

## Relação entre níveis de água de Altimetria Espacial e área inundada a partir de imagens SAR, em várzeas do rio Purus

João Paulo Lyra Fialho Brêda<sup>1</sup>  
Sly Wongchuig Correa<sup>1</sup>  
Rodrigo Cauduro Dias de Paiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/IPH  
Caixa Postal 15029 - 91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil  
joaopaulofb@gmail.com / xinox010@gmail.com / rodrigocdpaiva@gmail.com

**Abstract.** In situ data in large basins as the Amazon are usually difficult to acquire, mainly due to their extension and inaccessibility as well. To that end, remote sensing technologies that provide hydrology information have advanced in the last decades. Regarding altimetry, satellites as the ENVISAT has brought a broad database in water surface elevation of large surface water bodies. However, ENVISAT has a 35 day cycle and a relatively sparse “ground-track”, which limit the range of observations. In addition, the SAR technology is pointed as an interesting option for floodplain detection, which are important not only for the ecosystem but also for the hydrodynamics process of a large river basin as the Amazon. Considering that the floodplain area and the river surface water level are related, it is reasonable to assume that both kind of information could be combined to enlarge hydrologic database. Thus this study tested a level series obtained from floodplains classification of the ALOS PALSAR ScanSAR sensor images at the Purus Basin. The results indicate that the water level estimated from an exponential regression of the floodplain area percentage resulted in a high correlation (0,967) with the in situ level station. Although the ENVISAT levels absolute mean error is 5,5 times lower than the levels fitted by floodplain area percentage, this paper has shown that the combination of both series improved surface water level estimation.

**Palavras-chave:** ENVISAT, ALOS PALSAR, floodplains, altimetry, planícies de inundação, altimetria, Purus

### 1. Introdução

Cada ano o rio Amazonas experimenta cheias sazonais que transformam as planícies de inundação em ambientes aquáticos temporários, estas planícies são definidas como áreas periodicamente inundadas produto do fluxo lateral dos rios ou lagos e/ou diretamente por causa da precipitação ou água subterrânea (Junk et al., 1989), e que durante a época de cheias compõem uma planície aluvial que pode atingir uma área extensa com um sistema complexo de canais, lagos e ilhas (Sioli, 1984). As planícies de inundação influenciam nos processos hidrodinâmicos dos rios, e se torna de grande importância entender os processos de intercâmbio do volume de água entre as planícies de inundação e o rio principal (Lee et al., 2014), uma vez que as planícies de inundação servem de amortecedores contra os efeitos das cheias e secas extremas (Arnesen et al., 2013).

Por outra parte, o monitoramento hidrológico de maneira tradicional (in situ) em áreas extensas e de difícil acesso como a bacia Amazônica implica em altos custos. Desta maneira, técnicas de sensoriamento remoto têm sido desenvolvidas nos últimos anos no intuito de aumentar a disponibilidade de informações hidrológicas em grandes bacias.

Dentre os avanços em sensoriamento remoto está a tecnologia Synthetic Aperture Radar (SAR) para a detecção de extensões de superfície d'água, e que possui como principal vantagem a não dependência das condições tanto atmosféricas como de iluminação, assim como a capacidade de capturar áreas inundadas embaixo da vegetação (Woodhouse, 2006). O uso da tecnologia SAR em aplicações práticas, tem sido usado nos campos da ecologia, monitoramento de gelo, mineração, monitoramento de poluição, oceanografia, monitoramento de neve, dentre outros (Chan e Koo, 2008). Por exemplo, Hess et al. (2003) produziram mapas de classificação da vegetação e áreas inundáveis para os períodos de seca e período úmido, na região central da bacia do rio Amazonas e Rosenqvist (2008), cuja classificação de

sazonal de floresta inundada e não inundada no rio Congo usando o ScanSAR ALOS PALSAR, tinha como foco melhorar o entendimento da magnitude e variabilidade das emissões dos gases de efeito estufa produzidas pela vegetação inundada. De maneira similar, Arnesen et al. (2013) e Lee et al. (2014) monitoraram extensões de água inundável em planícies de inundação e mudanças de armazenamento de água, na Amazônia e no Congo respectivamente.

Por outro lado, a altimetria espacial tem se apresentado também como uma alternativa para compensar ou completar as escassas informações de observações in situ. Assim, devido ao grande avanço nos últimos anos na precisão dos diferentes sensores tanto de tecnologia de radar como a laser, o campo da hidrologia visionou um potencial uso da informação de dados de altimetria de satélite para complementar os dados in situ e usa-los, por exemplo, em modelos hidrodinâmicos.

Desta forma no presente estudo serão usados os dados do sensor PALSAR, desenvolvido pela Agência Aeroespacial de Exploração do Japão (JAXA) e a Organização de Sistemas de Observação de Recursos do Japão (JAROS) (Rosenqvist et al., 2004), levado a bordo do satélite Advanced Land Observation Satellite (ALOS) (Shimada, 2008), assim como dados de altimetria por radar do satélite ENVISAT com o principal objetivo de estabelecer uma correlação entre estas duas fontes num trecho da planície de inundação no rio Purus e desta maneira poder estender registros de altimetria tanto in situ como de satélite a partir destas relações entre áreas inundáveis com níveis d'água. Finalmente estudos para entender o comportamento hidrodinâmico entre as planícies de inundação e o rio principal, usando o produto ALOS PALSAR, tornam-se uma linha interessante de avaliações científicas, e as que serão objeto de estudo do presente trabalho.

## 1. Área de estudo

A área de estudo situa-se na bacia do rio Purus a qual possui uma área de drenagem de 63.166 km<sup>2</sup> e vazão média de 11.000 m<sup>3</sup>/s (Gonçalves et al., 2013). A análise foi realizada para uma área de aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>, localizada a jusante do rio Purus, próximo da localidade de Tapauá, aproximadamente a uns 150 km da confluência com o rio Solimões.

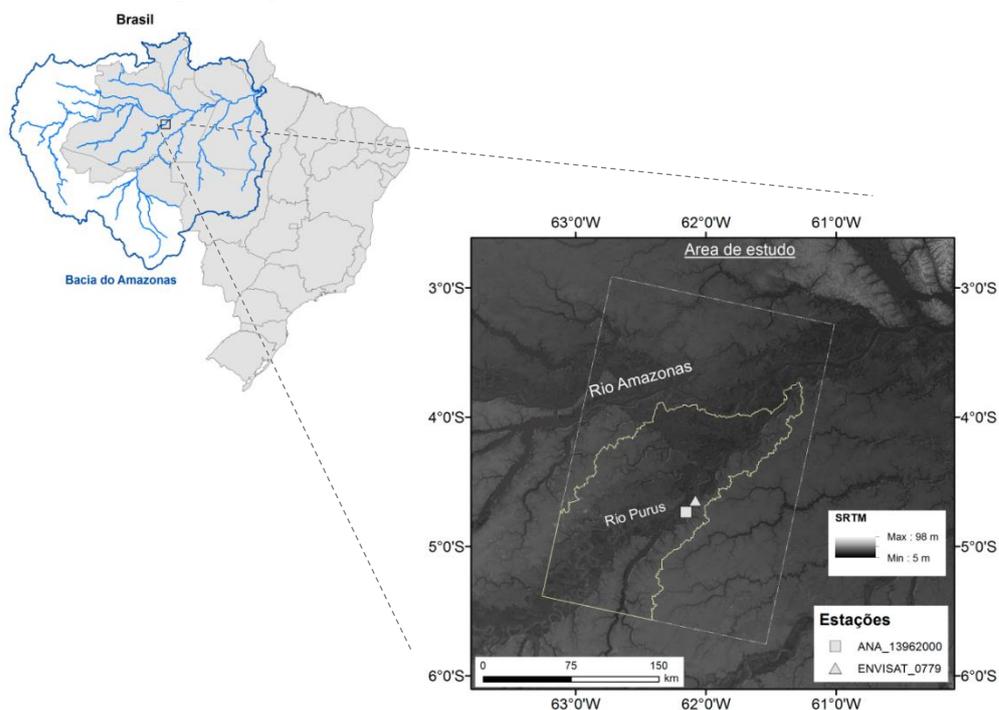


Figura 1. Localização da área de estudo, na jusante do rio Purus, na bacia do rio Amazonas.

A bacia do rio Purus abrange aproximadamente um 5% em área em relação a bacia do Amazonas, assim também é o segundo maior tributário ao rio principal (Amazonas) dos afluentes chamados de “white-waters” caracterizados pela alta carga de sedimentos em suspensão e que contribuem na formação das várzeas (Melack e Hess, 2010).

## 2. Material e métodos

Esse estudo utilizou imagens ScanSAR, de polarização HH, geradas pelo sensor PALSAR que está a bordo do satélite ALOS, este sensor possui uma repetição dos ciclos ou resolução temporal de 46 dias, e utiliza a banda L que atua numa frequência de 1270 MHz e tem por características atravessar a vegetação. Esse tipo de imagem apresenta a vantagem de abranger uma área maior, possibilitando a aquisição de dados com maior frequência. O produto ScanSAR, é a composição de cinco franjas (swath), que abrangem finalmente uma largura da imagem de aproximadamente 350 km e uma resolução espacial de 100 metros.

Foram adquiridas as 32 imagens ScanSAR L1.5 que continham a área de estudo, distribuídas entre novembro de 2006 e março de 2011. Essas imagens estavam disponibilizadas através do Alaska Satellite Facility (<https://www.asf.alaska.edu/>), que é um centro de distribuição de dados de sensoriamento remoto da NASA.

Tabela 1. Data de aquisição das imagens ALOS PALSAR ScanSAR.

4 novembro 2006	23 outubro 2008	24 fevereiro 2010
3 dezembro 2006	9 novembro 2008	1 março 2010
22 março 2007	25 dezembro 2008	30 março 2010
7 maio 2007	11 janeiro 2009	1 junho 2010
22 junho 2007	27 março 2009	30 junho 2010
7 agosto 2007	12 maio 2009	1 setembro 2010
22 setembro 2007	27 junho 2009	30 setembro 2010
7 novembro 2007	29 agosto 2009	2 dezembro 2010
9 maio 2008	27 setembro 2009	31 dezembro 2010
9 agosto 2008	29 novembro 2009	4 março 2011
11 outubro 2008	28 dezembro 2009	

As informações físicas das imagens foram extraídas após uma curta sequência de processos. No intuito de eliminar os ruídos, foi aplicado um filtro de mediana 3 x 3 (figura 2). Com a aplicação desse filtro a imagem aparentou mais "suavizada". Em seguida, os valores de retroespalhamento ( $\sigma_0$ ) foram calculados através da fórmula (ALOS PALSAR, 2008):

$$\sigma_0 = 10 \cdot \log_{10}[\text{DN}^2] + \text{CF}_1 \quad (1)$$

Em que DN é o “Digital Number” atribuído ao valor do pixel e  $\text{CF}_1$  é uma constante cujo valor para produtos L1.5 é -83,00.

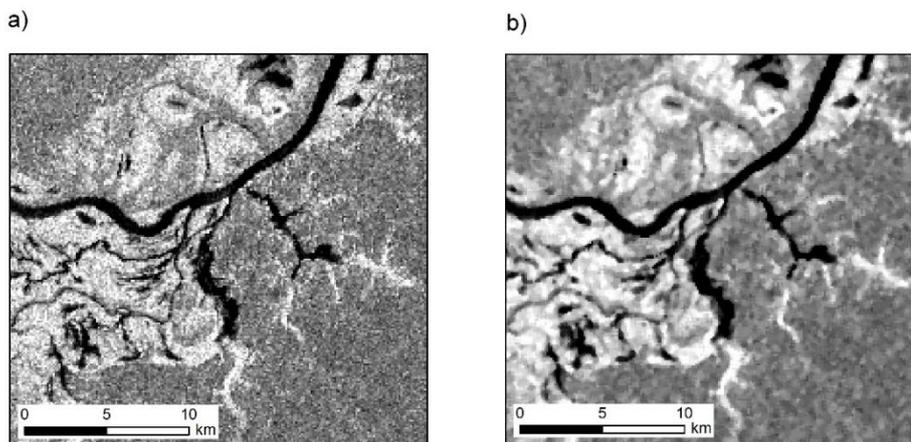


Figura 2. Eliminação de ruído por filtro 3x3 da mediana, a) Imagem original, b) Imagem corrigida.

Com os valores de retroespalhamento associados a cada pixel foi possível fazer a classificação das imagens tomando como base os limiares propostos por Hess et al (2003) e Lee et al (2014). Assumiu-se que:

- i. as áreas inundadas sem vegetação correspondiam a regiões em que o  $\sigma_0 < -14$  dB;
- ii. as áreas inundadas com floresta, o valor de  $\sigma_0 > -6$  dB e
- iii. as áreas não inundadas,  $-14 \text{ dB} \leq \sigma_0 \leq -6$  dB.

Observa-se na figura 3 a classificação para os períodos úmido e seco em cada ano (2007 até 2010). Dessa forma, a porcentagem de área inundada em cada imagem pôde ser determinada.

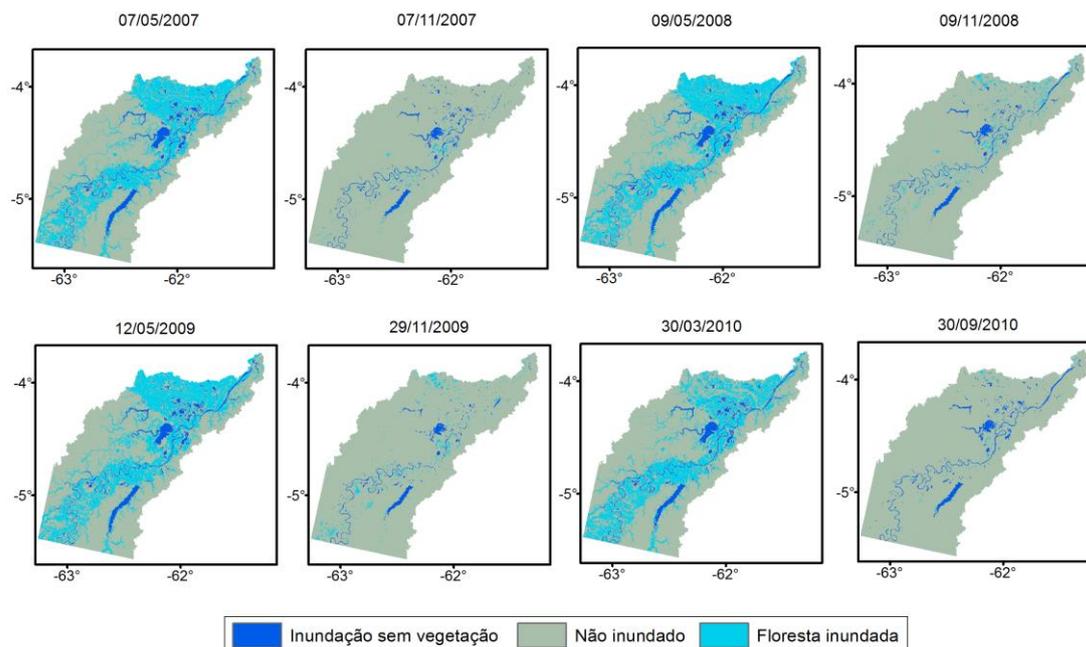


Figura 3. Mapas da extensão de áreas inundadas classificadas como: Inundado sem vegetação, não inundado e floresta inundada para os períodos úmido e seco entre os anos 2007 e 2010.

Os dados de nível por radar são referentes a uma estação virtual cujo baricentro está na coordenada 4° 38' 45" S e 62° 04' 44" O (figura 1). A estação virtual, chamada de "Arumã - Jusante" foi desenvolvida com dados de altimetria do satélite ENVISAT pelo *Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales* (LEGOS), organizados utilizando o software VALS (Cochonneau e Calmant, 2011). Para essa estação foram utilizadas 73 medições, entre janeiro de 2003 e outubro de 2010. Os níveis em situ foram obtidos por uma estação da Agência Nacional de Águas (ANA), cujo número de identificação é 13962000 e sua coordenada é 4° 44' 04" S 62°09'02" O (figura 1).

### 3. Resultados

Observa-se na figura 4 a comparação entre a porcentagem de área inundada estimada por uma classificação de imagens do ALOS PALSAR e os níveis observados do rio. É possível notar que existe uma alta correlação entre estes dados (tabela 2), pois a porcentagem de área inundada acompanha as variações do nível do rio. O mesmo se observa em relação aos níveis registrados pela estação virtual.

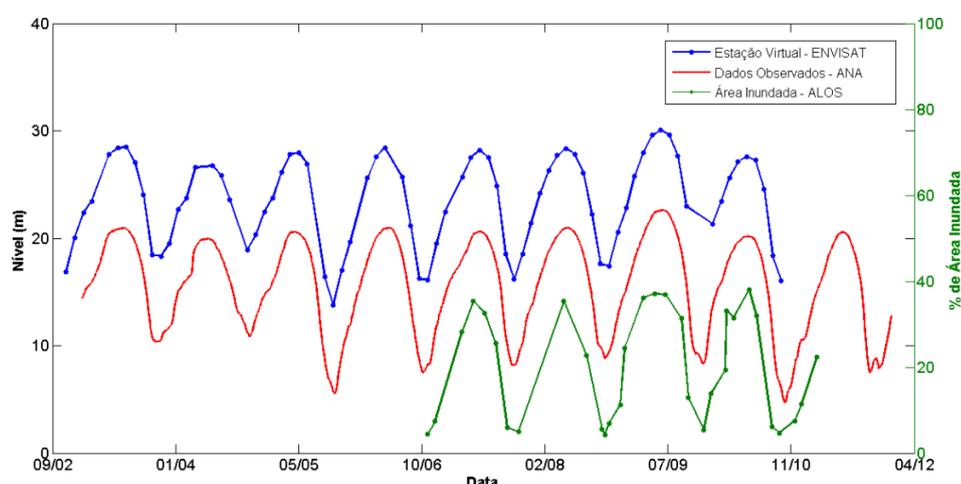


Figura 4. Série temporal de % de área inundada, níveis do ENVISAT e dados in situ

Na tentativa de estimar o nível (H) do rio principal com a fração de área inundada (A), foi realizada uma regressão potencial entre os 16 primeiros dados da série do ALOS PALSAR com os níveis observados na estação da ANA, que resultou na seguinte equação:

$$H(m) = 30,728 \cdot A^{0,407} \quad (2)$$

Essa equação apresentou um erro absoluto médio de 0,552 m nos 16 primeiros termos e de 0,939 m em toda a série de imagens do ALOS PALSAR (figura 5). Dessa forma, podemos afirmar que essa equação conseguiu representar bem os dados avaliados devido ao alto grau de correlação, e então seria possível estender a série de níveis a partir de imagens ALOS PALSAR, observando os erros associados.

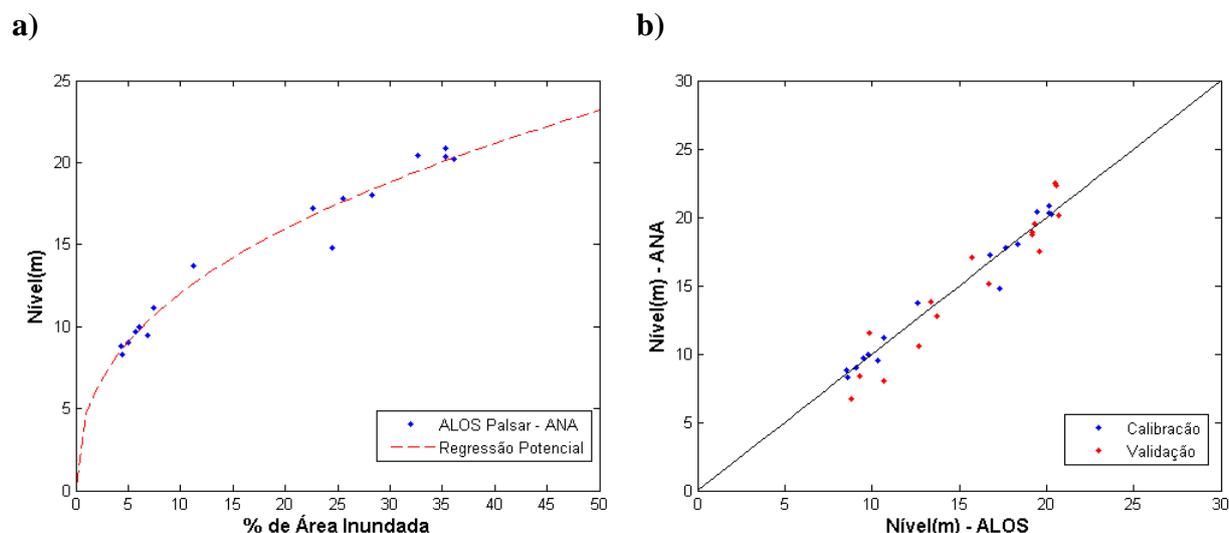


Figura 5. a) Equação de regressão potencial % área inundada com níveis observados.  
b) Correlação linear entre níveis calculados pela % de área inundada e dados observados

Assumindo que os dados da estação de nível da ANA estão corretos, o erro absoluto médio das alturas estimadas pela classificação das imagens do ALOS PALSAR foi relativamente pequeno (tabela 2) observando a amplitude dos níveis (de 10 a 15 m). Entretanto se compararmos com o erro da estação virtual, percebemos que a altimetria espacial é bem mais precisa que a relação obtida por fração de área inundada.

Tabela 2. Correlações com o nível observado in situ (ANA).

Base de dados	Coefficiente de correlação	Erro Absoluto Médio (m)
ALOS (% Área)	0.967	----
ALOS Nível (16 imagens) - (m)	0.985	0.552
ALOS Nível (32 imagens) - (m)	0.970	0.939
ENVISAT Nível (m)	0.998	0.172
Int. - ENVISAT (m)	0.966	0.588
Int. - ENVISAT + ALOS (m)	0.991	0.464

No entanto o uso das duas informações em conjunto pode trazer um ganho na estimativa de níveis. A figura 6 expõe uma interpolação linear para preencher os dados diários usando apenas as medições da estação virtual (ENVISAT) e uma outra utilizando os dados da estação virtual intercalados pela informação obtida pelas imagens do ALOS PALSAR, sendo ambas interpolações avaliada apenas no período em que houve informações simultâneas (entre Set/06 e Out/10). Observa-se que os níveis obtidos pelas imagens do ALOS PALSAR tiveram um papel importante na interpolação dos dados da estação de altimetria para que alguns níveis mínimos não fossem ignorados (Out/08 e Nov/09). Entretanto a interpolação considerando os dados da estação virtual e de altimetria apresentou um comportamento oscilatório (Abr/07 e Jun/09) os quais poderiam ser atenuados mediante técnicas como a assimilação de dados. Observa-se na Tabela 2 que ao combinar as informações tanto o coeficiente de correlação aumentou (de 0,966 a 0,991) quanto o erro absoluto médio diminuiu (de 0,588 a 0,464).

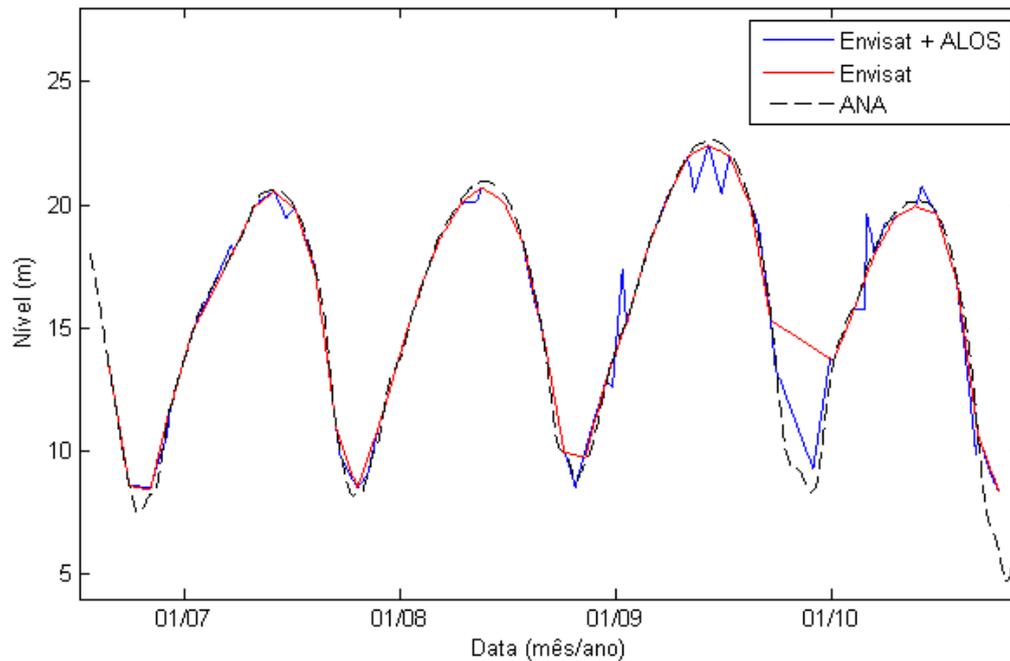


Figura 6. Série temporal obtida pela interpolação dos dados da estação virtual do ENVISAT e da combinação entre os níveis do ENVISAT e ajustados pelo % de área inundada.

#### 4. Conclusões e recomendações

Foi observado que, quando existir medições in situ suficientes para relacionar dados de porcentagem de área inundada nas várzeas com o nível do rio, a informação gerada pode ser útil, seja para estender a série ou preencher falhas.

Na ausência de dados de altimetria espacial e/ou in situ, os níveis estimados pela porcentagem de áreas inundadas trazem uma informação que ainda pode ser usada, observando que os erros são razoáveis.

Seria importante validar esta metodologia através da avaliação da mesma em outra área de estudo que implique planícies de inundação.

Modelos Digital de Elevação (MDE) e/ou perfis de altimetria laser (ex. IceSAT) poderiam ser utilizados para estabelecer uma correlação da topografia com as áreas inundáveis.

Através das equações de correlação desenvolvidas na metodologia deste trabalho, a porcentagem de áreas inundáveis em planícies de inundação poderia ser estimada a partir de níveis de dados in situ, altimetria espacial ou MDE.

Considerando que existem regiões onde não há medições in situ, seria importante desenvolver uma metodologia para relacionar dados de altimetria espacial com as imagens do ALOS PALSAR e o atual ALOS 2, observando que há um desfase temporal na órbita dos diferentes satélites.

No momento de interpolar dados de uma estação virtual intercalados por níveis estimados através do percentual de área inundada seria importante considerar os erros associados a cada método, e usar uma técnica mais apropriada como assimilação de dados.

Estudar o comportamento das várzeas em relação ao rio principal, seja no descenso (secas) ou no aumento (cheias) dos níveis, observado a histerese existente entre os níveis das várzeas com os do rio principal.

## Referências

- Arnesen, A.S.; Silva, T.S.F.; Hess, L. L.; Novo, E.M.L.M.; Rudorff, C.M.; Chapman, B.D.; McDonald, K.C. Monitoring flood extent in the lower Amazon River floodplain using ALOS/PALSAR ScanSAR images. **Remote Sensing of Environment**, vol. 130, p. 51–61, 2013.
- Chan, Y.L.; Koo, V.C.; An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR). **Progress in Electromagnetics Research B**, vol. 2, p. 27-60, 2008.
- Gonçalves de Freitas, L.; Santos da Silva, J.; Calmant, S.; Seyler, F. 2013. Aplicações da altimetria espacial para monitoramento hidrológico da bacia do rio Purus. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- Hess, L.L.; Melack, J.M.; Novo, E.M.L.M.; Barbosa, C.C.F., Gastil, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. **Remote Sensing of Environment**, vol. 87, n. 4, p. 404–428, 2013.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: D. P. Dodge (ed.). **Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**. vol. 106, p. 110–127, 1989.
- Lee, H.; Jung, H.C.; Yuan, T.; Beighley, R.E.; Duan, J. Controls of Terrestrial Water Storage Changes Over the Central Congo Basin Determined by Integrating PALSAR ScanSAR, Envisat Altimetry, and GRACE Data, in V. Lakshmi (Ed.), **Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle**, Geophysical Monograph 206, First Edition, p. 115-129, 2014. American Geophysical Union, John Wiley & Sons, Inc.
- Melack, M.J. e Hess, L.L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. Schöngart, and P. Parolin (Eds.). **Central Amazonian floodplain forests: Ecophysiology, biodiversity and sustainable management**, p. 43–59, 2010. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany/New York.
- Rosenqvist, A.; Shimada, M.; Watanabe, M. ALOS PALSAR: Technical outline and mission concepts, **Anais 4th International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications**, Innsbruck, Austria, p. 1-7, 2004.
- Rosenqvist, A. Mapping of seasonal inundation in the Congo river basin using PALSAR ScanSAR, **Anais ALOS PI Symposium**, Rhodes, Greece, Nov. 3–7, 2008.
- Shimada, M. PALSAR ScanSAR Interferometry, **IGARSS 2008**, Boston, p. 6–11, 2008.
- Sioli H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, vol. 56, p. 800, 1984.
- VALS, 2011, 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)>.
- Woodhouse, C.A.; Gray, S.T.; Meko, D.M. Updated streamflow reconstructions for the Upper Colorado River Basin. **Water Resource Research**, vol. 42, n. 5, 2006.