

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **LEVANTAMENTO DE ÁREAS DE FLORESTAS INUNDÁVEIS NA BACIA AMAZÔNICA ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ALOS/PALSAR-2**

*Eduardo Nascimento Manara<sup>1</sup>; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva<sup>1</sup> & Anderson Ruhoff<sup>1</sup>*

#### **RESUMO**

Os pulsos de inundações na Amazônia são a principal forçante ecológica das áreas de várzeas, controlando a ocorrência e distribuição de plantas e animais, processos de produção primária e secundária, a decomposição e o ciclo de nutrientes na água e no solo. Neste sentido abordagens utilizando radares de aberturas sintéticas (SAR's) têm apresentado grandes avanços na aquisição de dados de inundações de áreas de várzea da bacia amazônica. Este trabalho objetivou fazer a utilização de dados polarizados de imagens ALOS/PALSAR-2 para reconhecimento das áreas de florestas inundáveis, no âmbito da região amazônica. Vale ressaltar que os dados analisados não passaram por nenhum tipo de validação com relação à extensão de áreas inundáveis geradas, pois trata-se de uma abordagem preliminar que busca, através de produtos de sensoriamento remoto reconhecer diferentes aspectos das regiões de várzea da bacia Amazônica. No geral, foi possível reconhecer a extensão espacial atingida pelas áreas de florestas inundáveis na bacia amazônica, sendo estas, áreas muito expressivas com relação ao tamanho da bacia e apresentando extensões muito maiores do que as próprias áreas abertas de várzeas, principalmente nas regiões à montante do encontro dos rios Negro e Solimões e no delta do rio Amazonas. Não foram realizadas investigações sobre a dinâmica temporal de inundações nessas regiões, sendo este um dado interessante a ser investigado futuramente para melhoramento do reconhecimento da hidrodinâmica de áreas inundáveis na bacia amazônica.

**Palavras-Chave** – Bacia Amazônica, Áreas Inundáveis, ALOS/PALSAR-2.

#### **INTRODUÇÃO**

A bacia Amazônica é a maior bacia de drenagem do mundo ocupando uma área de aproximadamente 6.869.000 km<sup>2</sup> (NEILL, *et al.* 2006). Ao longo do Rio Amazonas, e da maioria de seus afluentes, há altos índices de precipitação anual distribuídos entre períodos chuvosos e secos que levam a grandes oscilações nas vazões dos rios da Amazônia, resultando em extensas áreas inundáveis sazonalmente. Além disso grande parte da bacia Amazônica é relativamente plana o que faz com que haja uma lenta drenagem do excesso de água da chuva, fazendo com que muitas áreas interfluviais se tornem inundáveis (JUNK *et al.*, 2011).

Os pulsos de inundações na Amazônia são a principal forçante ecológica das áreas de várzeas, controlando a ocorrência e distribuição de plantas e animais, processos de produção primária e secundária, a decomposição e o ciclo de nutrientes na água e no solo. Associados às características

---

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500 – Agronomia, Porto Alegre/ RS, CEP 91501-970

geomorfológicas, as inundações também diretamente relacionadas aos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos (JUNK, 1997; IRION *et al.*, 1997).

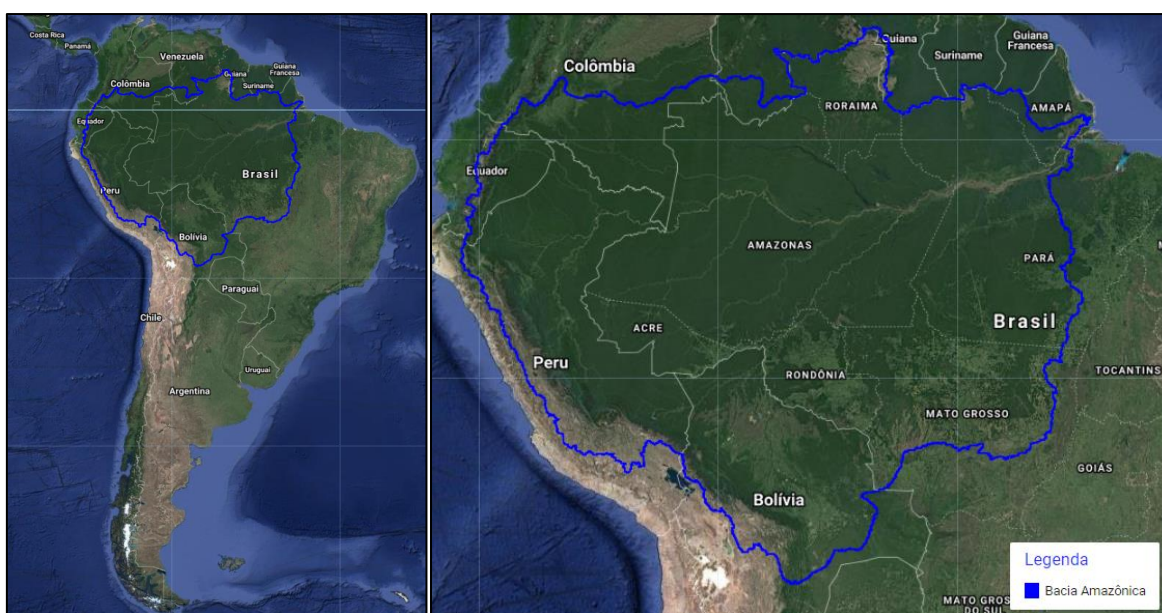
A determinação da distribuição espacial e temporal das inundações na região amazônica é facilitada com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, entretanto, os satélites ópticos são limitados devido à intensa cobertura de nuvens na região (COSTA, 2004). Neste sentido abordagens utilizando radares de aberturas sintéticas (SAR's) têm apresentado grandes avanços na aquisição de dados de inundações sobre a copa das áreas e aquisição de imagens mesmo em períodos nublados (HENDERSON & LEWIS, 2008). Recentemente, a combinação de novos métodos de processamento e análises de imagens, fornecidas pela nova safra de sistemas SAR's (ALOS/PALSAR, Radarsat-2, Terra-SAR-X e Cosmo/Skymed) tem fornecido o reconhecimento de propriedades da vegetação em processos hidrológicos nas planícies de inundação amazônica em escala da paisagem (SILVA *et al.*, 2013; SARTORI, *et al.*, 2011).

Neste sentido, este trabalho visa fazer a utilização de dados polarizados de imagens ALOS/PALSAR para reconhecimento das áreas de florestas inundáveis, no âmbito da região amazônica.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia Amazônica (Figura 1) abrange a maior região hidrográfica da terra, drenando uma área superficial de cerca de 6 milhões de quilômetros quadrados que constituem cerca de 5% da superfície terrestre. O rio Amazonas, e seus tributários, são acompanhados ao longo da região central e inferior por grandes áreas de várzeas que cobrem cerca de 300 mil quilômetros quadrados (JUNK, 1997; MELACK & FISHER, 1990).

Figura 1 - Localização da Bacia Amazônica.

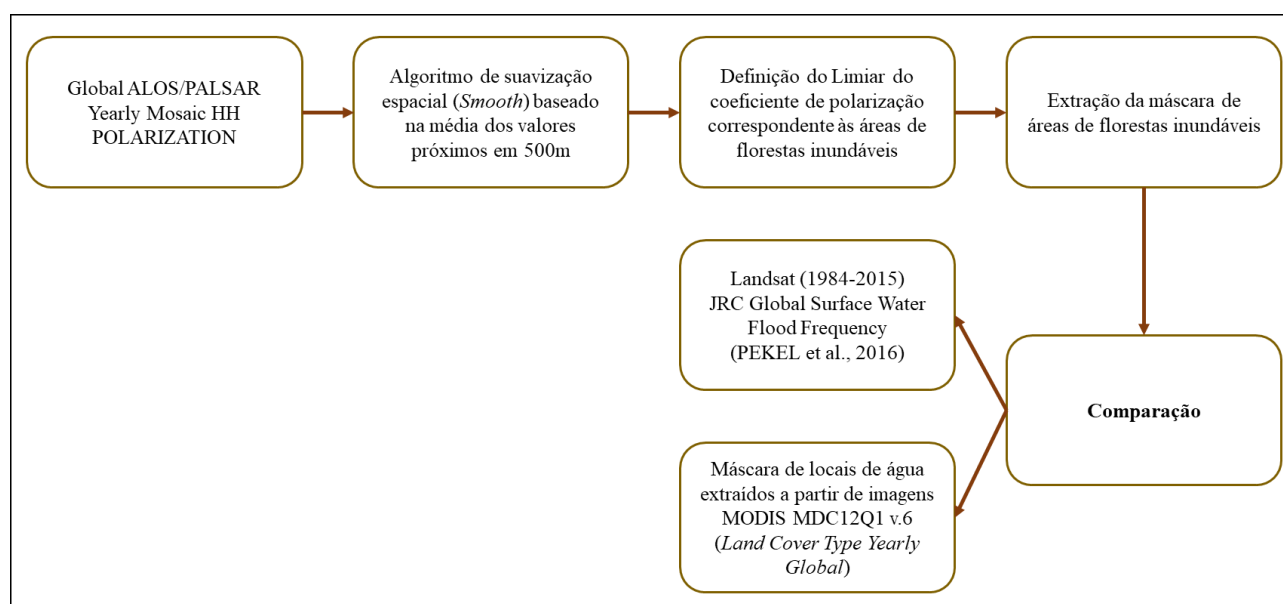


## METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste no uso de produtos de sensoriamento remoto de radares SAR's para obtenção e reconhecimento de áreas de florestas inundáveis na bacia amazônica. A Figura 2 apresenta um fluxograma dos dados e processamentos empregados. Após se encontram descrições detalhadas sobre cada passo do estudo realizado.

Para fins de processamento todos os dados foram gerados e extraídos através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE – GORELICK *et al.*, 2016), que consiste em um ambiente de processamento em nuvem que contém bancos de dados globais, no qual estão catalogados grande parte dos produtos de sensoriamento remoto disponíveis gratuitamente.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia de trabalho.



As análises foram realizadas a partir de dados globais anuais de mosaicos de imagens SAR's do ALOS/PALSAR-2 (SHIMADA *et al.*, 2014) respectivos à banda HH de polarização, que apresenta a maior resposta de sinal vinculada às áreas inundáveis abaixo da copa das árvores.

Os dados passaram por um algoritmo de suavização espacial (Smooth) baseado nos valores médios dos pixels próximos em um raio de 500 metros, a fim de minimizar erros pontuais na aquisição da máscara de áreas de floresta inundáveis na bacia amazônica. Posteriormente, foi definido um limiar representativo ao número digital (7200), de resposta do radar para definição de áreas de florestas alagadas. Todos os valores superiores ao limiar foram considerados como região de floresta inundada.

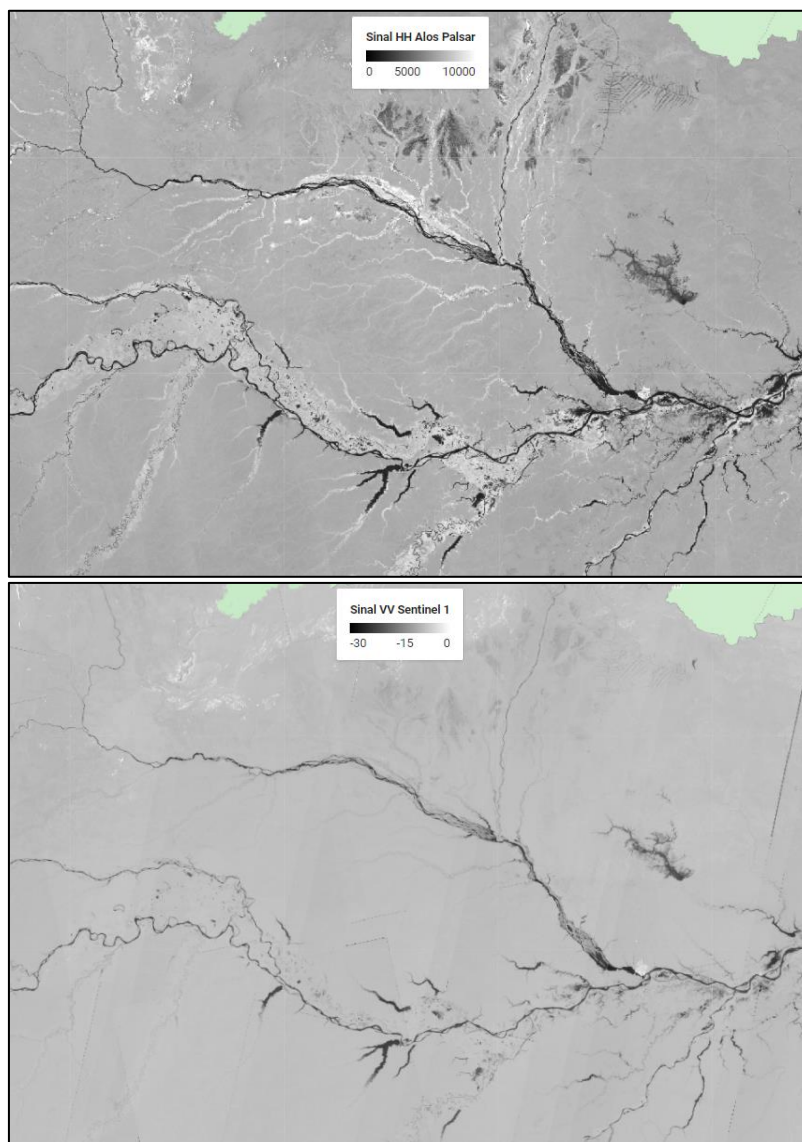
Por fim, a fim de avaliar a magnitudes dessas regiões na bacia amazônica, os dados foram comparados com dados de extensão de áreas de várzea do Rio Amazonas de dois diferentes produtos: *JRC Global Surface Water Flood Frequency* (PEKEL *et al.*, 2016) e os dados de cobertura da terra MODIS MDC12Q1 versão 6 (SULLA-MENASHE & FRIEDL, 2018).

O produto JRC contém mapas de localização e distribuição temporal das águas superficiais de 1984 a 2015 obtidos através de séries história de imagens LANDSAT e fornece estatísticas sobre a extensão e mudanças das superfícies aquáticas ao longo do globo terrestre (PEKEL *et al.*, 2016).

O Produto do Tipo de Cobertura do Solo MODIS (MCD12Q1) fornece mapas globais de cobertura do solo no período anual com resolução espacial de 500 m desde 2001 até o presente. Os mapas foram criados a partir de classificações de feições espectro-temporais derivadas de dados Espectro radiômetros de resolução de imagens (MODIS) (SULLA-MENASHE & FRIEDL, 2018).

À título de visualização, a Figura 3 apresenta um comparativo entre o sinal obtido através dos dados de mosaico ALOS/PALSAR-2, sensor de polarização HH, com dados médios de polarização VV do radar SENTINEL-1, onde é possível reconhecer o sinal de áreas inundáveis abaixo da copa das arvores somente nos dados ALOS/PALSAR-2.

Figura 3 - Comparação entre um mosaico de imagens SAR's ALOS/PALSAR e SENTINEL-1.





## RESULTADOS

A partir da metodologia empregada, os principais resultados são apresentados de acordo com o que segue:

- A Figura 4 apresenta a máscara de áreas de florestas inundáveis, obtidas através da metodologia descrita, compreendendo, dentre as 3 imagens, a maior parte do rio Amazonas e seus tributários, a região a montante do encontro entre os rios Negro e Solimões e a região do delta do rio Amazonas. partir dos resultados é possível compreender que estas áreas a grande extensão de áreas inundáveis na bacia.
- A Figura 5 apresenta um comparativo entre a máscara de áreas de florestas inundáveis gerada e os dados do produto MODIS de cobertura do solo referente às áreas de várzeas de inundação da bacia do rio Amazonas, para a região à montante do encontro entre os rios Negro e Solimões, e para uma região à montante no rio Negro próxima ao encontro com o rio Branco.
- A Figura 6 apresenta um comparativo entre a máscara de áreas de florestas inundáveis gerada e os dados JRC referentes aos locais de ocorrência de inundações na bacia do rio Amazonas, em uma região próxima ao encontro do rio Solimões com o rio Purus.

Analisando as comparações realizadas, é possível inferir que a extensão das áreas de florestas inundáveis na região Amazônica é de grande expressão, atingindo boa parte da extensão total da bacia e apresentando áreas, principalmente à montante do encontro dos rios Negro e Solimões, muito mais significativas do que as áreas abertas inundáveis de várzeas.

Figura 4 - Máscara de áreas de floresta inundáveis para a bacia amazônica: grande extensão do rio Amazonas e seus tributários, extensão à montante do encontro entre os rios Negro e Solimões e delta do Rio Amazonas.

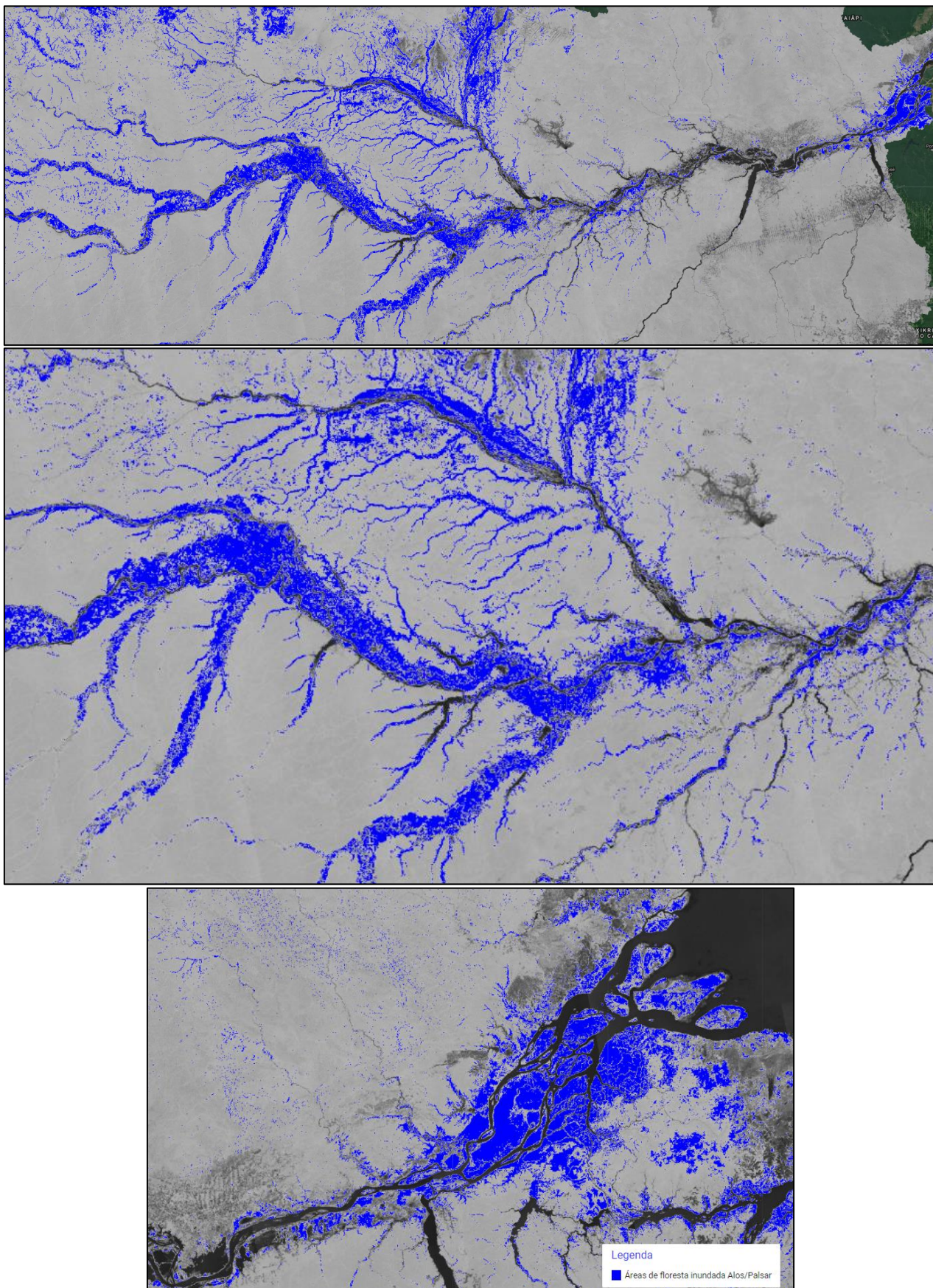




Figura 5 - Comparação entre as áreas de florestas inundáveis e as áreas de várzea inundáveis do produto MODIS de cobertura do solo.

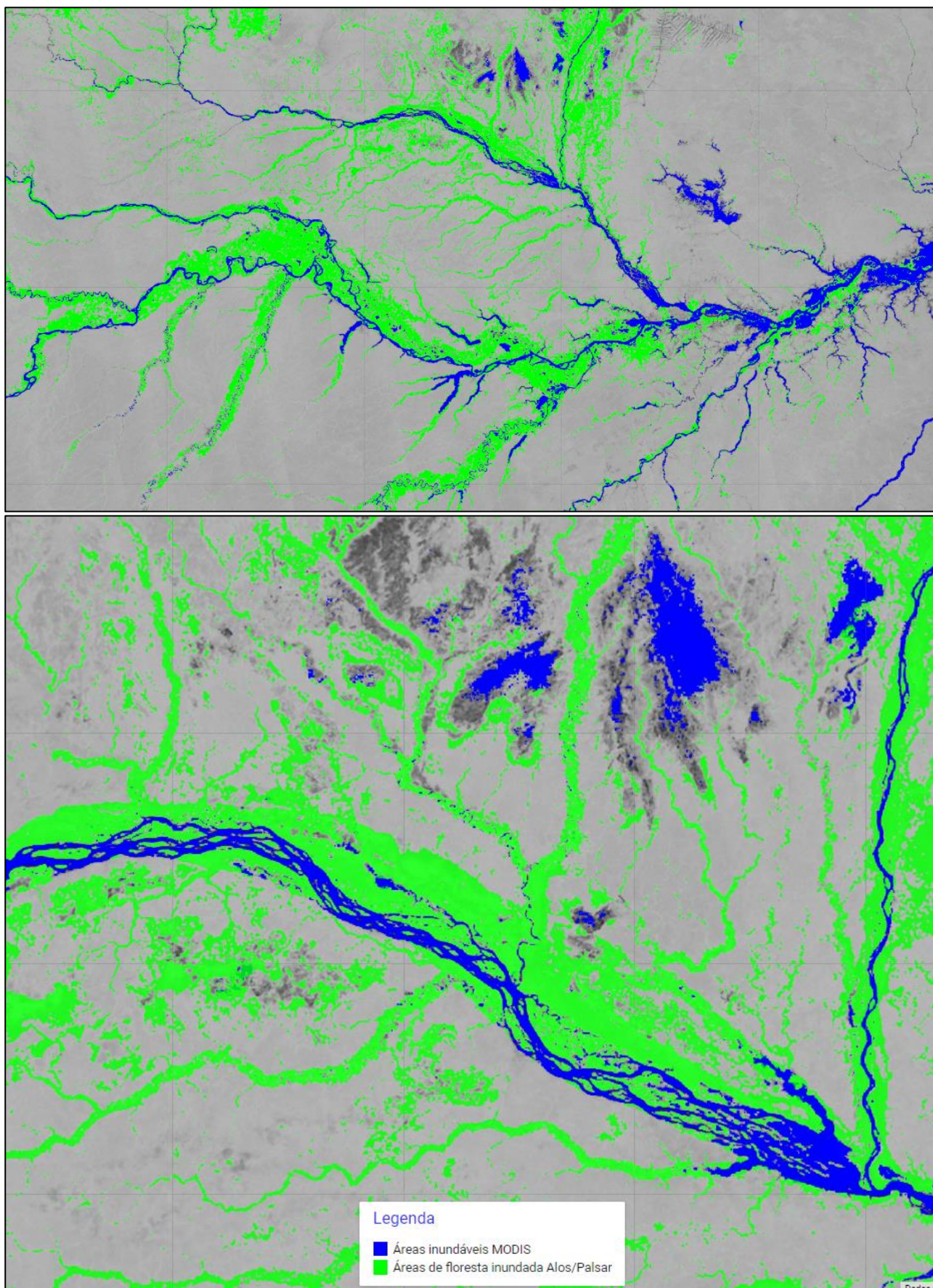
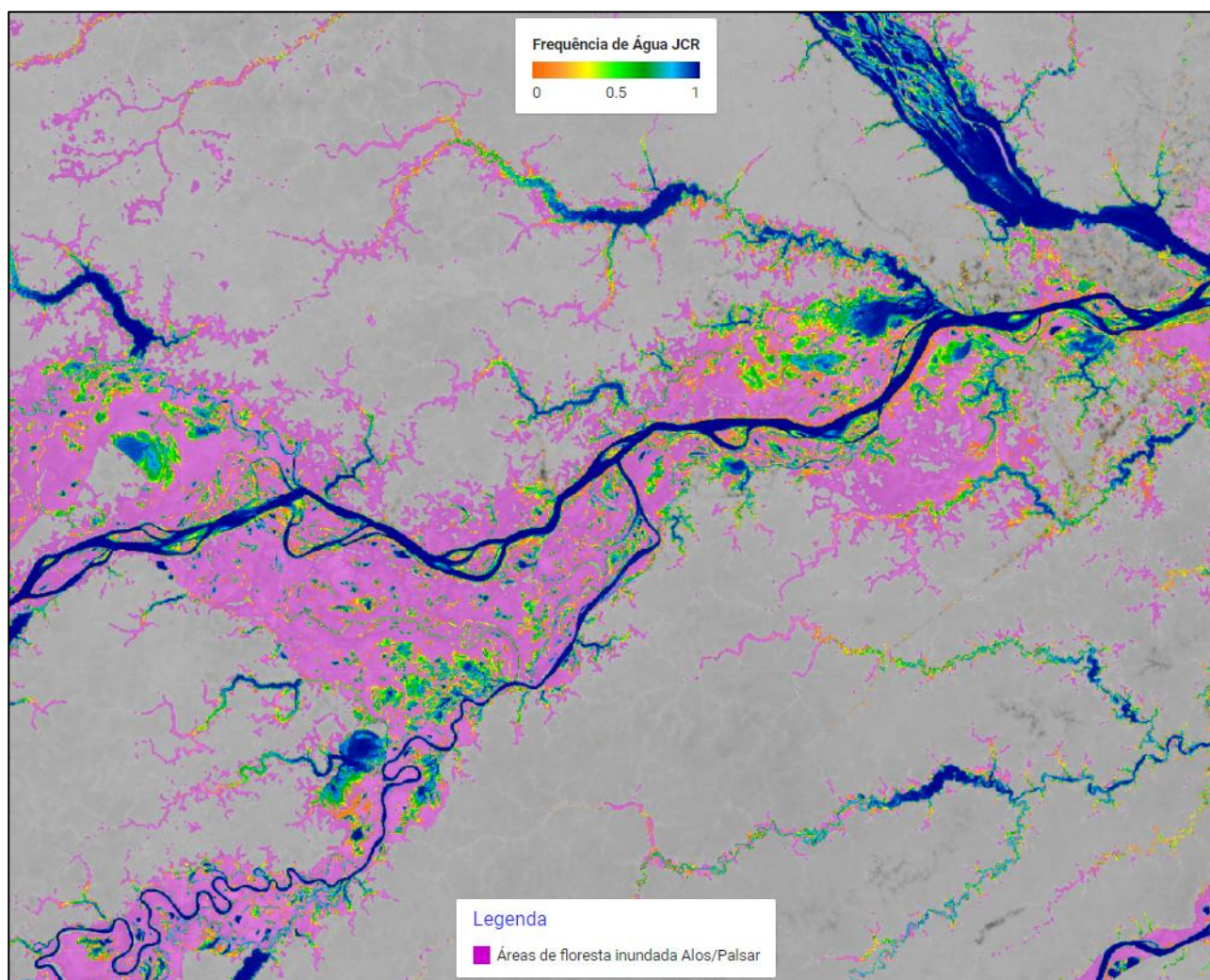




Figura 6 - Comparação entre as áreas de florestas inundáveis e as áreas de frequência de inundação JRC.



## CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo reconhecer a extensão espacial do complexo sistemas de planícies de inundação da bacia amazônica, com enfoque no reconhecimento de áreas de florestas inundáveis na região. Para atingir o objetivo, foi realizado o processamento de um mosaico de imagens SAR's ALOS/PALSAR-2 a partir do qual é perceptível o aumento do sinal do radar em áreas inundadas abaixo da copa das árvores. Sendo assim foi definido um limiar de número digital dos dados polarizados a partir do qual foi considerado como área de floresta inundável para extração de uma máscara dessas áreas. Os dados foram comparados com produtos existentes relativos às extensões de áreas inundáveis de várzeas dos rios da Amazônia.

Vale ressaltar que os dados analisados não passaram por nenhum tipo de validação com relação à extensão de áreas inundáveis geradas, pois trata-se de uma abordagem preliminar que busca, através de produtos de sensoriamento remoto reconhecer diferentes aspectos das regiões de várzea da bacia Amazônica e expandindo o reconhecimento da delimitação de áreas inundáveis para regiões de florestas abaixo da copa das árvores, que são muito difíceis de serem mapeadas, inclusive por outros produtos de sensoriamento remoto.



Estas análises, mesmo de caráter preliminar, são de grande valia, pois representam esforços para uma melhor compreensão das reais extensões de áreas inundáveis de várzeas da bacia Amazônica, locais de grande extensão e difícil acesso, que inviabilizam o levantamento de dados medidos em campo, considerando a grande escala da bacia.

No geral, foi possível reconhecer a extensão espacial atingida pelas áreas de florestas inundáveis na bacia amazônica, sendo estas, áreas muito expressivas com relação ao tamanho da bacia e apresentando extensões muito maiores do que as próprias áreas abertas de várzeas, principalmente nas regiões à montante do encontro dos rios Negro e Solimões e no delta do rio Amazonas.

Por fim, não foram realizadas análises das séries históricas das imagens ALOS/PALSAR-2, com o intuito de investigar a dinâmica temporal dessas áreas inundáveis, sendo está uma forte indicação para trabalhos futuros que se destinem a investigar essa dinâmica e associá-la com estudos relativos à topobatimetrias de áreas de floresta inundáveis, bem como realizar análises mais aprofundadas no que diz respeito à validação das extensões de áreas levantadas.

## ROTINA DE DADOS GOOGLE EARTH ENGINE

A rotina completa contendo os dados gerados neste trabalho pode ser acessada através do link: <https://code.earthengine.google.com/69142a5053e905cc24910fba3c1d25b5>, a partir de prévio cadastro na plataforma *Google Earth Engine*.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, M. P. F. (2004). Use of SAR satellites for mapping zonation of vegetation communities in the Amazon floodplain. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 25(10):1817–1835
- GORELICK, N. et al. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. v. 202, p. 18–27.
- HENDERSON, F.; LEWIS, A. (2008). Radar detection of wetland ecosystems: a review. *Int J Remote Sens* 29:5809–5835
- IRION, G.; JUNK, W.J.; MELLO, J. A. (1997). The large central Amazonian river floodplains near Manaus: geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects. In: Junk WJ (ed) *Ecological studies*, vol 126., *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsating system* Springer-Verlag, Berlin, pp 23–46
- JUNK, W. J. (1997). The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsing system. *Ecological Studies*, vol. 126. Springer Verlag, Berlin, Germany. 525 pp.
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T.; SCHONGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J.; WITTMANN, F. (2011). A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. *Wetlands*. 31. 623-640. 10.1007/s13157-011-0190-7.

- MELACK, J. M.; FISCHER, T. R.; (1990). Comparative limnology of tropical floodplain lakes with an emphasis on the central Amazon. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3, 1 – 48.
- NEIL, C.; ELSENBEER, H.; Krusche, A. V.; Lehmann, J.; Markewitz; Figueiredo, R.de O. (2006). Hydrological and Biogeochemical Processes in a Changing Amazon: Results from small watershed studies and the Large-Scale Biosphere- Atmosphere Experiment. *Hydrological Processes*. 20, 2467-2477.
- PEKEL, J. F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. (2016). High resolution mapping of global surface water and its long term changes Nature 540 10 1038 /nature 20584
- Sartori, L, R; Imai, N, N; Mura, J, C; Novo, E, M, L, M; Silva, T, S, F. 2011. Mapping macrophyte species in the Amazon floodplain wetlands using fully polarimetric ALOS/PALSAR Data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 49:4717–4728
- SHIMADA, M.; ITOH, T.; MOTOOKA, T.; WATANABE, M.; TOMOHIRO, S.; THAPA, R.; LUCAS, R. (2014). New Global Forest/Non-forest Maps from ALOS PALSAR Data (2007-2010), *Remote Sensing of Environment*, 155, pp. 13-31.
- SILVA, T. S. F.; MELACK J, M.; NOVO, E. M. L. M. (2013). Responses of aquatic macrophyte cover and productivity to flooding variability on the Amazon floodplain. *Glob Change Biol* 19:3379–3389
- SULLA-MENASHE, D.; FRIEDL, M. A. (2018). *User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) product*. Collection 6.