


## MONITORAMENTO DE RECURSOS HIDRÍCOS POR ALTIMETRIA ESPACIAL

 <https://doi.org/10.56238/arev6n3-374>

**Data de submissão:** 29/10/2024

**Data de publicação:** 29/11/2024

**Joecila Santos da Silva**

Pós-Doutora em Ciências

Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

E-mail: [jsdsilva@uea.edu.br](mailto:jsdsilva@uea.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1005-5083>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/9251166206311892>

### RESUMO

Embora a maioria das missões espaciais aqui discutidas não tenham sido primariamente dedicadas à hidrologia, 31 anos de altimetria espacial forneceram dados complementares que podem ser usados para criar produtos hidrológicos para bacias hidrográficas, como séries temporais níveis de água, estimativas de vazões em rios, perfis longitudinais de altitude do leito do rio, cotas mínimas e máximas ou nivelamento de estações in situ. Os dados brutos ainda sofrem incertezas de vários decímetros. Hoje, as técnicas de altimetria estão evoluindo rapidamente. Uma direção é a mudança da banda do radar, de Ku para Ka. Outra mudança é a substituição do atual Modo LR pelos modos SAR ou Interferometria. Ambas as evoluções tendem a diminuir drasticamente a faixa imageada, reduzindo tanto a contaminação do eco pelo ambiente do corpo hídrico, quanto melhorando a precisão vertical. Por fim, a partir de 2015, as missões de pesquisa foram substituídas por operacionais, tornando mais certa a longevidade dos locais de amostragem. Todas as evoluções técnicas acima mencionadas foram agrupadas na missão SWOT, um altímetro interferométrico de banda Ka, a primeira missão de satélite realmente dedicada a fornecer cobertura total das águas continentais, lançada em dezembro de 2022.

**Palavras-chave:** Altimetria Espacial. Hidrometria. Monitoramento de Rios.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é a base da vida e o recurso natural mais precioso da Terra [1-3]. A cota ou nível fluvial é uma das grandezas hidrológicas que são consideradas rotineiramente quando se avalia necessidades básicas das sociedades por água doce. O monitoramento desta variável é realizado através de redes de estações hidrométricas organizadas a nível nacional. Este monitoramento requer que uma extensa rede seja mantida por períodos muito longos, com alto custo de instalação e manutenção [4]. O Portal HidroWeb integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), mantido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico do Brasil (ANA) oferece acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos [5]. Apesar desta enorme rede hidrometeorológica, a resolução espacial é limitada e a atualização da informação pode demorar 6 a 12 meses. Além disso, a bacia amazônica é uma bacia transfronteiriça. Consequentemente, o Brasil não pode decidir sobre o esquema de amostragem em toda a bacia qualquer que seja a sua necessidade de informação hidrológica, em particular nas partes andinas da bacia que pertencem a outros países.

Diversas iniciativas têm sido efetivadas em busca de avanços para prover informações hidrológicas em bacias sem monitoramento fluviométrico ou pouco monitoradas, como a intensificação da utilização de dados hidrológicos estimados a partir de sensores remotos, embarcados em satélites, uma vez que os mesmos fornecem uma resolução espacial e temporal aceitável, fornecendo uma visão sinóptica e multitemporal de áreas extensas com complexa variabilidade sazonal, de difícil acesso e infraestrutura limitada [6,7], sendo utilizadas em vários estudos dos processos hidrológicos, tais como: mapear a extensão e elevação dos corpos d'água e suas mudanças ao longo do tempo [8,9], armazenamento de água superficial [10-12], água subterrânea [13-17], precipitação [18,19], evapotranspiração [20] e gelo e neve [21-23].

Tabela 1 - Missões altimétricas.

Missão	Lançamento	Resolução temporal	Aplicação
GEOS-3	1975-1979	37 dias	Oceano
SEASAT	1978-1978	17 dias	Oceano
GEOSAT	1985-1990	17 dias	Oceano
ERS-1	1991-2000	35 dias	Observação da Terra
Topex/Poséidon	1992-2006	10 dias	Oceano
ERS-2	1995-2011	35 dias	Observação da Terra
GFO	1998-2008	17 dias	Oceano
Jason-1	2001-2013	10 dias	Oceano
ENVISAT	2002-2012	35 dias	Observação da Terra
Jason-2	2008-2019	10 dias	Oceano
Cryosat-2	2010-atual	369 d (30d cs)	Observação Polar

HY-2A	2011-2020	14 dias	Oceano
SARAL	2013-2016	35 dias	Oceano
Jason-3	2016-atual	10 dias	Oceano
Sentinel-3A	2016-atual	27 dias	Oceano
Sentinel-3B	2018-atual	27 dias	Oceano
HY-2B	2018-atual	14 dias	Oceano
HY-2C	2020-atual	14 dias	Oceano
HY-2D	2021-atual	14 dias	Oceano
Jason-CS/Sentinel-6A	2020-atual	10 dias	Oceano
SWOT	2022-atual	21 dias	Águas continentais
Jason-CS/Sentinel-6B	(2026)	10 dias	Oceano

Destaca-se aqui a altimetria radar por satélite ou altimetria espacial, como será abordada neste artigo, que fornece níveis de água medidos por satélites. A altimetria espacial é uma técnica de sensoriamento remoto cuja finalidade consiste em obter o nível superfície da lâmina de água (SLA) de um corpo hídrico. Radars a bordo de satélites emitem uma onda eletromagnética no nadir destes estimando a altura instantânea do corpo hídrico [24]. A altimetria espacial foi concebida e desenvolvida na década de 1970 para estudar a variabilidade espaço-temporal do nível dos oceanos (Tabela 1) e já é uma técnica robusta nesse domínio, coletando com precisão centimétrica a altura instantânea da superfície dos mares [25]. Desde o final da década de 1990, os dados das missões altimétricas vêm demonstrando uma grande contribuição no monitoramento do nível de águas continentais [26-29].

Hoje, a altimetria espacial fornece monitoramento de longo prazo das águas continentais, apresentando series temporais com três décadas de dados, em milhares de Estações Virtuais (EV) [30]. Equipamentos à *laser* (LIDAR) e radares de abertura sintética (SAR) foram implantados em plataformas aéreas e satélite altimétricos [31]. Em paralelo, muitos estudos, aplicando observações de satélite, obtidas em uma ampla gama do espectro eletromagnético (visível, infravermelho e microondas), foram desenvolvidos para monitorar a extensão e a dinâmica dos corpos hídricos continentais, com grau variado de sucesso [32–35]. Adicionalmente, a tecnologia envolvendo a altimetria multi-satélites apresenta a vantagem de permitir um monitoramento global fornecendo informações importantes sobre as variações temporais das águas continentais terrestres em meso e grande escala [36-38].

Este trabalho apresenta as principais contribuições da altimetria espacial para o monitoramento dos recursos hídricos, bem como oportunidades futuras, atualmente fomentadas na missão *Surface Water and Ocean Topography* (SWOT) dedicada à hidrologia de superfície [39]. Uma das novas capacidades do SWOT, juntamente com o monitoramento dos níveis, extensão e vazão das águas superficiais, será fornecer variações da SLA em escala global com uma resolução horizontal sem precedentes (~100 m). Neste trabalho, não abordaremos o monitoramento de água em reservatórios artificiais, este tópico específico e muito importante pode ser encontrado em outras publicações e

revisões [40-43]. Aqui, destaca-se, principalmente, o monitoramento da SLA em rios, várzeas e zonas úmidas.

## 2 A MEDIDA ALTIMÉTRICA

### 2.1 RADAR ALTIMÉTRICO

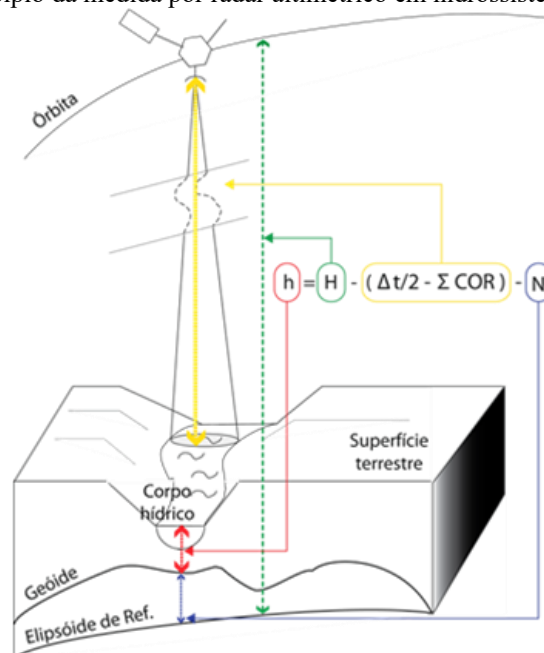
Os radares altimétricos instalados a bordo de diferentes missões altimétricas emitem uma onda na direção do nadir, definida pela vertical em relação ao solo. No retorno, o radar recebe o eco refletido pela SLA. A análise do eco permite extrair uma medida do tempo de trajeto entre o satélite e a superfície da água (Figura 1). No curso do seu trajeto de ida e volta que separa o satélite da superfície terrestre, a radiação radioelétrica emitida pelo altímetro, refletida em seguida pela SLA, atravessa a atmosfera da Terra sendo retardada pelo conteúdo gasoso ou eletrônico das diferentes camadas atmosféricas encontradas. Para uma boa precisão da medida altimétrica, necessitam-se corrigir os erros introduzidos por esses efeitos, que podem se traduzir num alongamento da distância ao solo de vários metros [24]. Os satélites com altímetro radar são ERS (1 e 2), Topex/Poseidon, GFO, Jason-1, ENVISAT, Jason-2, Saral, HY-2 (B, C e D) e Jason-3 (assim como os respectivos sucessores).

O tempo de emissão e retorno da onda é transformado em distância considerando-se a velocidade de propagação, no vácuo, das ondas eletromagnéticas emitidas. O nível da SLA,  $h$ , deduzidos da medida altimétrica, é obtido pela diferença entre a órbita do satélite,  $H$ , em relação a um elipsoide de referência e a distância entre o satélite e a SLA ( $c\Delta t/2 - \Sigma cor$ ) (Equação 1).

$$H = H - (c \Delta t/2 - \Sigma cor) - N \quad (1)$$

sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo,  $\Delta t$  o tempo de emissão e retorno da onda eletromagnética,  $\Sigma cor$  as correções instrumentais, ambientais e geofísicas e  $N$ , a ondulação geoidal que faz a conversão das alturas elipsoidais em alturas geoidais, ditas cotas altimétricas [29].

Figura 1 - Princípio da medida por radar altimétrico em hidrossistemas continentais.

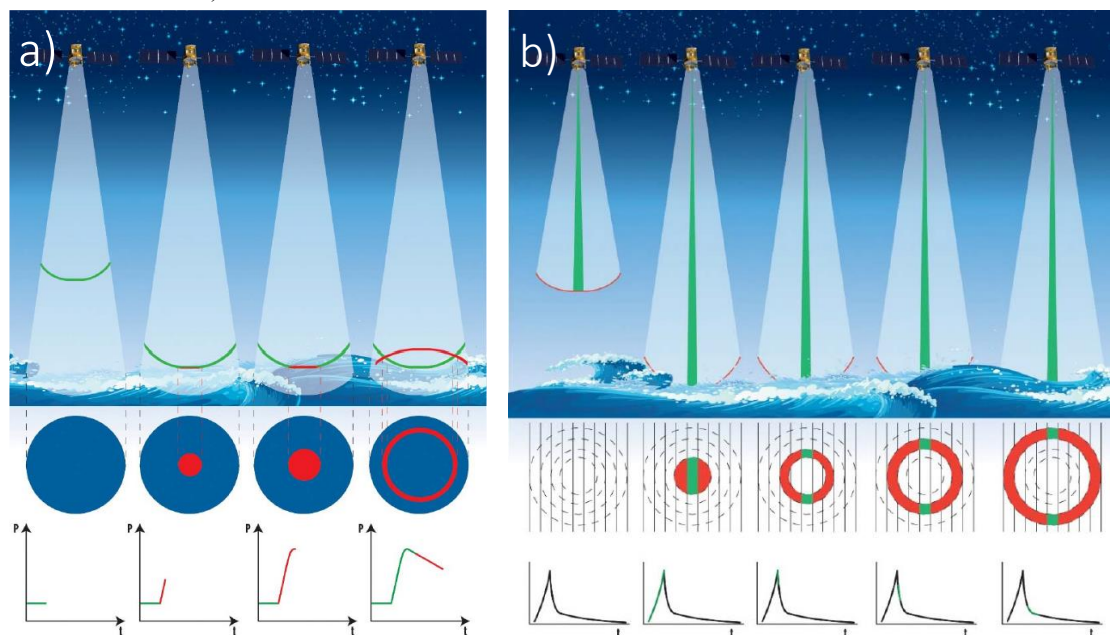


## 2.2 ALTIMETRIA SAR/DOPPLER

A altimetria SAR, sigla para *Synthetic Aperture Radar*, que são os radares de abertura sintética, utiliza o efeito Doppler com taxa de emissão dos pulsos mais alta. Uma mesma faixa ao longo do traço do satélite vai refletir os pulsos em diferentes frequências conforme o satélite se desloca, para distinguir as reflexões provenientes da parte de trás ou da frente do eco refletido, se provierem da parte de trás, é como se o satélite se afastasse, se provierem da parte da frente, é como se o satélite se aproximasse. Conseqüentemente, obtém-se uma resolução espacial superior, pelo menos na direção do movimento do satélite, possibilitando uma determinação mais precisa de sua posição [44]. Os satélites que se enquadram nesta categoria são Cryosat-2, Sentinel-3 (A e B), Jason-CS/Sentinel-6A e no futuro Sentinel-3 (C e D) e Jason-CS/Sentinel-6B.

A emissão e a reflexão de um pulso para o caso ideal de uma superfície oceânica para altímetros radar e SAR são esquematizadas na Figura 2. A superfície imageada pela onda refletida é representada pela interseção da superfície terrestre e pela casca esférica. O eixo vertical é posicionado no momento da emissão do pulso do altímetro. A representação da potência recebida pelo altímetro (eco) em função do tempo é chamada geralmente forma de onda (FO). A altimetria radar mostra um quase platô da energia após a subida pois a superfície de cada um dos anéis representados é igual, já na altimetria SAR diminui drasticamente [45].

Figura 2 – Formação do eco refletido pelo altímetro em meio oceânico por altimetria radar (a) e SAR (b) (Fonte: CNES/CLS/Mira Production).



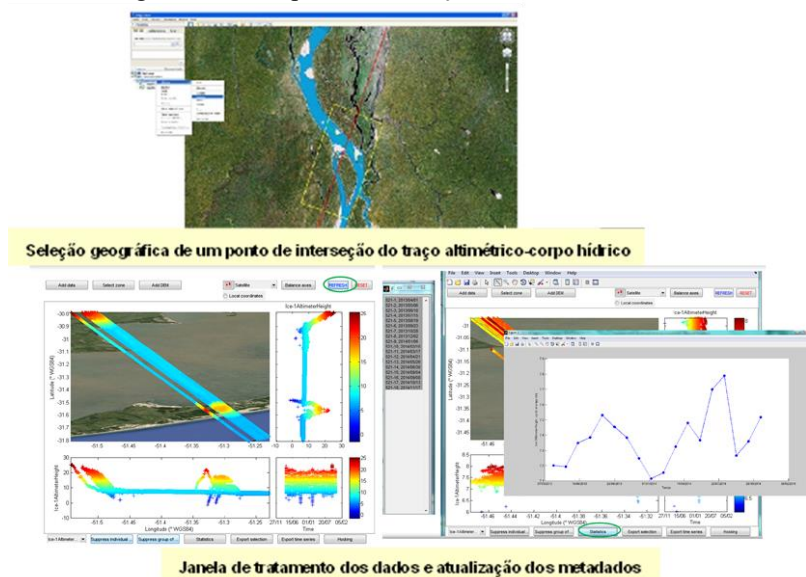
### 2.3 ESTAÇÃO VIRTUAL

Os rios, geralmente, não são monitorados pelos satélites altimétricos ao longo do seu curso. Em vez disso, são atravessados em determinados pontos. Assim, cada interseção de um traço do satélite altimétrico com a superfície reflexiva do plano de água consiste numa estação virtual (EV), sendo potencialmente possível obter uma série temporal da SLA [46,47]. É como se existisse uma estação hidrográfica no ponto onde, em média, o satélite atravessa o curso de água. Estas medidas podem ser, depois, utilizadas em estudos hidrológicos de forma similar às observações *in situ*, salvo o facto de não se conhecer com precisão a profundidade do curso de água neste ponto, assim, trabalha-se mais com base nas variações da SLA do que na profundidade.

Como assemelham-se às condições oceânicas os grandes lagos e mares interiores apresentam condições análogas de aquisição das medidas altimétricas, com SLAs extensas, considerando pontos suficientemente afastados das margens e dos relevos circundantes. Nos rios, várzeas e zonas úmidas o sinal é mais complexo devido à heterogeneidade das superfícies observadas, sendo refletido por uma mistura de superfícies de diferentes tipos e com refletividades discrepantes, como cursos de água, florestas, pântanos, entre outros. Isso afeta significativamente a forma do eco refletido, e, em consequência, a capacidade de extrair a informação pretendida, em particular a medida de distância, resultando em medições menos precisas, necessitando de um tratamento mais aprimorado na seleção dos dados altimétricos nessas áreas [26,28].



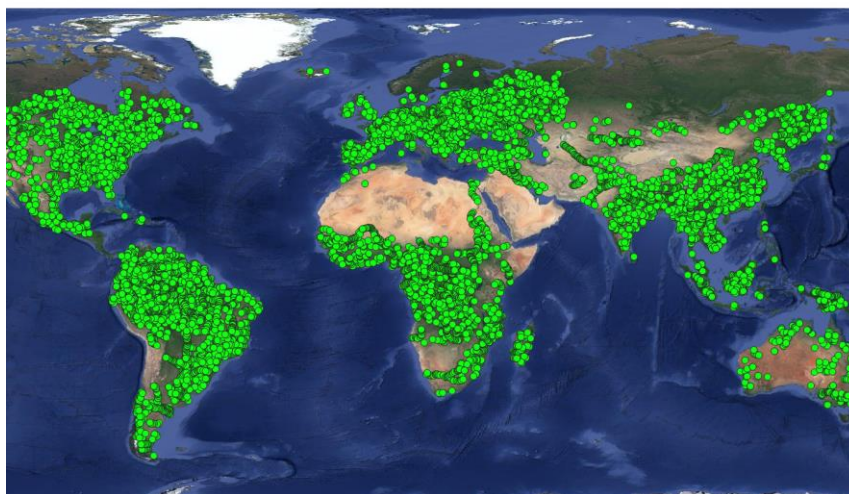
Figura 3 – Exemplo da elaboração de uma estação virtual.



Buscando uma alternativa para solucionar tais problemas, foi desenvolvida e testada uma metodologia manual para criação das EVs [46,47], pela seleção dos dados correspondentes ao cruzamento do plano da SLA, adaptadas às variações no tempo e no espaço, permitindo uma seleção tridimensional dos dados em um espaço superfície-profundidade (Figura 3) utilizando-se os programas *Google Earth* [48] e *Multi-mission Altimetry Processing Software* (MAPS) [49].

O *website* Hydroweb-Theia (<https://www.theia-land.fr/en/product/water-levels-of-rivers-and-lakes-hydroweb/>) é fruto de uma cooperação de diversas instituições francesas de pesquisa, entre elas o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES) e o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD). A Universidade do Estado do Amazonas (UEA), por meio do Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA) colabora com esta plataforma através de diversos projetos de pesquisa. No Hydroweb-Theia estão disponíveis as séries temporais contínuas e de longa duração provenientes de EVs em grandes lagos com áreas de superfície acima de 100 km<sup>2</sup>, reservatórios e os 20 maiores rios do mundo (Figura 4). As informações no *website* são constantemente atualizadas com no máximo em um dia e meio após a disponibilização de uma nova medição altimétrica.

Figura 4 – Séries altimétricas disponíveis no Hydroweb (Fonte: <https://www.theia-land.fr/en/product/water-levels-of-rivers-and-lakes-hydroweb/>, acesso em: 01 nov 2024)



## 2.4 PRECISÃO DA MEDIDA ALTIMÉTRICA

A necessidade de acoplar as medições das missões espaciais atuais com as futuras, através de sua comparabilidade, homogeneidade e confiabilidade, conduziu a comunidade científica e as agências a desenvolverem mecanismos que asseguram a realização de alguns indicadores da qualidade, tais como estudos de calibração e validação (análises de CAL/VAL). As atividades de CAL/VAL também são necessárias antes da disseminação dos dados. Por um lado, é essencial estimar os desempenhos do altímetro, consolidar a confiabilidade dos dados e permitir a evolução e a melhoria das medidas. Por outro lado, os dados dos radares altimétricos evidenciam as incoerências nas medidas *in situ* [50], assim como permitem suprir tais inconsistências [51].

As atividades de CAL/VAL de satélite altimétricos em domínio oceânico têm uma longa história e os protocolos são bem conhecidos, com diversos estudos publicados. Entretanto algumas metodologias não se aplicam aos hidrossistemas continentais, por exemplo, as correções associadas à topografia dinâmica e às marés. Em hidrossistemas continentais as marés e onda são geralmente baixas e a variabilidade dinâmica é muito menor do que no domínio oceânico. Os AFOs, não são otimizados para os hidrossistemas continentais. A largura da faixa imageada do altímetro, adaptado para a superfície oceânica, apresenta, no caso dos hidrossistemas continentais, uma contaminação do sinal por “ecos parasitas” provenientes das margens dos rios, ilhas e vegetação ciliar, as FOs refletidas apresentam particularidades a serem integradas para a determinação da altura e conseqüentemente nas atividades de CAL/VAL. No entanto, os resultados provenientes do estudo pioneiro dedicados à validação com os dados altimétricos do satélite GEOSAT em rios demonstram o interesse do uso dos dados altimétricos para monitoramento da SLA em hidrossistemas continentais, pelo menos na bacia



Amazônica [52]. Infelizmente, apesar de seus resultados promissores, os dados do GEOSAT nunca foram reprocessados globalmente para serem utilizáveis em águas continentais.

Dada a extensão de seus rios e a existência de uma rede de monitoramento hidrometeorológica *in situ* a bacia Amazônica é o grande laboratório para atividades de validação dos satélites altimétricos em hidrossistemas continentais, onde diversos estudos se desenvolvem continuamente. No rio Amazonas, os RMS variaram de 25 a 60 cm [53], bem como de 45 a 80 cm [54]. Variações de RMS entre 38 a 246 cm são mostradas em estudos desenvolvidos em rios, com larguras entre 0,58 e 1,16 km e em planícies de inundação [55]. Em estudo no rio Tapajós, o RMS apresentado foi da ordem de 35 cm [56]. Os resultados acima descritos utilizaram o AFO padrão para oceano da missão Topex/Poséidon.

Os produtos altimétricos evoluíram significativamente desde os anos 90 quando os dados das missões Topex/Poséidon foram reprocessados. As rotinas de reprocessamento dos dados do satélite ENVISAT, utilizando quatro AFO *Ocean*, *Ice-1*, *Ice-2* e *Sea Ice*, mostram-se mais eficientes em hidrossistemas continentais. Um estudo de validação relacionando os quatro AFOs apresenta RMS que variam de 26 a 140 cm, 7 a 40 cm, 10 a 110 cm e 14 a 324 cm para, respectivamente, em rios e planícies de inundação amazônicas [57] e correlações dos dados Topex/Poséidon, ERS e ENVISAT com a estação fluviométrica do Careiro, no rio Amazonas, denotaram valores 0,91, 0,93 e 0,98 para o coeficiente de Pearson [58]. Outro estudo de validação dos dados altimétricos com os dados *in situ* em diversos rios da bacia Amazônica, apresentou 70% das séries temporais de níveis de água estimadas, com incertezas inferiores a 40 cm, utilizando os AFOs *Ice-1* e *Ice-2* do satélite ENVISAT e 80 cm com dados do satélite ERS-2 (utilizando o AFO *Ice-2*), para rios de até 20 m de largura [46], enquanto o estudo com AFO *Ocean* do satélite Topex/Poséidon exprimiu incertezas de até 110 cm para 70% das séries analisadas, com bons resultados apenas em rios de largura superior a 1 km [55].

Projetos como *Observation de Surface Continental Altimetrie Radar* (OSCAR) [59] ou *Contribution de l'Altimetrie Spatiale pour l'Hydrologie* (CASH) [60] reprocessaram os dados anteriores das missões ERS e Topex/Poséidon com os mesmos AFOs do satélite ENVISAT, disponibilizando melhores produtos em domínio continental. Um altímetro utilizando a banda Ka é menos afetado pelas perturbações ionosféricas do que um altímetro na banda Ku, sendo mais eficiente em termos de resoluções verticais e espaciais, tratamento dos ecos e ruído do sinal. Com a ajuda de um AFO adaptado, esse tipo de altímetro é mais eficiente sobre qualquer tipo de superfície, principalmente nas áreas costeiras e continentais. Um altímetro na banda Ka, denominado AltiKa, embarcado no satélite franco-indiano SARAL (*Satellite with ARGOS and ALtika*), foi lançado em 2013, posicionado sob a mesma órbita do satélite ENVISAT, assegurou a continuidade das observações

iniciadas com o ERS-1/ERS-2/ENVISAT da ESA funcionando até 2016 [61]. Estudos de validação, na bacia Amazônica empregando os dados altimétrico do satélite SARAL, com o AFO *Ice-1*, denotaram variações mínimas do desvio padrão de 8 cm, principalmente em rios estreitos, com largura de 40 m [62].

No presente, diversos estudos científicos estão focados em compreender os riscos associados ao aquecimento global da Terra devido às alterações e o aumento da temperatura média dos oceanos, mas outro desafio igualmente importante é compreender melhor a circulação dos oceanos de larga-escala (incluindo a zona costeira). Todos estes estudos precisam de séries temporais altimétricas longas e homogêneas provenientes de diferentes missões e resultantes dos vários compartimentos que compõem o ciclo hidrológico, destacando-se o sistema terrestre, como os reservatórios continentais de água doce, estocados ou em escoamento nos lagos e rios. Nesse contexto, a validação dos dados dos satélites JASON 1, 2 e 3, com o AFO *Ice-1*, durante o período entre 2002 e 2018, evidenciaram RMS inferiores a 40 cm [63]. Recentemente, a validação dos dados altimétricos dos satélites SENTINEL 3A e 3B indicaram RMS variando entre 12 e 32 cm [64]. Resultados esses promissores para o emprego de séries temporais altimétricas longas e homogêneas resultantes de diferentes missões.

### **3 BREVE HISTÓRICO DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA ALTIMETRIA ESPACIAL NA HIDROLOGIA**

No início dos anos 70, os satélites começaram a transmitir regularmente os dados sobre a física, à química e a dinâmica das terras continentais, da atmosfera e da biosfera. O GEOS-3 (*Geodynamics Experimental Oceano Satellite*) foi o primeiro satélite dedicado ao mapeamento oceânico, mas ainda assim, alguns autores utilizaram seu radar altimétrico para mapeamento territorial e monitoramento de águas continentais. Miller [65] mostra que os dados GEOS-3 poderiam ser usados para monitorar a SLA dos lagos. Desses estudos pioneiros, destacam-se três eixos principais:

O primeiro eixo de aplicações diz respeito ao monitoramento dos recursos hídricos em relação ao clima e a agricultura. Os estudos nesta linha são numerosos [66-72]. A maioria desses estudos foram conduzido em grandes lagos, com extensa revisão da altimetria espacial sobre o tema [27, 40-43]. O primeiro estudo sobre um sistema fluvial foi realizado com os algoritmos de formas de onda (AFO) do GEOSAT (*GEOdetic SATellite*), cuja discrepância entre os dados do satélite e *in situ* resultaram em variações de RMS da ordem de 19 e 109 cm, em quatro locais na Amazônia [52]. Atribuiu-se as incertezas parcialmente à determinação da órbita, mas também, aos registros das réguas *in situ*, esse assunto será abordado no próximo eixo de estudos. Os dados altimétricos do satélite Topex/Poseídon [73], lançado em 1992 com período de revisita de 10 dias, foram utilizados em diversos estudos de rios

[55,74-77] e atualmente compõem series temporais longas juntamente com os satélites Jason 1, 2 e 3 lançados posteriormente sob sua órbita [78]. ENVISAT (*ENVironmental SATellite*) posicionado sob a mesma órbita dos satélites das missões ERS, que iniciaram em 1991, com um período de revisita de 35 dias, foi a missão mais usada em estudos com propósito de validação dos dados altimétricos em rios, várzeas e zonas úmidas, onde séries temporais de níveis de água com precisão decimétrica foram obtidas [46,47,51,58,79].

O segundo grande eixo de aplicação da altimetria espacial para hidrologia vem do fato que os traços dos satélites atravessam os corpos hídricos em toda a sua extensão nos diversos contextos hidrológicos. As redes de monitoramento hidrológico, constituídas das estações *in situ* estão localizadas nas margens e em trechos estreitos e retos do rio, pois necessita-se realizar frequentemente as medidas, sejam os níveis da SLA ou as vazões. Por esta razão, a variabilidade da SLA nas zonas úmidas é globalmente desconhecida. Na primeira aplicação da altimetria espacial para monitoramento de zonas úmidas [80] foi difícil distinguir rio e planície de inundação com os dados do satélite Topex/Poséidon. No entanto, obteve-se sucesso considerando-se uma defasagem de alguns dias nas variações da SLA entre o rio e a planície de inundação adjacente [55]. A variação espaço-temporal do volume de água na bacia do rio Negro, considerando o canal principal em conjunto com a planície de inundação, foi determinada usando-se mosaicos de imagens capturadas pelo radar SAR, do satélite *Japanese Earth Resources Satellite* (JERS-1), para estimar a variação de área inundada para um ciclo sazonal, juntamente com as mudanças da SLA com dados altimétricos do satélite Topex/Poséidon, em 88 EVs combinadas com 8 estações limnimétricas [81]. Uma variação de volume de 331 km<sup>3</sup> foi estimada para toda a bacia do rio Negro, realçando a complexa relação entre o volume potencialmente armazenado na área inundada da bacia e o volume do escoamento do rio durante o mesmo período. De forma similar, monitorou-se a propagação de inundações ao longo do rio Mekong combinando dados de altimetria espacial com imagens do satélite SPOT4 [82]. A mesma metodologia foi utilizada para reestimar o volume de água armazenado nas planícies de inundação da bacia do Negro e o da bacia Amazônica empregando imagens com melhor resolução temporal [83,84]. O primeiro estudo usando dados do ENVISAT para examinar a relação entre rio e planície de inundação foi conduzido na várzea do Curuaí, localizada na bacia Amazônica [85]. Na mesma planície de inundação, a transferência de água entre o rio e a planície, foi estimada utilizando modelagem hidrológica e séries temporais altimétricas dos níveis de água do ENVISAT [86], assim como outros estudos foram desenvolvidos na mesma temática [87,88].

O terceiro eixo de aplicação consiste na utilização do sistema único de referência geodésica dos dados altimétricos para estudar a declividade dos rios e assim poder modelar a hidrodinâmica do

escoamento. Dentre diversas aplicações, os trabalhos pioneiros foram realizados na calha principal do rio Amazonas com dados do satélite SEASAT [89-91] seguidos pelos dados do satélite Topex/Poséidon [55]. Com dados mistos dos satélites Topex/Poséidon e ENVISAT [92] ou somente do ENVISAT [87] foi proposta uma metodologia diferente para determinação de perfis de altura e declividade dos rios derivados de dados altimétricos, empregando curvas-chave provenientes das EVs e modelagem hidrodinâmica. Alguns estudos abrangem a estimativa de vazão em EV usando regressões empíricas com estações *in situ* [93-95] ou modelagem hidrológica e hidrodinâmica [96-99]. Nesse mesmo eixo, desenvolveram-se curvas-chave em mais de 1000 Evs com dados altimétricos do ENVISAT e vazão resultante da modelagem hidrológica [100].

#### **4 MISSÕES ATUAIS E MELHORIAS PREVISTAS**

Novos horizontes abrem-se além do oferecido pelas missões operacionais atuais. Os futuros satélites deverão fornecer melhores coberturas espaciais e temporais, assim como poderão melhorar as medidas nas áreas continentais, costeiras e as observações dos fenômenos na meso-escala. No médio prazo, os projetos orientam-se para missões capazes de detalhar a superfície oceânica, melhorando a resolução espacial, com uma escala da ordem de aproximadamente dezenas de quilômetros, e a resolução temporal, retornando aos mesmos pontos terrestres em poucos dias.

Para assegurar a continuidade da série de medidas efetuadas desde 1992 pelos satélites Topex/Poséidon, Jason-1, Jason-2 no âmbito de uma cooperação entre CNES, EUMETSAT (*Organisation Européenne pour l'Exploitation des Satellites Météorologiques*), NASA e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), no início de 2016 foi o lançamento da missão Jason-3, que efetuou um período de 6 meses de calibração com satélite Jason-2 [101].

A altimetria *SAR/Doppler* diferencia-se da altimetria radar clássica por tratar de forma coerente os diversos grupos dos pulsos transmitidos. A largura da banda *Doppler* é inteiramente utilizada para explorar, da melhor maneira possível, o sinal refletido pelo alvo. Os satélites SENTINEL-3A e 3B, dedicados à oceanografia operacional, lançados em 2016 e 2018 [102], respectivamente, assim como o satélite Jason-CS/Sentinel-6A, lançado em 2016 [103], embarcam um altímetro *SAR/Dopple* reutilizando a técnica testada no satélite Cryosat-2, lançado em 2010, um imageador óptico nos canais visível e infravermelho e um sistema orbitográfico preciso Dóris [104].

Um altímetro interferométrico pode incluir vários altímetros montados sobre braços, permitindo obterem-se, simultaneamente, várias medidas que, únicas ou combinadas, fornecem uma cobertura espacial mais vasta e contínua. O altímetro interferométrico *WideSwath Ocean Altimeter* (WSOA) foi, inicialmente, proposto para embarcar no satélite Jason-2, mas essa oferta foi abandonada:

um novo projeto embarcou tal sistema a bordo da missão SWOT (*Surface Water Ocean Topography*), lançada em dezembro 2022 [105]. A missão SWOT reúne as necessidades dos oceanógrafos e hidrólogos em um único satélite, pois realiza uma cartografia completa das superfícies oceânicas e continentais, bem como dos níveis de água em lagos, zonas úmidas e reservatórios [28], utilizando a banda Ka KaRIN (*Ka-band radar interferometer*), tecnologia denominada altimetria interferométrica [106,107], com tempo de revisita de 21 dias. A faixa imageada total para os níveis de água da superfície oceânica SSH (*Sea Surface Heights*) e os níveis das águas continentais é de 120 km de largura [108]. Nos oceanos, a SSH é a cada 1 km<sup>2</sup> e, em domínio continental, apresenta uma resolução horizontal de 100 m para os rios e 250 m<sup>2</sup> para lagos, zonas úmidas e reservatórios, com uma precisão de 10 cm para os níveis de água e 1,7 cm/km para a declividade [108].

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho abordou-se as principais aplicações da altimetria espacial para o monitoramento dos recursos hídricos e como essas aplicações contribuem para melhorar o conhecimento hidrológicos de grandes bacias hidrográficas. Concentrou-se no monitoramento da SLA em rios, várzeas e zonas úmidas, um componente chave para compreensão do ciclo hidrológico, da hidrologia de superfície e a gestão dos recursos hídricos, para os quais os impactos das mudanças climáticas atuais no ciclo hidrológico permanecem incertas.

A altimetria espacial, atualmente, é uma técnica de sensoriamento remoto com diversos estudos em águas continentais, permitindo estudar a bacia hidrográfica em todas as escalas, desde um único e pequeno afluente, até a totalidade da bacia. A bacia Amazônica é provavelmente a bacia hidrográfica com mais estudos e aplicações com dados dos satélites altimétricos. De fato, tem sido o local onde muitos avanços da altimetria espacial em rios, várzeas e zonas úmidas foram conquistados nas últimas três décadas. Hoje, as séries temporais se estendem por pelo menos 20 anos, em alguns lugares favoráveis, embora a maioria apresente uma década de dados. No entanto, muito mais séries com janelas temporais maiores poderiam ser obtidas se os dados brutos das missões altimétricas anteriores fossem reprocessados com os vários AFOs existentes.

Na década atual, evoluiu-se para uma melhoria significativa na precisão vertical e na resolução espacial dos dados altimétricos com o lançamento do SWOT, em dezembro 2022, tendo-se um altímetro que garante a cobertura total dos corpos hídricos duas vezes a cada ciclo de 21 dias, além dos satélites com radar altimétrico e altímetro SAR/Doppler. Essas mudanças nas resoluções espaciais e temporais de coleta de dados devem ser acompanhadas de mudanças na forma como são realizados os monitoramentos hidrológicos, aproveitando-se ao máximo essa técnica de medições da SLA em rios,

várzeas e zonas úmidas, fruto do desenvolvimento do conceito de EVs, que podem ser definidas em lugares nunca monitorados, ampliando e complementando as redes de monitoramento *in situ*.

Por fim, a bacia Amazônica continua sendo uma das pouquíssimas bacias hidrográficas que apresenta uma rede de monitoramento com baixa densidade de estações em operação, em particular em pequenos afluentes e zonas úmidas que são monitorados apenas por altimetria espacial. Portanto, ainda será, por muito tempo, o lugar certo de aplicações da altimetria espacial para estudar os impactos das mudanças climáticas no ciclo hidrológico.



## REFERÊNCIAS

1. OKI, T.; KANAE, S. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science*, 313:1068–1072, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1128845>>. Acesso em: 19 nov. 2024.
2. GOOD, S.P.; NOONE, D.; BOWEN, G. Hydrologic Connectivity Constrains Partitioning of Global Terrestrial Water Fluxes. *Science*, 349:175–177, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/doi:10.1126/science.aaa5931>>. Acesso em: 19 nov. 2024.
3. COOLEY, S.; RYAN, J.; SMITH, L. Human Alteration of Global Surface Water Storage Variability. *Nature*, 591:78–81, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03262-3>>. Acesso em: 30 set. 2024.
4. ALSDORF, D.E.; BIRKETT, C.M.; DUNNE, T.; MELACK, J.; HESS, L. Water level changes in a large Amazon Lake measured with spaceborne radar interferometry and altimetry. *Geophysical Research Letters*, 28(14):2671-2674, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2001GL012962>>. Acesso em: 30 set. 2024.
5. ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Portal Hidroweb*. 2024. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 30 set. 2024.
6. FLORENZANO, T.G. *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos. 2002.
7. HALL, A.; SCHUMANN, G. J-P.; BAMBER J.L.; BATES, P.; TRIGG, M.A. Geodetic corrections to Amazon River water level gauges using ICESat altimetry. *Water Resources Research*, 48:W06602, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2011WR010895>>. Acesso em: 30 set. 2024.
8. ALSDORF, D.E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D.P. Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*, 45(2):RG2002, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2006RG000197>>. Acesso em: 30 set. 2024.
9. CHAWLA, I.; KARTHIKEYAN, L.; MISHRA, A.K. A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, 585:124826, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>>. Acesso em: 30 set. 2024.
10. PAPA, F.; FRAPPART, F. Surface Water Storage in Rivers and Wetlands Derived from Satellite Observations: A Review of Current Advances and Future Opportunities for Hydrological Sciences. *Remote Sensing*, 13:4162, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs13204162>>. Acesso em: 30 set. 2024.
11. CAZENAVE, A-B.; MILLY, P.C.D.; DOUVILLE, H.; BENVENISTE, J.; KOSUTH, P.; LETTENMAIER, D.P. Space techniques used to measure change in terrestrial waters. *Eos Transactions AGU*, 85:59, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2004EO060006>>. Acesso em: 30 set. 2024.
12. FAMIGLIETTI, J.S.; CAZENAVE, A.; EICKER, A.; REAGER, J.T.; RODELL, M.; VELICOGNA, I. Satellites provide the big picture. *Science*, 349:684–685, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.aac9238>>. Acesso em: 30 set. 2024.

13. TAPLEY, B.D.; BETTADPUR, S.; RIES, J.C.; THOMPSON, P.F.; WATKINS, M.M. GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System. *Science*, 305: 503–505, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1099192>>. Acesso em: 30 set. 2024.
14. CHEN, J.L.; WILSON, C.R.; TAPLEY, B.D.; YANG, Z.L.; NIU, G.Y. 2005 drought event in the Amazon River basin as measured by GRACE and estimated by climate models. *Journal of Geophysical Research*, 114:B05404, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2008JB006056>>. Acesso em: 15 out. 2024.
15. ALMEIDA, F.G.V.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; Ramillien, G.; Blitzkow, D.; Matos, A.C.C.; SILVA J.S. Time-variations of equivalent water heights from Grace Mission and in-situ river stages in the Amazon basin. *Acta Amazônica*, 42:125-134, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100015>>. Acesso em: 30 set. 2024.
16. GUEDES, A.E.D.S.; CÂNDIDO, L.A.; SANTOS, A.R.S.E. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. *Revista Ambiente & Água*, 8(2):88-99, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1137>>. Acesso em: 15 out. 2024.
17. PFEFFER, J.; SEYLER, F.; BONNET, M.-P.; CALMANT, S.; FRAPPART, F.; PAPA, F.; PAIVA, R.C.D.; SATGÉ, F.; SILVA J.S. Low-water maps of the groundwater table in the central Amazon by satellite altimetry, *Geophysical Research Letters*, 41, 1981–1987, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/2013GL059134>>. Acesso em: 30 set. 2024.
18. ADLER, R.; HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; CURTIS, S.; NELKIN, E. J. Tropical rainfall distributions determined using TRMM combined with other satellite and rain gauge information. *Journal of Applied Meteorology*, 39:2007–2023, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<2007:TRDDUT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<2007:TRDDUT>2.0.CO;2)>. Acesso em: 15 out. 2024.
19. HUFFMAN, G.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; WOLFF, D.B.; ADLER, R.F.; GU, G.; HONG, Y.; BOWMAN, K.P.; STOCKER E.F. (The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TCMA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8:38–55, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/JHM560.1>>. Acesso em: 30 set. 2024.
20. ZHONG, Y.; ZHONG, M.; MAO, Y.; JI, B. Evaluation of Evapotranspiration for Exorheic Catchments of China during the GRACE Era: From a Water Balance Perspective. *Remote Sensing*, 12: 511, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs12030511>>. Acesso em: 30 set. 2024.
21. ZWALLY, H.; BINDSCHADLER, R.; BRENNER, A.; MAJOR, J.; MARSH, J. Growth of the Southern Greenland Ice Sheet: Measurement. *Science*, 246:1587–1589, 1989. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.246.4937.158>>. Acesso em: 15 out. 2024.
22. ZWALLY, H.; GIOVINETTO, M.; LI, J.; CORNEJO, H.; BECKLEY, M.; BRENNER, A.; SABA, J.; YI, D. Mass Changes of the Greenland and Antarctic Ice Sheets and Shelves and Contributions to Sea-level Rise: 1992–2002. *Journal of Glaciology*, 51:509–527, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3189/172756505781829007>>. Acesso em: 15 out. 2024.

23. DUNCAN, B.N.; OTT, L. E.; ABSHIRE, J.B.; BRUCKER, L.; CARROLL, M.L.; CARTON, J.; COMISO, J.C.; DINNAT, E.P.; FORBES, B.C.; GONSAMO, A.; *et al.* Space-Based Observations for Understanding Changes in the Arctic-Boreal Zone. *Reviews of Geophysics*, 58, e2019RG000652, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2019RG000652>>. Acesso em: 30 set. 2024.
24. FU, L.; CAZENAVE, A. *Satellite altimetry and earth sciences: a handbook of techniques and applications*. Academic Press, London (UK), 464 p. 2001.
25. BONNEFOND, P.; EXERTIER, P. ; LAURAIN, O. ; GUINLE, T. ; FÉMÉNIAS, P. Corsica: A 20-Yr Multi-Mission Absolute Altimeter Calibration Site. *Advances in Space Research*, Special Issue “25 Years of Progress in Radar Altimetry”, 68(2):1171-1186, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.09.049>>. Acesso em: 30 set. 2024.
26. CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface water from satellite altimetry. *Comptes Rendus Geosciences*, 338(14-15):1113-1122, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.05.012>>. Acesso em: 01 out. 2024.
27. CRÉTAUX, J-F. ; BIRKETT, C. Lake studies from satellite radar altimetry. *Comptes Rendus Geosciences*, 338(14-15):1098-1112, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.08.002>>. Acesso em: 10 out. 2024.
28. CALMANT, S. ; SEYLER, F. ; CRETAUX, J-F. Monitoring Continental Surface Waters by Satellite Altimetry. *Survey in Geophysics*, 29(4-5):1573-0956, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10712-008-9051-1>>. Acesso em: 02 out. 2024.
29. SILVA, J.S. *Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica - Aplicações Hidrológicas*. Saarbrücken (GE), Édition Universitaires Européennes. ISBN: 978-613-1-52979-5, 2010.
30. CRETAUX, J.F.; NIELSEN, K.; FRAPPART, F.; PAPA, F.; CALMANT, S.; BENVENISTE, J. *Hydrological Applications of Satellite Altimetry Rivers, Lakes, Man-Made Reservoirs, Inundated Areas*. In: CAZENAVE, A.; STAMMER, D. *Satellite Altimetry over Oceans and Land Surfaces*, Taylor & Francis Group: New York, NY, USA, pp. 459–504, 2017.
31. MOHAMMADIMANESH, F.; SALEHI, B.; MAHDIANPARI, M.; BRISCO, B.; MOTAGH, M. Wetland Water Level Monitoring Using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR): A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 44:247–262, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07038992.2018.1477680>>. Acesso em: 30 set. 2024.
32. CHAWLA, I.; KARTHIKEYAN, L.; MISHRA, A.K. A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, 585:124826, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>>. Acesso em: 01 out. 2024.
33. PRIGENT, C.; LETTENMAIER, D.P.; AIRES, F.; PAPA, F. Towards a High-Resolution Monitoring of Continental Surface Water Extent and Dynamics, at Global Scale: From GIEMS (Global Inundation Extent from Multi-Satellites) to SWOT (Surface Water Ocean Topography). *Surveys in Geophysics*, 37:339–355, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10712-015-9339-x>>. Acesso em: 02 out. 2024.

34. HUANG, C.; CHEN, Y.; ZHANG, S.; WU, J. (2018). Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water from Space Using Optical Sensors: A Review. *Reviews of Geophysics*, 56:333–360, doi: <<https://doi.org/10.1029/2018RG000598>>.
35. PEKEL, J.-F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540:418–422, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature20584>>. Acesso em: 02 out. 2024.
36. PRIGENT, C.; PAPA, F.; AIRES, F.; ROSSOW, W.B.; MATTHEWS, E. Global inundation dynamics inferred from multiple satellite observations, 1993–2000. *Journal of Geophysical Research*, 112, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2006JD007847>>. Acesso em: 02 out. 2024.
37. PAPA, F.; PRIGENT, C.; AIRES, F.; JIMENEZ, C.; ROSSOW, W.B.; MATTHEWS, E. Interannual variability of surface water extent at the global scale, 1993–2004. *Journal of Geophysical Research*, 115:1–17, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2009JD012674>>. Acesso em: 02 out. 2024.
38. SCHROEDER, R.; MCDONALD, K.C.; CHAPMAN, B.D.; JENSEN, K.; PODEST, E.; TESSLER, Z.D.; BOHN, T.J.; ZIMMERMANN, R. Development and Evaluation of a Multi-Year Fractional Surface Water Data Set Derived from Active/Passive Microwave Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 7:16688–16732, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs71215843>>. Acesso em: 02 out. 2024.
39. BIANCAMARIA, S.; LETTENMAIER, D.P.; PAVELSKY, T.M. The SWOT Mission and Its Capabilities for Land Hydrology. *Surveys in Geophysics*, 37:307–337, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10712-015-9346-y>>. Acesso em: 02 out. 2024.
40. GAO, H. Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: From elevation and area to storage. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 2:147–157, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/wat2.1065>>. Acesso em: 02 out. 2024.
41. CRETAUX, J.-F.; ABARCA-DEL-RIO, R.; BERGE-NGUYEN, M.; ARSEN, A.; DROLON, V.; CLOS, G.; MAISONGRANDE, P. Lake Volume Monitoring from Space. *Surveys in Geophysics*, 37:269–305, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10712-016-9362-6>>. Acesso em: 02 out. 2024.
42. BUSKER, T.; DE ROO, A.; GELATI, E.; SCHWATKE, C.; ADAMOVIC, M.; BISSELINK, B.; PEKEL, J.-F.; COTTAM, A. A global lake and reservoir volume analysis using a surface water dataset and satellite altimetry. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23:669–690, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-23-669-2019>>. Acesso em: 05 out. 2024.
43. TORTINI, R.; NOUJDINA, N.; YEO, S.; RICKO, M.; BIRKETT, C.M.; KHANDELWAL, A.; KUMAR, V.; MARLIER, M.E.; LETTENMAIER, D.P. Satellite based remote sensing data set of global surface water storage change from 1992 to 2018. *Earth System Science Data*, 12:1141–1151, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/essd-12-1141-2020>>. Acesso em: 15 out. 2024.
44. EGIDO, A.; SMITH, W.H.F. Fully Focused SAR Altimetry: Theory and Applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(1):392-406, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2607122>>. Acesso em: 15 out. 2024.

45. AVISO+ – *Satellite Altimetry Data*. 2023. Disponível em: <<https://www.aviso.altimetry.fr/fr/accueil.html>>. Acesso em: 15 out. 2024.
46. SILVA, J.S.; CALMANT, S.; ROTUNO FILHO, O.C.; SEYLER, F.; COCHONNEAU, G.; ROUX, E.; MANSOUR, J.W. Water Levels in the Amazon Basin derived from the ERS-2 and Envisat Radar Altimetry Missions. *Remote Sensing of Environment*, 114:2160-2181, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.020>>. Acesso em: 15 out. 2024.
47. SILVA, J.S.; ROTUNO FILHO, O.C.; SEYLER, F.; CALMANT, S.; ROUX, E.; ARAUJO, A. M.; GUYOT, J-L. Water level dynamics of Amazon wetlands at the Watershed Scale by satellite altimetry. *International Journal of Remote Sensing*, 33(11), 3323-3353, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01431161.2010.531914>>. Acesso em: 15 out. 2024.
48. GOOGLE EARTH. *Google Earth Pro*, v. 7.3.6.9796. Google Inc. 2024.
49. MAPS. *Multi-mission Altimetry Processing Software*, v. 2.2. 2018.
50. SOUZA, A.C. *Níveis de água diários provenientes de satélites altimétricos para monitoramento hidrológico da bacia Amazônica*. TCC (Graduação) – Meteorologia, EST, UEA, Manaus-AM, 75p. 2012.
51. SILVA, J.S; CALMANT, S.; SEYLER, F.; MOREIRA, D.M.; OLIVEIRA, D.; MONTEIRO, A. Radar altimetry aids managing gauge networks. *Water Resources Management*, 28:587–603, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11269-013-0484-z>>. Acesso em: 15 out. 2024.
52. KOBLINSKY, C.J.; CLARKE, R.T.; BRENNER, A.C.; FREY, H. Measurements of river level variations with satellite altimetry. *Water Resources Research*, 29(6):1839–1848, 1993. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/93WR00542>>. Acesso em: 15 out. 2024.
53. BIRKETT, C.M. Contribution of the Topex NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. *Water Resources Research*, 34(5):1223-1239, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/98WR00124>>. Acesso em: 15 out. 2024.
54. DE OLIVEIRA CAMPOS, I.; MERCIER, F.; MAHEU, C.; COCHONNEAU, G.; KOSUTH, P.; BLITZKOW, D.; CAZENAVE, A. Temporal variations of river basin waters from Topex/Poseidon satellite altimetry. Application to the Amazon Basin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 333:633–643, 2001. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(01\)01688-3](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(01)01688-3)>. Acesso em: 15 out. 2024.
55. BIRKETT, C. M. *et al.* Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20):8059, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2001JD000609>>. Acesso em: 15 out. 2024.
56. FRAPPART, F.; CALMANT, S.; CAUHOPE, M.; SEYLER, F.; CAZENAVE, A. Preliminary results of Envisat RA-2-derived water levels validation over the amazon basin. *Remote Sensing of Environment*, 100 (2):252-264, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.02>>. Acesso em: 15 out. 2024.



57. BIRKETT, C.M. Synergistic Remote Sensing of Lake Chad: variability of Basin inundation. *Remote Sensing of Environment*, 72:218-236, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00105-4)>. Acesso em: 15 out. 2024.
58. BERRY, P.A.M.; GARLICK, J.D.; FREEMAN, J.A.; MATHERS, E.L. Global inland water monitoring from multi-mission altimetry. *Geophysical Research Letters*, 32:L16401, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2005GL022814>>. Acesso em: 15 out. 2024.
59. LEGRESY, B. *Etude du retracking des surfaces des formes d'onde altimétriques au-dessus des calottes*. Rapport CNES, CT/ED/TU/UD96.188, contrat N° 856/2/95/CNES/006, 81p. 1995.
60. SEYLER, F.; BONNET, M.-P.; CALMANT, S.; CAUHOPÉ, M.; CAZENAVE, A.; COCHONNEAU, G.; DI-VOL, J.; DO-MINH, K.; FRAPPART, F.; GENNERO, M.-C.; GUYENNE-BLIN, K.; HUYNH, F.; LEON, J. G.; MANGEAS, M.; MERCIER, F.; MERCIER, C.; ROCQUELAIN, G.; TOCQUEVILLE, L.; ZANIFÉ, O.-Z. *The cash project*. In: Proceedings of the Symposium on 15 Years of Progress in Radar Altimetry 13-18 March 2006, Venice, Italy (ESA SP-614, July 2006). 2006.
61. BONNEFOND, P.; VERRON, J.; AUBLANC, J.; BABU, K.N.; BERGÉ-NGUYEN, M.; CANCEY, M.; CHAUDHARY, A.; CRÉTAUX, J.-F.; FRAPPART, F.; HAINES, B.J.; LAURAIN, O.; OLLIVIER, A.; POISSON, J.-C.; PRANDI, P.; SHARMA, R.; THIBAUT, P.; WATSON, C. The Benefits of the Ka-Band as Evidenced from the SARAL/AltiKa Altimetric Mission: Quality Assessment and Unique Characteristics of AltiKa Data. *Remote Sensing*, 10(1):83, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs10010083>>. Acesso em: 20 out. 2024.
62. CONCHY, T.S.X.; SILVA, J.S.; OLIVEIRA, M.F.; CALMANT, S. Validação das medidas dos níveis de água fornecidas pelos satélites altimétrico ENVISAT e SARAL na bacia amazônica. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 16(8), 11691–11704. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.55905/revconv.16n.8-155>>. Acesso em: 20 out. 2024.
63. SILVA, K.M.; SILVA, J.S.; CALMANT, S.; PARIS, A. Validation of the water levels provided by satellites Jason 1, 2 and 3 in the Amazon Basin. *Brazilian Journal of Development*, 7(3):26541–2657, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-382>>. Acesso em: 20 out. 2024.
64. ALBUQUERQUE, V.S. *Utilização dos Satélites Altimétricos Sentinel 3A e 3B na Rede Hidrográfica*. Dissertação (Mestrado) – PPG em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, ENS, UEA, Manaus-AM, 120p. 2022.
65. MILLER, L.S. Topographic and backscatter characteristics of GEOS 3 overland data. *Journal Geophysical Research*, 84(B8):4045–4054, 1979. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/JB084iB08p04045>>. Acesso em: 20 out. 2024.
66. MASON, I.M.; RAPLEY, C.G.; STREET-PERROTT, F.A.; GUZKOWSKA, M. *ERS-1 observations of lakes for climate research*. In: Proceedings EARSel/ESA Symposium 'European Remote Sensing Opportunities', Strasbourg, France, 31 March–3 April 1985. 1985.
67. MORRIS, C.S.; GILL, S.K. Variation of Great Lakes waters from Geosat altimetry. *Water Resources Research*, 30:1009–1017, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/94WR00064>>. Acesso em: 20 out. 2024.



68. BIRKETT, C.M. The contribution of TOPEX/POSEIDON to the global monitoring of climatically sensitive lakes. *Journal of Geophysical Research*, 100 (C12):25179–25204, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/95JC02125>>. Acesso em: 20 out. 2024.
69. PONCHAUT, F.; CAZENAVE, A. Continental lake level variations from TOPEX/Poseidon (1993–1996), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 326:13–20, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(97\)83198-9](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(97)83198-9)>. Acesso em: 20 out. 2024.
70. BIRKETT, C.M.; MURTUGUDDE, R.; ALLAN, T. Indian Ocean climate event brings floods to East Africa's lakes and the Sudd Marsh. *Geophysical Research Letters*. 26:1031–1034, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/1999GL900165>>. Acesso em: 20 out. 2024.
71. MERCIER, F.; CAZENAVE, A.; MAHEU, C. Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from TOPEX/Poseidon: Connections with ocean–atmosphere interactions over the Indian ocean. *Global Planet Changes*, 32:141–163, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00139-4)>. Acesso em: 20 out. 2024.
72. YI, Y.; KOURAEV, A.V.; SHUM, C.K.; VUGLINSKY, V.S.; CRETAUX, J-F.; CALMANT, S. Performance of altimeter waveform retracker in Lake Baikal. *Journal of Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2012. Disponível em: <[https://dx.doi.org/10.3319/TAO.2012.10.09.01\(TibXS\)](https://dx.doi.org/10.3319/TAO.2012.10.09.01(TibXS))>. Acesso em: 20 out. 2024.
73. ZIEGER, A.R.; HANCOCK, D.W.; HAYNE, G.S.; PURDY, C.L. NASA radar altimeter for the TOPEX/POSEIDON Project. *Proceedings of the IEEE*, 79(6):810-826, 1991. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1109/5.90160>>. Acesso em: 25 out. 2024.
74. LEON, J.G. et al. Rating curves and estimation of average water depth at the upper Negro River based on satellite altimeter data and modeled discharges, *Journal of Hydrology*, 328(3-4):481-496, 2006. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol/2005.12.006>>. Acesso em: 25 out. 2024.
75. ZHANG, M.; LEE, H.; SHUM, C.K.; SCHWARTZ, F.; ALSDORF, D.E.; TSENG, S.; YI, Y.; CHUNG-YEN, K.; TSENG, H-Z; BRAUN, A.; CALMANT, S.; FILIZOLA, N.; SEYLER, F. Application of Retracked Satellite Altimetry for Hydraulic Studies, *International Journal of Remote Sensing*, 31 (14):3913-3929, 2010. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.483495>>. Acesso em: 25 out. 2024.
76. JARIHANI, A.A.; CALLOW, J.N.; JOHANSEN, K.; GOUWELEEUW, B. Evaluation of multiple satellite altimetry data for studying inland water bodies and river floods. *Journal of Hydrology*, 505:78-90, 2013. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.010>>.
77. SHU1, S.; LIU, H.; BECK, R.A.; FRAPPART, F.; KORHONEN, J.; LAN, M.; XU, M.; YANG, B.; HUANG, Y. (2021). Evaluation of historic and operational satellite radar altimetry missions for constructing consistent long-term lake water level records. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25:1643–1670, Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-25-1643-2021>>. Acesso em: 25 out. 2024.
78. SUN, M.; GUO, J.; YUAN, J.; LIU, X.; WANG, H.; LI, C. Detecting Lake Level Change From 1992 to 2019 of Zhari Namco in Tibet Using Altimetry Data of TOPEX/Poseidon and Jason-1/2/3

Missions. *Frontiers in Earth Science*, 9:640553, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/feart.2021.640553>>. Acesso em: 25 out. 2024.

79. CRETAUX, J.F. *Inland Water Altimetry: Technological Progress and Applications*. In: DI MAURO, A., SCOZZARI, A., SOLDOVIERI, F. (eds) *Instrumentation and Measurement Technologies for Water Cycle Management*. Springer Water. Springer, Cham, pp. 111-139, 2022. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-031-08262-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08262-7_6)>. Acesso em: 25 out. 2024.

80. CUDLIP, W.; RIDLEY, J.K.; RAPLEY, C.G. *The use of satellite radar altimetry for monitoring wetlands*. In: *Proceedings Remote Sensing and Global Change, 16th Annu. Conf. Remote Sensing Society, London*, pp. 207–216, 1992.

81. FRAPPART, F.; SEYLER, F.; MARTINEZ J.-M.; LEÓN J. G.; CAZENAVE A. Floodplain Water Storage in the Negro River Basin Estimated from Microwave Remote Sensing of Inundation Area and Water Levels. *Remote Sensing of Environment*, 99: 387 – 399, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.016>>. Acesso em: 25 out. 2024.

82. FRAPPART, F.; DO MINH, K.; L'HERMITTE, J.; CAZENAVE, A.; RAMILLIEN, G.; LE TOAN, T.; MOGNARD-CAMPBELL, N. Water volume change in the lower Mekong from satellite altimetry and imagery data. *Geophysical Journal International*, 167:570-584, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03184>>. Acesso em: 25 out. 2024.

83. FRAPPART, F.; PAPA, F.; FAMIGLIETTI, J.S.; PRIGENT, C.; ROSSOW, W.B. ; SEYLER, F. Interannual variations of river water storage from a multiple satellite approach: A case study for the Rio Negro River basin. *Journal of Geophysical Research*, 113:D21104, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2007JD009438>>. Acesso em: 30 out. 2024.

84. FRAPPART, F.; PAPA, F.; SILVA, J.S.; GUILLAUME RAMILLIEN, G.; PRIGENT, C.; SEYLER, F.; CALMANT, S. Surface freshwater storage and dynamics in the Amazon basin during the 2005 exceptional drought. *Environmental Research Letters*, 7:044010, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044010>>. Acesso em: 30 out. 2024.

85. CAUHOPÉ, M. *Hauteurs d'eau d'une plaine d'inondation amazonienne par altimétrie spatiale*. Rapport de stage de DEA, Sciences de la Terre et l'Environnement, UT3, Toulouse-FR, 30 p. (em Francês). 2004.

86. BONNET, M.P.; BARROUX, G.; MARTINEZ, J.M.; SEYLER, F.; MOREIRA-TURCQ, P.; COCHONNEAU, G.; MELACK, J.M.; BOAVENTURA, G.; MAURICE-BOURGOIN, L.; LEÓN, J.G.; ROUX, E.; CALMANT, S.; KOSUTH, P.; GUYOT, J.L.; SEYLER, P. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuaí). *Journal of Hydrology*, 349 (1- 2):18-30, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.10.055>>. Acesso em: 30 out. 2024.

87. GETIRANA, A.C.V.; BONNET, M-P.; CALMANT, S.; ROUX, E.; ROTUNNO FILHO, O.C.; MANSUR, W.J. Hydrological monitoring of poorly gauged basins based on rainfall-runoff modeling and spatial altimetry. *Journal of Hydrology*, 379:205-219, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.049>>. Acesso em: 30 out. 2024.

88. CHÁVARRI, E.; CRAVE, A.; BONNET, M-P.; MEJÍA, A.; SILVA, J.S.; GUYOT, J.L. Hydrodynamic modelling of the Amazon River: Factors of uncertainty. *Journal of South American*

*Earth Sciences*, 44:94–103, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2012.10.010>>. Acesso em: 30 out. 2024.

89. GUZKOWSKA, M.A.J.; RAPLEY, C.G.; RIDDLEY, J. K.; CUDLIP, W.; BIRKETT, C.M.; SCOTT, R.F. *Developments in inland water and land altimetry*. ESA contract report 78391881FIFL. 1990.

90. MERTES, L.A.K.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L.A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River. Brazil. *Geological Society of America Bulletin*. 108(9):1089-1107, 1996. Disponível em: <[https://doi.org/10.1130/00167606\(1996\)108<1089:CFGATS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1996)108<1089:CFGATS>2.3.CO;2)>. Acesso em: 30 out. 2024.

91. DUNNE, T.; MERTES, L.A.K.; MEADE, R.H.; RICHEY, J.E.; FORSBERG, B.R. Exchanges of sediment between the floodplain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 110(4):450-467, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1998\)110<0450:EOSBTF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1998)110<0450:EOSBTF>2.3.CO;2)>. Acesso em: 30 out. 2024.

92. LEON J.G., SEYLER, F., CALMANT S., BONNET M., CAUHOPE M. Hydrological parameter estimation for ungauged basin based on satellite altimeter data and discharge modeling. A simulation for the Caqueta River (Amazonian Basin, Colombia). *Hydrology and Earth System Sciences*, 3:3023–3059, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hessd-3-3023-200693>>. Acesso em: 30 out. 2024.

93. COE, M.T.; BIRKETT, C.M. Calculation of river discharge and prediction of lake height from satellite radar altimetry: Example for the Lake Chad basin. *Water Resources Research*, 40:W10205, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2003WR002543>>. Acesso em: 30 out. 2024.

94. KOURAEV, A.; ZAKHAROVA, E.; SAMAIN, O.; MOGNARD, N.; CAZENAVE, A. Ob’River discharge from TOPEX/Poseidon satellite altimetry (1992–2002). *Remote Sensing of Environment*, 93:238–245, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.007>>. Acesso em: 05 nov. 2024.

95. ZAKHAROVA, E.A; KOURAEV, A.V; CAZENAVE, A.; SEYLER, F. Amazon River discharge estimated from TOPEX/Poseidon altimetry. *Geosciences Comptes Rendus (French Academy of Sciences)*, 338 (3):188-196, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.10.003>>. Acesso em: 05 nov. 2024.

96. PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M-P.; DE GONÇALVES, L.G.G.; CALMANT, S.; GETIRANA, A.; SILVA, J.S. Assimilating in situ and radar altimetry data into a large-scale hydrologic-hydrodynamic model for streamflow forecast in the Amazon. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17:2929-2946, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-17-2929-2013>>. Acesso em: 05 nov. 2024.

97. EMERY, C. M.; PARIS, A.; BIANCAMARIA, S.; BOONE, A.; CALMANT, S.; GARAMBOIS, P-A.; SILVA, J.S. Large-scale hydrological model river storage and discharge correction using a satellite altimetry-based discharge product, *Hydrology and Earth System Sciences*, 22:2135–2162, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-22-2135-2018>>. Acesso em: 05 nov. 2024.

98. PINEL, S.; BONNET, M-P.; SILVA, J.S.; GARNIER, J.; MOREIRA, D.; CATRY, T.; MOTTA MARQUES, D.; SEYLER, F. Flooding dynamics within an Amazonian floodplain: water circulation patterns and inundation duration. *Water Resources Research*, 56(1):e2019WR026081, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2019WR026081>>. Acesso em: 05 nov. 2024.
99. EMERY, C.M.; BIANCAMARIA, S.; BOONE, A.; RICCI, S.; ROCHOUX, M.C.; PEDINOTTI, V.; DAVID, C.H. Assimilation of wide-swath altimetry water elevation anomalies to correct large-scale river routing model parameters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24:2207–2233, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-24-2207-2020>>. Acesso em: 05 nov. 2024.
100. PARIS, A.; DE PAIVA, R.C.D.; SILVA, J.S.; MOREIRA, D.M.; CALMANT, S.; GARAMBOIS, P-A.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M-P.; SEYLER, F. Stage-discharge rating curves based on satellite altimetry and modeled discharge in the Amazon basin. *Water Resources Research*, 52:3787–3814, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/2014WR016618>>. Acesso em: 10 nov. 2024.
101. VAZE, P.; NEECK, S.; BANNOURA, W.; GREEN, J.; WADE, A.; MIGNOGNO, M.; ZAOUCHE, G.; COUDERC, V.; THOUVENOT, E.; PARISOT, F. The Jason-3 Mission: completing the transition of ocean altimetry from research to operations. *Proc. SPIE 7826, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XIV*, 78260Y, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/12.868543>>. Acesso em: 10 nov. 2024.
102. DONLON, C.; BERRUTI, B.; BUONGIORNO, A.; FERREIRA, M-H.; FÉMÉNIAS, P.; FRERICK, J.; GORYL, P.; KLEIN, U.; LAUR, H.; MAVROCORDATOS, C.; NIEKE, J.; REBHAN, H.; SEITZ, B.; STROEDE, J.; SCIARRA, R. The Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Sentinel-3 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120:37-57, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.024>>. Acesso em: 10 nov. 2024.
103. DONLON, C.J.; CULLEN, R.; GIULICCHI, L.; VUILLEUMIER, P.; FRANCIS, C.R.; KUSCHNERUS, M.; SIMPSON, W.; BOURIDAH, A.; CALENO, M.; BERTONI, R.; RANCAÑO, J.; POURIER, E.; HYSLOP, A.; MULCAHY, J.; KNOCKAERT, R.; HUNTER, C.; WEBB, A.; FORNARI, M.; VAZE, P.; BROWN, S.; WILLIS, J.; DESAI, S.; DESJONQUERES, J-D.; SCHARROO, R.; MARTIN-PUIG, C.; LEULIETTE, E.; EGIDO, A.; SMITH, W.H.F.; BONNEFOND, P.; LE GAC, S.; PICOT, N.; TAVERNIER, G. The Copernicus Sentinel-6 mission: Enhanced continuity of satellite sea level measurements from space. *Remote Sensing of Environment*, 258:112395, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112395>>. Acesso em: 10 nov. 2024.
104. JIANG, L.; SCHNEIDER, R.; ANDERSEN, O.B.; BAUER-GOTTWEIN, P. CryoSat-2 Altimetry Applications over Rivers and Lakes. *Water*, 9(3):211, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w9030211>>. Acesso em: 15 nov. 2024.
105. MORROW, R.; FU, L-L.; ARDHUIN, F.; BENKIRAN, M.; CHAPRON, B.; COSME, E.; D’OVIDIO, F.; FARRAR, J.T.; GILLE, S.T.; LAPEYRE, G.; LE TRAON, P-Y.; PASCUAL, A.; PONTE, A.; QIU, B.; RASCLE, N.; UBELMANN, C.; WANG, J.; ZARON, E.D. Global Observations of Fine-Scale Ocean Surface Topography With the Surface Water and Ocean Topography (SWOT) Mission. *Frontiers in Marine Science*, 6:232, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00232>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

106. ALSDORF, D.E.; LETTENMAIER, D.P. Tracking fresh water from space. *Science*, 301(5639):1491-1494, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1089802>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

107. ALSDORF, D.E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D.P. Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*, 45(2):RG2002, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2006RG000197>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

108. DURAND, M., FU, L.L., LETTENMAIER, D.P., ALSDORF, D.E., RODRÍGUEZ, E., FERNANDEZ, D.E., The surface water and ocean topography mission: Observing terrestrial surface water and oceanic submesoscale eddies. *Proceedings of the IEEE*, 98(5):766-779, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2043031>>. Acesso em: 15 nov. 2024.