

ANÁLISE DE PERFIS LONGITUDINAIS DO RIO NEGRO COM DADOS DO SATÉLITE ENVISAT

Bernardo Luiz Ferreira de Oliveira^{1,2}; Daniel Medeiros Moreira²; Fabiana Nunes Abinader Rios¹; Stephané Calmant³; Joecila Santos da Silva¹;*

Resumo –

A relação existente entre a variação altimétrica e o comprimento de um corpo hídrico desde a nascente até a foz é representada pelo perfil longitudinal do mesmo. Esta representação é uma importante ferramenta que auxilia o estudo dos condicionantes que equilibram o sistema fluvial. A altimetria espacial é uma tecnologia de sensoriamento remoto que através do uso de radares altímetros a bordo de satélites permitem o monitoramento do nível das águas oceânicas e continentais. Essa tecnologia viabiliza a obtenção de dados hidrométricos em áreas remotas e de difícil acesso, principalmente em grandes bacias hidrográficas. O objetivo desse estudo é verificar a viabilidade da utilização dos dados altimétricos obtidos pelo satélite ENVISAT para criação de perfis longitudinais do rio Negro. A viabilidade foi confirmada através da comparação dos perfis altimétricos do satélite com os perfis elaborados a partir das estações fluviométricas convencionais e com o perfil extraído das imagens SRTM.

Palavras-Chave – Perfil longitudinal, altimetria espacial.

ANALYSIS OF LONGITUDINAL PROFILE OF NEGRO RIVER BASED ON SATELLITE DATA

Abstract –

The relationship between the altimetry variation and the length of the water body from the source to the mouth is represented by slope profile. This representation is an important tool that helps the study of conditions the equilibrium of river system. Radar altimetry is a remote sense technology that through using altimeters radars on satellites allows monitoring ocean and continental water levels. This technology enables the achievement of hydrometric data in remote areas, mainly in large basins. This study aims to verify the feasibility of using altimetric data obtained from ENVISAT satellite for generating longitudinal profiles on Negro River. The feasibility was confirmed by comparing altimetric profiles from satellites to profiles obtained by conventional fluviometric stations and to profiles extracted from SRTM images. .

Keywords – Longitudinal profiles, spatial altimetry.

¹.* Universidade do Estado do Amazonas – UEA: bernardo.oliveira@cprm.gov.br; fabiana.abinader@gmail.com; jsdsilva@uea.edu.br

² Serviço Geológico do Brasil – CPRM; daniel.moreira@cprm.gov.br

³ Institut de Recherche pour le Développement- IRD (UMD 5566 LEGOS – CNES/CNRS/IRD/UT3) : stephane.calmant@ird.fr

INTRODUÇÃO

O modelo de gestão de recursos hídricos descentralizado por Bacias Hidrográficas preconizado na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/97) 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.

Assim como em grande parte das bacias hidrográficas do Brasil, a bacia do Rio Negro possui um sistema de monitoramento composto por diversas estações pertencentes a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) onde é possível obter dados pluviométricos e fluviométricos, principalmente dados de chuva diária, nível dos rios e medições de descarga líquidas. Na RHN, a grande maioria de estações fluviométricas possuem uma referência altimétrica arbitrária, o que impossibilita, limita ou prejudica estudos hidrodinâmicos e hidrológicos. Dados fluviométricos sem referência vertical comum inviabilizam definir com precisão o perfil longitudinal dos rios e sua variação com o tempo, calcular parâmetros hidrodinâmicos como o coeficiente de Manning, estabelecer o potencial hidráulico, dificultam o auxílio à navegação e um controle vertical das cheias definindo assim áreas de risco de inundação, entre outras atividades e ações integrantes da gestão dos recursos hídricos (Moreira, 2010).

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 15 anos, a estudos em águas continentais (Calmant e Seyler, 2006). 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).

O estudo dos perfis longitudinais do rio pode ser uma ferramenta muito importante para a compreensão dos condicionantes que equilibram ou desequilibram os sistemas fluviais, bem como dos fenômenos hidrológicos que atuam em uma bacia hidrográfica necessários para sua gestão. Perfis longitudinais côncavos (ou com forte tendência à concavidade) desenvolvem-se em rios instalados nas mais variadas condições de substrato litológico, como atestam os perfis analisados por vários autores (Shepherd, 1985; Ohmori, 1996; Pazzaglia *et al.*, 1998; Rãdoane et al., 2003). É esperado que os perfis longitudinais apresentem uma forma côncava com aumento da sua concavidade para montante. Tal comportamento demonstra um equilíbrio entre capacidade de transporte fluvial e fornecimento sedimentar. Em sistemas fluviais com predominância de leitos rochosos, diferentemente dos sistemas onde predominam leitos aluviais, o grau de concavidade pode ser diretamente afetado por variações longitudinais na litologia, no fluxo de sedimentos e nas interferências tectônicas (Hack, 1973; Shepherd, 1985; Kirby e Whipple, 2001; Kobor e Roering, 2004).

Nesse estudo será apresentado o uso da tecnologia de sensoriamento remoto denominada altimetria espacial, com objetivo de construção de perfis longitudinais, gerado por dados do altímetro do satélite ENVISAT, para o rio Negro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do rio Negro possui cerca de 70×10^4 km² o que corresponde a cerca de 10% da bacia Amazônica. A bacia possui 1.700 km de extensão, com uma vazão média anual de aproximadamente 29.000 m³/s, e precipitação variável de 3500 mm/ano perto de sua nascente a 2137 mm/ano na sua foz (Villar *et al.*, 2009). A área de estudo é delimitada pela porção da bacia que se situa dentro dos limites administrativos do território brasileiro. Isso faz-se necessário para comparação os dados altimétricos do satélite ENVISAT com aqueles obtidos pelas estações pertencentes a RHN (Figura 1).

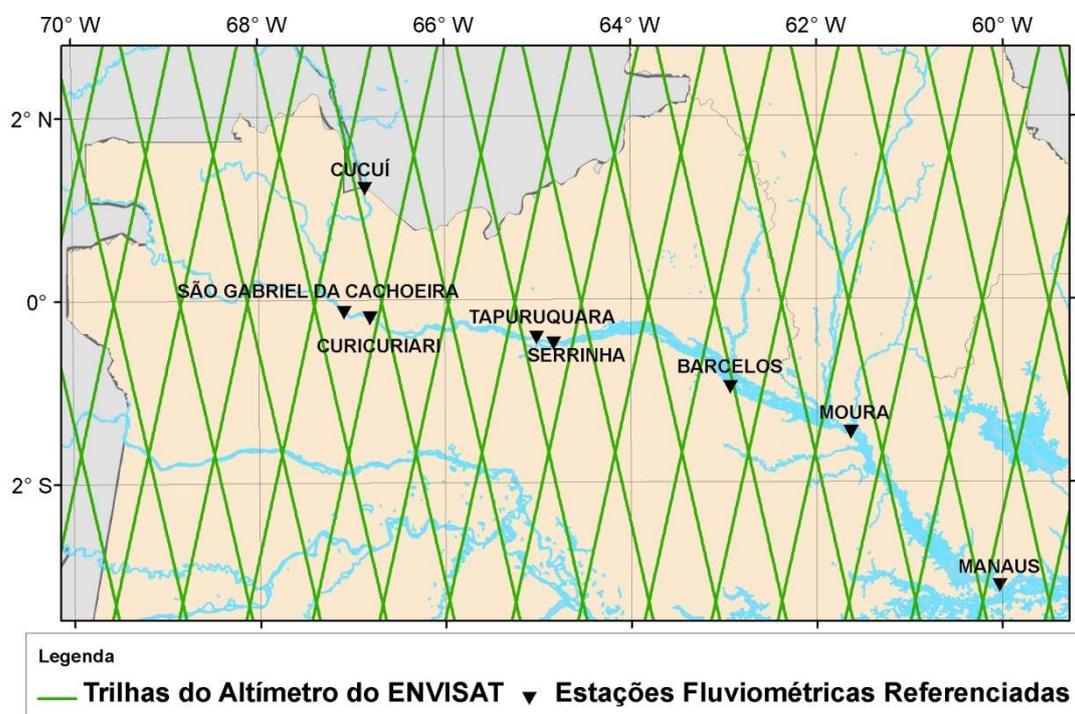


Figura 1- Órbitas do satélite ENVISAT e estações fluviométricas do Rio Negro.

Obtenção de dados

As séries temporais de nível de água com dados altimétricos foram gentilmente cedidas pelo grupo RHASA (Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia) – que é uma iniciativa da Universidade Estadual do Amazonas - UEA, em conjunto com o IRD (*Institut de Recherche pour le Développement*). O RHASA se propõe, entre outros estudos, na disponibilização de séries fluviométricas obtidas por radares altímetros para as aplicações hidrológicas.

As séries foram elaboradas por meio da criação de Estações Virtuais (EV's), utilizando-se a metodologia descrita em Silva *et al.* (2010), conforme exemplificado na Figura 2. Essa metodologia permite que a seleção e correção dos dados seja realizada em um espaço superfície-profundidade através do programa VALS (*Virtual Altimetry Station*).

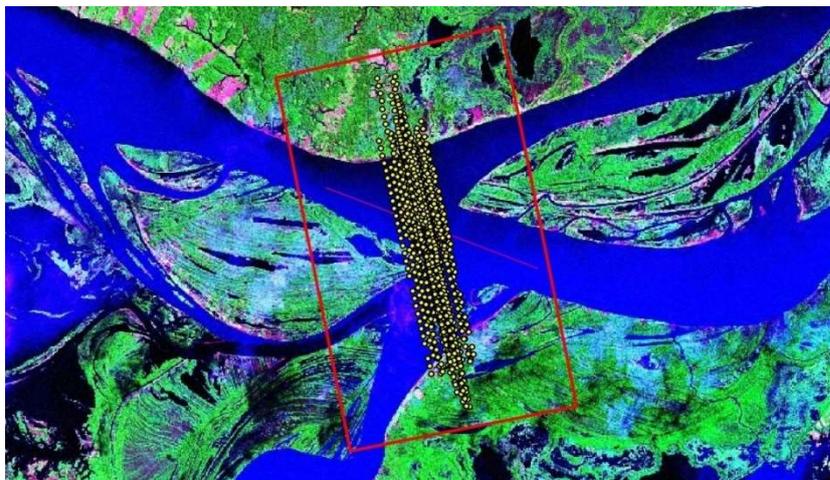


Figura 2 – Estação Virtual para obtenção de dados de altimetria espacial.

Os dados fluviométricos obtidos pelo radar altímetro são referenciadas ao elipsóide e contêm um significado geométrico da altitude, faz-se necessário atribuir um caráter físico a essas altitudes. Nesse sentido, foi desenvolvida uma série de modelos do geopotencial que definem a ondulação geoidal, termo que é utilizado para definir a distância que separa o geóide do elipsóide de referência. Para esse estudo foi escolhido como modelo do geopotencial o EGM08, recomendado pelas convenções do IERS (2010) (Petit e Luzum, 2010). Demais detalhes do modelo do geopotencial EGM08 podem ser encontrados em PALVIS *et al.* (2012).

Para a avaliação dos perfis de altimetria espacial foi realizado o nivelamento das estações fluviométricas existentes no trecho estudado do rio Negro, conforme observado na Figura 3. As réguas foram niveladas a partir da ocupação de lances de réguas por receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*). A obtenção de altitudes do nível zero das réguas linimétricas com relação a uma mesma referência altimétrica possibilita que os dados fluviométricos coletados por essas estações sejam analisados de forma conjunta, o que gera as condições necessárias para estimar o perfil longitudinal dos rios caracterizados, sendo esses limitados, em sua resolução espacial, pela distância entre as estações.



Figura 3 – Ocupação de um lance de régua por receptor GPS.

Os perfis do rio Negro foram elaborados a partir das médias mensais de dados fluviométricos no período 2003-2009, com o objetivo de apresentar a variação de nível de água nos períodos de vazante e cheia. Os dados de nível foram obtidos no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017).

Em consonância com os resultados de perfis apresentados obtidos por dados de réguas fluviométricas, dados de altimetria gerados por estações virtuais dos satélites ENVISAT podem ser observados na perspectiva de perfis longitudinais para comparação posterior com dados de réguas.

Como os dados de altimetria não são coletados na mesma época nos diferentes pontos da bacia, resultando em defasagem temporal e consequente impossibilidade de um perfil gerado com dados adquiridos em um mesmo período, fez-se necessária a aplicação do seguinte procedimento. Primeiro, os dados de cada ponto do perfil tiveram de ser interpolados em dados diários, ou seja, uma interpolação de 30 dias para dados do ENVISAT. Depois, para redução dos ruídos dessa interpolação, foram calculadas as médias mensais das séries disponibilizadas desses satélites, abrangendo os anos de 2003 a 2009.

Foi elaborado também, o perfil longitudinal extraído das imagens da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que possuem resolução de 30 x 30 m, disponibilizadas no site www.earthexplorer.usgs.gov.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil longitudinal de um rio é entendido como sendo a curva obtida através de dados plotados em gráfico de coordenadas cartesianas, cujas coordenadas correspondem à altitude (H) em relação à distância da jusante (L) expressa pela equação 1:

$$H=f(L) \quad (1)$$

Para Hack (1957) o perfil vai refletir o estado de equilíbrio da drenagem e qualquer alteração no mesmo levaria o rio a se ajustar na busca de um novo equilíbrio, erodindo seu próprio leito ou gerando agradação.

As Figura 4 e 5 apresentam os perfis longitudinais obtidos a partir da técnica de altimetria espacial e dados *in situ*, para os períodos de cheia e vazante do rio Negro. Os dados de altimetria apontaram uma variação de nível da água entre 21,4 e 81,1 m, no período de cheia e de 11,9 a 77,1 m, no período de vazante. Tal variação ocorre entre o trecho da planície Amazônica que ocorre a confluência do rio Negro com o rio Solimões, até a estação de Cucuí, próximo à fronteira com a Colômbia e Venezuela. A declividade de 0,25 m/km na região do alto rio Negro, indica áreas de predominância de processos erosivos, enquanto que próximo à foz com litologia menos resistente, o aumento da carga hídrica e ao efeito de barramento hidráulico do rio Solimões (Meade *et al.*, 1991) apresenta declividade próximo de 0 m/km.

É possível observar concordância entre os dados, indicando que informações obtidas a partir de satélites podem ser utilizadas no traçado do perfil vertical de rios de grande magnitude. No trecho superior do rio, no entanto, existe uma divergência entre os perfis traçados. O maior detalhamento gerado pelos dados de satélite na região, em que as órbitas cruzam o rio em pontos próximos (Figura 1, entre as estações São Gabriel da Cachoeira e Cucuí), permite o melhor entendimento do traçado do perfil. A dificuldade de acesso da região, por outro lado inviabiliza a instalação e manutenção das estações convencionais.

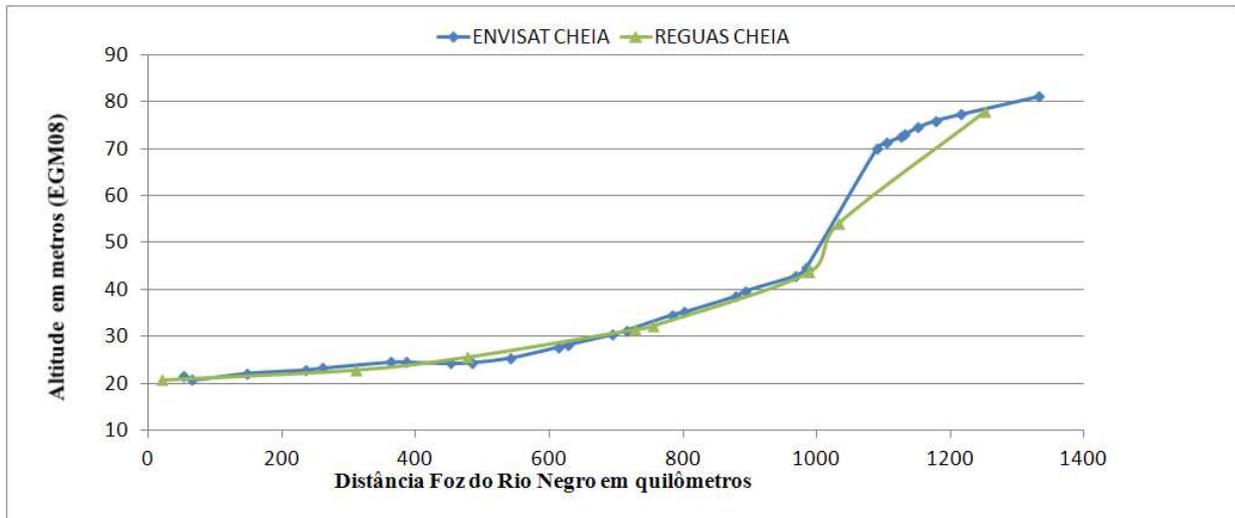


Figura 4 – Perfil longitudinal do rio Negro no período de cheia

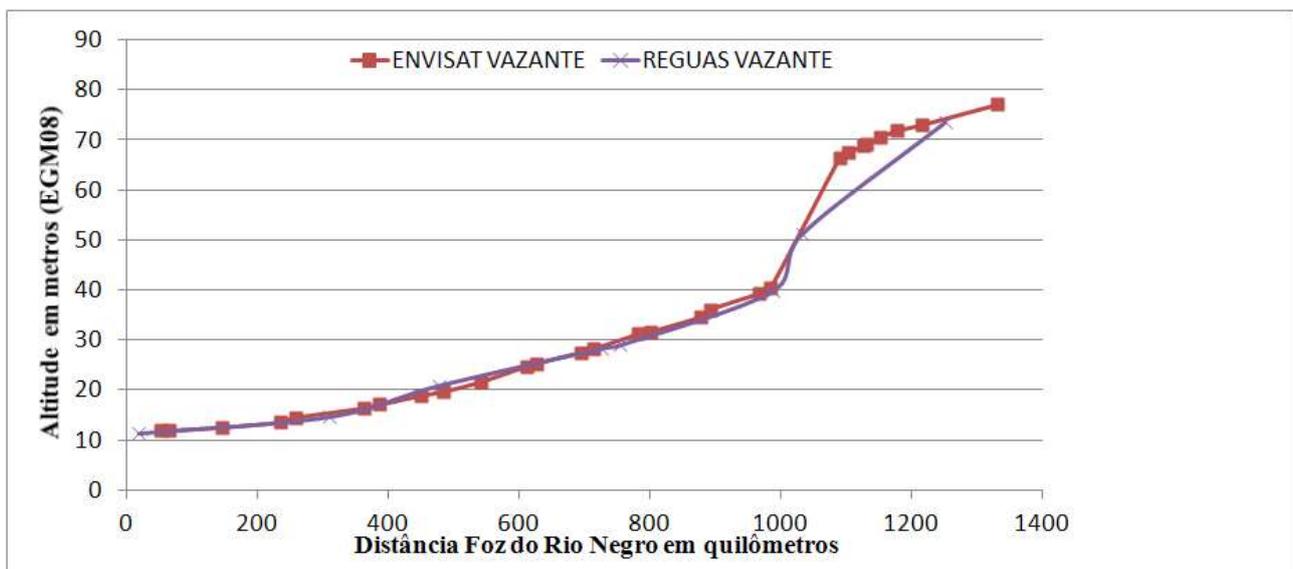


Figura 5 – Perfil longitudinal do rio Negro no período de vazante

Os perfis longitudinais gerados pelos dados altimétricos do ENVISAT são similares aos criados com os dados obtidos em campo pelas estações fluviométricas convencionais. Para a elaboração dos mesmos, foi necessário apenas o processamento dados que são disponibilizados gratuitamente na internet, diferente dos perfis gerados com os dados das estações físicas, que demandam coleta de dados diários por observadores hidrológicos e campanhas rotineiras de nivelamento e manutenção das estações. Os dados do ENVISAT permitiram um maior detalhamento do perfil, principalmente nas regiões da bacia com maior declividade e menor densidade de estações fluviométricas convencionais.

A Figura 6 apresenta os perfis longitudinais elaborados para o período de cheia e vazante com os dados do ENVISAT e o perfil longitudinal criado com os dados do SRTM. Em comparação com outras técnicas de sensoriamento remoto, como a obtenção de perfis longitudinais extraídos de imagens da missão SRTM, os dados do ENVISAT apresentaram-se mais realistas e precisos. Além

disso, por ser um satélite de monitoramento com ciclos regulares de coleta de informação, seus dados podem ser divididos por períodos para representar a variação da declividade ao longo do ano hidrológico.

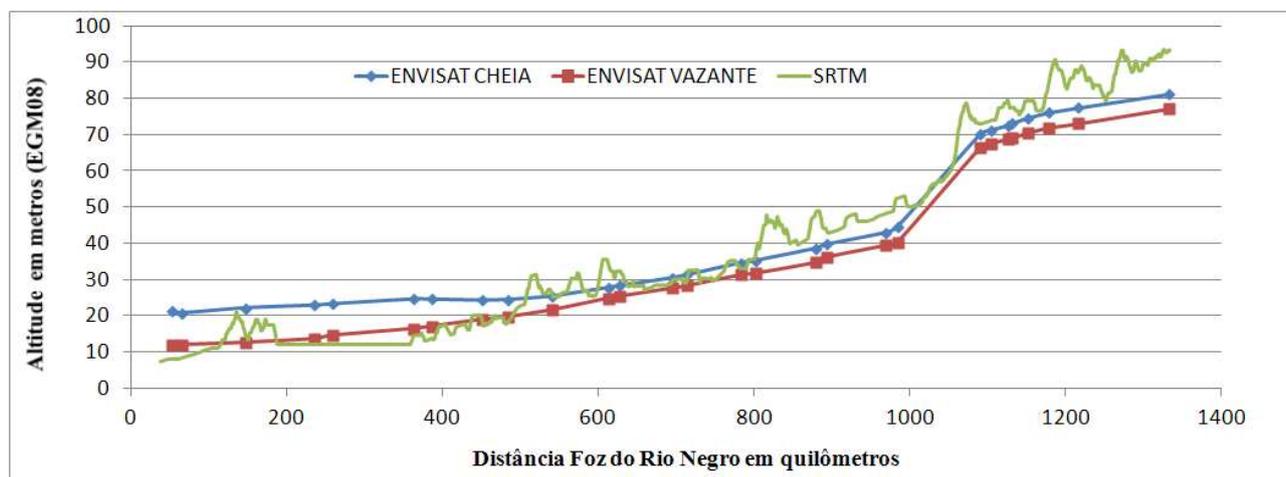


Figura 6 – Perfil longitudinal SRTM comparado com os perfis ENVISAT.

CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo foram obtidos por meio da análise dos perfis longitudinais do rio Negro elaborados com os dados altimétricos do satélite ENVISAT, das estações fluviométricas convencionais da RHN e da missão SRTM.

A técnica de altimetria espacial se mostrou muito eficaz na elaboração dos perfis longitudinais, tanto pela similaridade dos seus resultados quando comparados com os dados obtidos de maneira direta pelas réguas linimétricas e de forma superior quando comparado com o perfil gerado pelos dados extraídos do SRTM.

Através da altimetria espacial, responsáveis 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 2020, 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.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo se insere nos projetos de pesquisa Dinâmica Fluvial do Sistema Negro-Solimões-Amazonas (CPRM) e FOAM (CNES/TOSCA). Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsas de iniciação científica ao terceiro 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, à *European Space Agency* – ESA pela garantia do uso dos dados da missão ENVISAT disponibilizados para o estudo e aos alunos do Laboratório RHASA.

REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional das Águas) (2017). Base de dados Hidrológicos. <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em 05 de maio de 2017.
- CALMANT, S. SEYLER, F. (2006) Continental surface waters from satellite altimetry. *Comptes Rendus Geosciences*, 2006. v. 338. pp. 1113-112.
- HACK, J.T. (1973) Stream profile analysis and stream gradient index. *J. Res. US Geol. Survey*, v.1, n.4, pp.421-429.
- KIRBY, E. e WHIPPLE, K. X. (2001) Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology*, 2001. v. 29, p. 415-418
- KOBOR, J. S.; ROERING, J. J. (2004) Systematic variation of bedrock channel gradients in the central Oregon Coast Range: implications for rock uplift and shallow landsliding. *Geomorphology*, p. 239-256.
- MOREIRA, D.M. (2010) *Rede de referência altimétrica para avaliação da altimetria por satélites e estudos*. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil..
- PAVLIS, N. K., HOLMES, S. A., KENYON, S. C., FACTOR, J. K.; (2012) The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012) v. 117.
- PAZZAGLIA, F.J.; GARDNER, T.W.; MERRITS, D. J. (1998) Bedrock fluvial incision and longitudinal profile development over geologic time scales determined by fluvial terraces. In: TINKLER, K. & WOHL, E. E. (eds.). *Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels: Washington*: American Geophysical Union: Washington, DC, pp. 207–235.
- PETIT, G.; LUZUM, B. IERS (2010) Conventions, (eds.), IERS Technical Note n. 36, 179 pp., 2010.
- RÃDOANE, M.; RÃDOANE, N; DUMITRIU, D. (2003) Geomorphological evolution of river profiles in the Carpathians. *Geomorphology*, v.50, pp. 293-306.
- SHEPHERD, R.G. (1985) Regression analysis of river profiles. *J. Geology*, v.93, pp.377-384.
- SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; ROTUNNO FILHO, O. C.; COCHONNEAU, G.; MANSOUR, W. J. (2010). Water levels in the Amazon Basin derived from the ERS 2- ENVISAT radar altimetry missions. *Remote Sensing of Environment*. v. 114, pp. 2160-2181.
- VILLAR, J. C. E., RONCHAIL, J., GUYOT, J. L., COCHONNEAU, G., NAZIANO, F., LAVADO, W., OLIVEIRA, E., POMBOSA, R., VAUCHEL, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29(11), pp. 1574-1594.