth*, em segundo plano.

A área de estudo abrange o Rio Madeira, de sua nascente no rio Beni, até sua foz, no rio Amazonas (Figura 1). O rio Madeira está inserido em uma extensa área de floresta pluvial, sendo considerado um dos principais afluentes meridionais do rio Amazonas e o segundo tributário andino da bacia. Em bacias onde é grande a variação anual do nível de água, torna-se frequente o aparecimento de áreas sujeitas à inundação sazonal, conforme ocorre do rio Madeira. O rio é rico em sedimentos que traz dos Andes. Possui três unidades morfo-estruturais, com as seguintes proporções: Andes (15%), Planície Amazônica (44%) e Escudo

Brasileiro (41%). Devido a essa característica, verificam-se grandes altitudes na parte montante do rio, vastas zonas de inundação na planície e a presença de cachoeiras no Escudo Brasileiro, principalmente próximo a Porto Velho.

3. Materiais e Métodos

3.1 Metodologia

3.1.1 Estações Virtuais

Cada interseção de um traço altimétrico com o plano de água consiste numa estação virtual, sendo potencialmente possível obter uma série temporal da altura do plano de água. Foram usados os programas VALS (*Virtual Altimetry Station*) (VALS Tool, 2012) juntamente com o Google Earth, (*Google Earth*, 2012) permitindo uma seleção tridimensional dos dados em um espaço superfície-profundidade descrita em Silva *et al.* (2010). Para cada interseção extrai-se o traço altimétrico dos pontos correspondentes ao plano de água, para tal o mosaico de imagens do programa *Google Earth* é utilizado em segundo plano. Uma vez os pontos selecionados, os dados altimétricos permitem construir uma série temporal de nível de água calculando-se a média e mediana do conjunto de medidas, bem como, associando-se uma dispersão caracterizando a qualidade dos resultados obtidos, durante o período de 2002 a 2010. As alturas foram convertidas em altitude utilizando-se o modelo de ondulação geoidal EGM2008 desenvolvido por Pavlis *et al.* (2008).

3.1.2 Cotogramas

Os cotogramas foram construídos a partir do cálculo da média de cada mês da cota altimétrica de nível de, sendo possível analisar as variações dos níveis de água e a amplitude de cada estação virtual no período de 2002-2010. Utilizando-se os dados altimétricos do satélite altimétrico ENVISAT das estações, Madeira_321 e Madeira_478.

3.1.3 Climatológicas

Inicialmente os dados de precipitação do produto MERGE foram tabulados em planilha eletrônica e em seguida calcularam-se as climatológicas resultantes dos valores médios mensais para os oito anos da série estudada.

3.2 Dados

3.2.1 Dados Altimétricos

Foram utilizados os registros de dados geofísicos (*Geophysical Data Records – GDRs*) da missão altimétrica ENVISAT provenientes do algoritmo *standart* de tratamento de forma de onda (FO) *Ice-1*. O Satélite ENVISAT (*ENVironmental SATellite*) foi lançado em março de 2002, sendo o maior satélite para observação da Terra construído até o presente. Os dados recolhidos pelo ENVISAT foram utilizados para o estudo científico da Terra, análise ambiental e alterações climáticas. 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 e encerrou definitivamente suas atividades em abril de 2012. O satélite contava com 10 instrumentos, estando incluso um altímetro radar nadir (RA-2) (Silva, 2010).

Os GDRs são tratados e disponibilizados pelo CTOH (*Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère*) do LEGOS (*Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie*

Spatiales) sendo extraídos entre as coordenadas 90°W a 40°W e 13°N a 21°S, onde obteve-se 90 traços, totalizando 93 ciclos entre o período de 10/2002 a 10/2010.

3.2.2 Dados do MERGE

Foram utilizados os dados de precipitação do produto MERGE que combinam os dados do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) com os dados de observação de superfície (*Surface Synoptic Observations-SYNOP*) sobre o continente da América do Sul (Vila *et al.*, 2009) gerado e disponibilizado pelo CPTEC/INPE para o período de 10/2002 a 10/2010. O conjunto de dados MERGE estão em pontos de grade. Neste sentido, os dados em pontos de grades foram convertidos para pontos de observações nas coordenadas das estações virtuais utilizando uma interpolação bilinear.

4. Resultados e discussão

Na Tabela 1 observa-se a localização das estações virtuais juntamente com valores máximos e mínimos de cota altimétrica e amplitude, calculadas em Freitas *et al.* (2011).

Tabela 1 – Identificação das Estações Virtuais

Nome da Estação	Latitude	Longitude	Cota Mínima	Cota Máxima	Amplitude (m)
Madeira_478	-3,331	-58,784	9,1	18,06	8,96
Madeira_321	-6,697	-62,343	28,33	40,29	11,96
Madeira_278_02	-10,088	-65,314	83,78	94,68	10,9

O regime hidrológico do rio Madeira, nas estações estudadas, demonstra ser multimodal, com dois períodos hidrológicos definidos ao longo do ano e ascensões e recessões assimétricas, de ascensão lenta e recessão rápida, como a estiagem ocorrendo, preferencialmente, durante os meses de setembro a novembro e a cheia estendendo-se durante os meses de fevereiro a junho. A amplitude máxima foi observada na estação virtual Madeira_321 com o valor de 11,96 m.

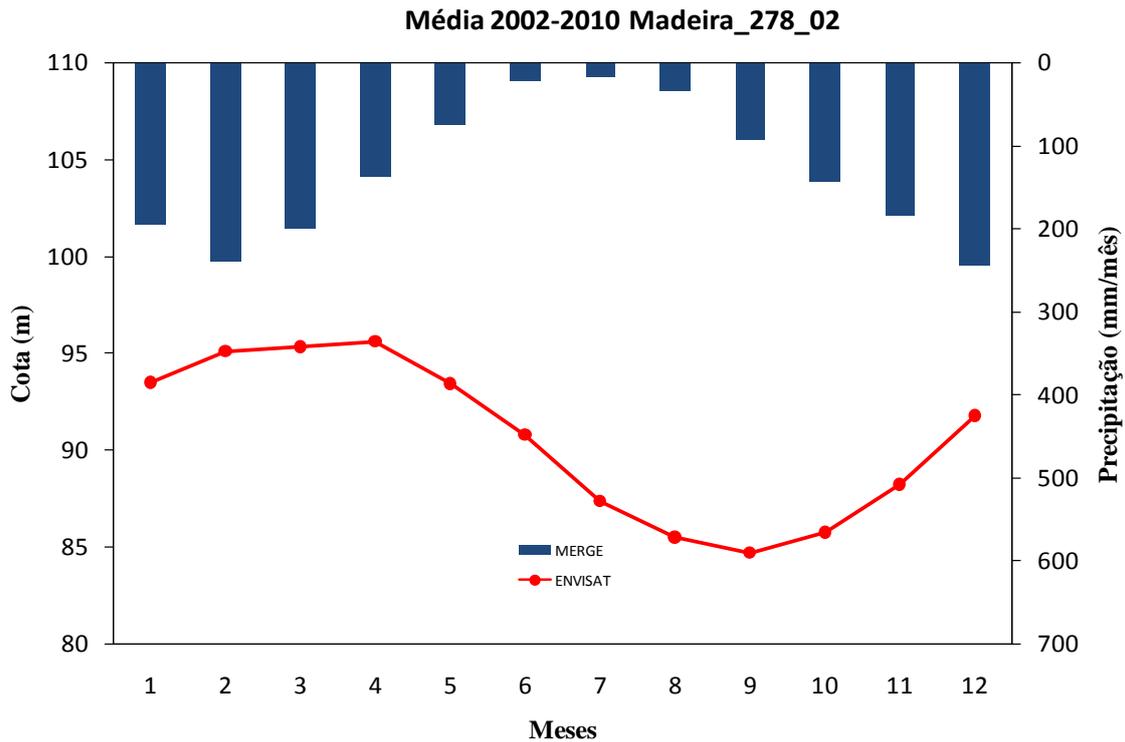


Figura 2. Climatológica (barras) e cotograma (linhas contínuas) para a estação virtual Madeira_278_01.

Na Figura 2 incluem-se os dados da estação Madeira_278_02. Observa-se que os valores de chuva (barras) e cota (linhas contínuas) apresentam valores máximos de 239 mm, no mês de fevereiro e 98 m, no mês de abril, sendo que os valores mínimos são de 0,5 mm e 84 m ocorrem no mês de julho e setembro, respectivamente. Nota-se dois meses de defasagem em relação ao máximo de chuvas e o máximo da cota, assim como para o período de estiagem. Destaca-se que as estações Madeira_278_02 encontram-se mais à montante em comparação às demais

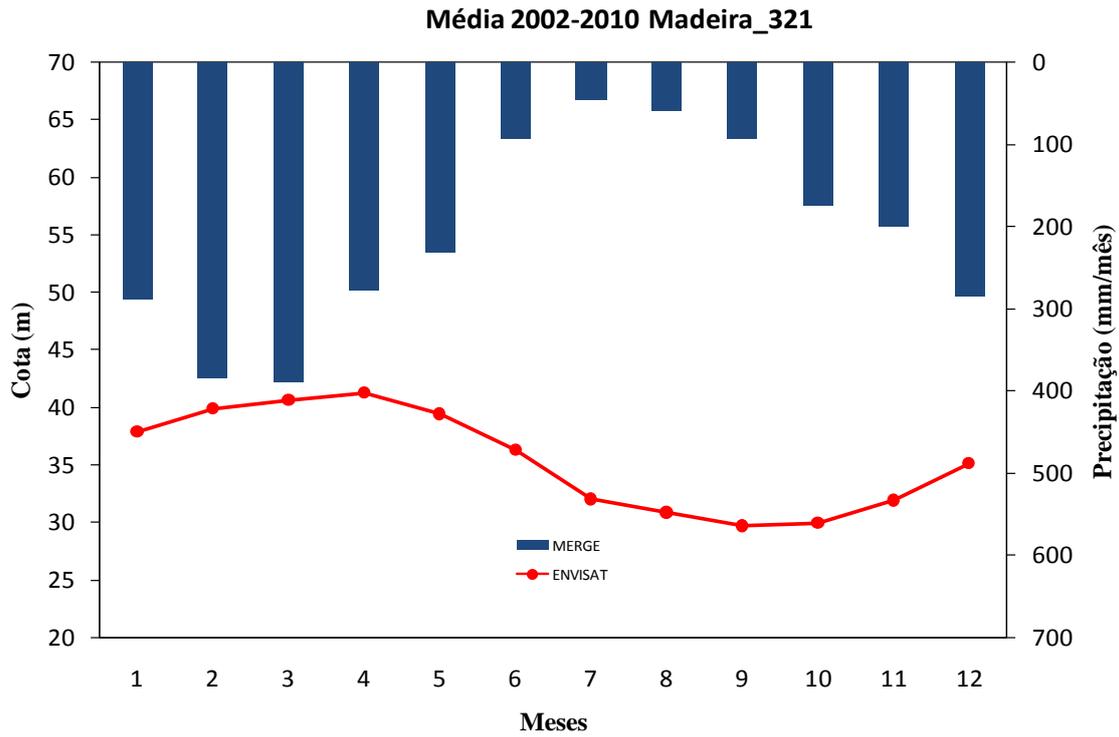


Figura 3. Climatológica (barras) e cotograma (linhas contínuas) para a estação virtual Madeira_321.

Similarmente a Figura 3, temos o gráfico dos dados da estação Madeira. Os valores máximos de chuvas e de cotas denotam valores de 390 mm e 42 m, com ocorrência nos meses de março e abril, respectivamente; os valores mínimos equivalem a 47 mm em julho e 28 m em setembro. Neste gráfico observa-se somente um mês de defasagem entre o máximo de chuvas e o máximo de cotas, o comportamento dos valores mínimos é similar ao observado na Figura 2.

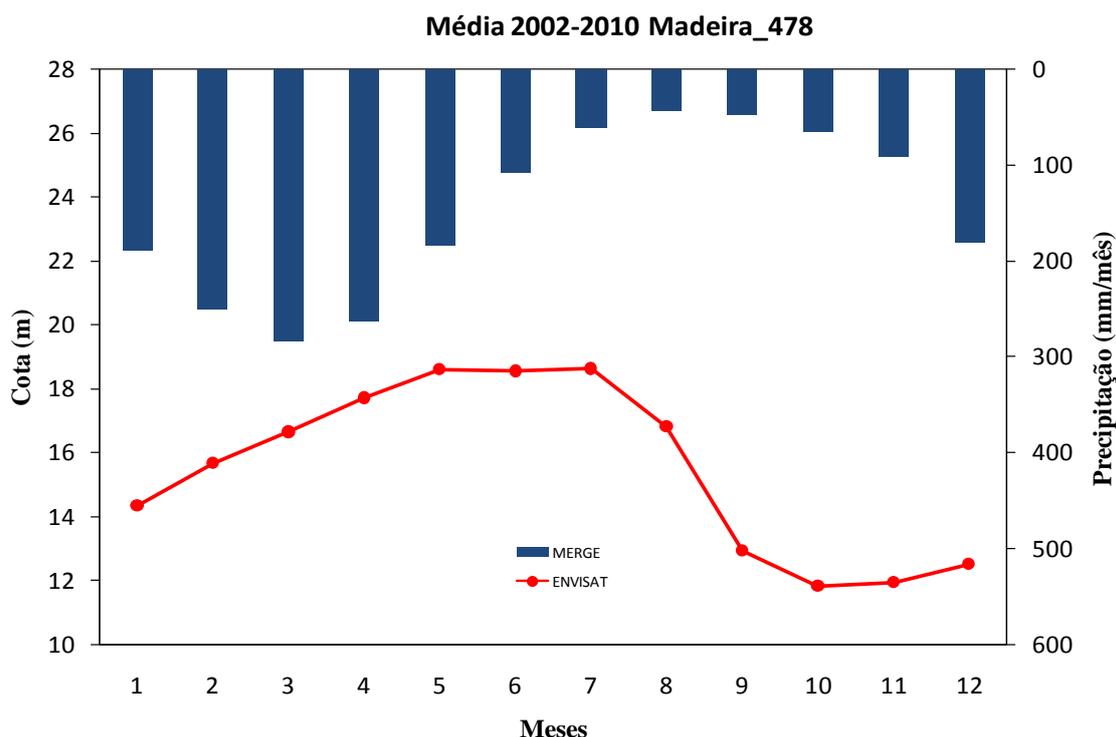


Figura 4. Cotograma (linhas contínuas) e climatológica (barras) para a estação virtual Madeira_478.

Na Figura 4 observam-se os dados da estação Madeira_478. Neste gráfico os valores máximos de chuvas e de cotas, equivalem a 436 mm e 21 m, ocorrendo preferencialmente nos meses de março e junho; enquanto que os valores mínimos são de 7 mm e 8 m, ocorrendo nos meses de agosto e novembro, respectivamente. A defasagem entre os máximos e os mínimos de cotas e de chuvas observada corresponde a três meses. Adicionalmente, ressalta-se que corresponde à estação mais a jusante do rio Madeira com registros equivalentes de chuvas e cotas para o período de 2002 a 2010.

5. Conclusões

Foram analisadas três estações virtuais ao longo do rio Madeira sendo possível ressaltar a diferença nas variações entre os máximos e os mínimos de chuvas e cotas, destacando-se que nas estações a montante os valores possuíam defasagem menor em relação aos dados medidos pelas estações que estão localizadas mais a jusante da bacia, próximo à confluência com o Rio Solimões. Tais variações, já eram esperadas, uma vez que coincidem com os resultados encontrados na literatura e mostram a importância da análise destes dados em diversas áreas da ciência, tais como, modelagem de bacias hidrográficas, modelagem de umidade do solo, e também na avaliação de modelos numéricos de previsão de tempo e clima.

Agradecimentos

Este estudo se insere nos projetos de pesquisa CASAM (CNPq), DS BIODIVA, Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas (CPRM) e FOAM (CNES/TOSCA). Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica cedida ao primeiro autor. 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

ANDRADE, C. D. *Análise Pluviométrica da Bacia Transfronteira do rio Madeira*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

DE SOUZA, E.B.; ROCHA, E.J.P. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3a, p. 142-152, 2006.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28(2): 101-126, 1998.

FREITAS, F. M., SILVA, J. S., CALMANT, S., SEYLER, F. Variações temporais de níveis de água na bacia do rio Madeira estimadas por satélite altimétrico ENVISAT. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - A água no mundo em transformação*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2011,

GOOGLE EARTH. *Google Earth*, versão 7.0.1.8244. Google Inc., 2012.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; UVO, C. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, p. 1775-1784, 1998.

PAVLIS, N. K. *et al.* Factor J.K. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. Em: *Proceedings of the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union*, Vienna, Austria, 13-18/04/2008. Disponível em: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html, 2008.

ROCHA, E. J. *Balanço de umidade e influências de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia*. 2001. Tese (Doutorado) - INPE, São José dos Campos, 2001.

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

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*, 114(10):2160-2181, doi: 10.1016/j.rse.2010.04.020

TUCCI, C. E. M. (org). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2 ed., Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, ABRH, 2001.

VALS Tool. *Virtual Altimetry Station*, Versão 1.0.6, 05/2012, COCHONNEAU, G. e CALMANT, S. Disponível em: http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels_test.php, 2011.

VILA, D. A.; GONCALVES, L. G. G.; TOLL, D. L.; ROZANTE, J. R. Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite estimates over continental South America. *J. Hydrometeor.*, 10, 533–543, 2009.