

Programa de Gestão de Riscos e Desastres



PROJETO DINÂMICA FLUVIAL

ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

ENTRE SGB E IRD

Relatório De Atividades

Janeiro, 2024



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO
FEDERAL

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Inácio Melo

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Andrea de Oliveira Germano

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Emanuel Duarte Silva

EQUIPE EXECUTORA

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Daniel Medeiros Moreira

Jefferson Santana Melo

Leandro Guedes dos Santos

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Departamento de Hidrologia
Divisão de Hidrologia Aplicada

Programa de Gestão de Riscos e Desastres

AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

PROJETO DINÂMICA FLUVIAL

ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

ENTRE SGB E IRD

Relatório De Atividades

AUTORES

Daniel Medeiros Moreira

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Jefferson Santana Melo

Rio de Janeiro
Janeiro, 2024

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Daniel Medeiros Moreira

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Jefferson Santana Melo

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

XXXXX

FOTOS DA CAPA Fotografia realizada por DRONE da atividade de calibração e validação da missão espacial SWOT no lago Curuáí. Fonte (Ricardo Duarte/ DICART)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M838p

Moreira, Daniel Medeiros.

Projeto dinâmica fluvial acordo de cooperação internacional entre SGB e IRD : relatório de atividades / Daniel Medeiros Moreira, Andre Luis Martinelli Real dos Santos, Jefferson Santana Melo. – Rio de Janeiro : CPRM, 2023.

49 p. : il. ; 30 cm

Programa de gestão de riscos e desastres. Ação levantamentos, estudos, previsão e alerta de eventos hidrológicos críticos.

1.Bacias hidrográficas. 2.Hidrologia. I. Santos, Andre Luis Martinelli Real dos. II. Melo, Jefferson Santana. III. Título.

CDD 551.483

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB -7 / 5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM
www.cprm.gov.br
seus@cprm.gov.br

RESUMO

O presente relatório visa descrever as ações realizadas no ano de 2023, no contexto do projeto Dinâmica Fluvial, que operacionaliza o Acordo de Cooperação Internacional entre o Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento francês IRD (*Institut de Recherche Pour Le Développement*). O Projeto Dinâmica Fluvial vem, desde 2008, estruturando e consolidando no SGB o conhecimento técnico-científico na temática de aquisição de dados hidrológicos por meio de satélites orbitais.

Destacam-se no projeto as atividades para geração de informações hidrológicas, a validação de dados satelitais para aplicações em hidrologia, o suporte para os estudos e projetos do SGB, a exemplo dos sistemas de alertas hidrológicos, a contribuição no desenvolvimento e pesquisas de novas tecnologias de monitoramento hidrológico e a difusão do conhecimento científico.

Na temática do uso de satélites em hidrologias, as pesquisas, estudos, levantamentos e informações compartilhadas entre o SGB e IRD têm subsidiado o SGB na capacitação e uso de novas tecnologias relacionadas ao monitoramento hidrológico, a exemplo da altimetria espacial, estimativa de precipitação e de concentração de sedimentos por satélites entre outras. O SGB também vem se consolidando cientificamente na colaboração do desenvolvimento de novas tecnologias, em destaque na participação do time científico da missão espacial do SWOT (*Surface Water and Ocean Topography* - <https://swot.jpl.nasa.gov/>), satélite desenvolvido pela NASA e o CNES (Agência Espacial Francesa). No ano de 2023 foram realizadas quatro campanhas com o objetivo de contribuir para a validação de dados desse satélite no Brasil, sendo duas na fase de calibração e duas após as correções na órbita do satélite, resultantes dos dados de informações hidrológicas providas de campanhas nas mais diversas regiões do globo.

Em campo são realizados levantamento dos dados hidrometeorológicos que servem para validar, calibrar e complementar informações satelitais, a exemplo de dados de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para referenciamento de réguas limimétricas e perfilagem altimétrica da linha d'água, levantamento topográfico por drones e medição de descarga líquida e sólida.

Destaca-se no ano de 2023, o início da operação do site de informações hidrológicas por satélites, referente ao de nível de água de rios, fruto da parceria entre SGB e IRD (<https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>).

ABSTRACT

The present report aims to describe the actions carried out in the year 2023 within the context of the Fluvial Dynamics project, which operationalizes the International Cooperation Agreement between the Geological Survey of Brazil (SGB) and the French Institute of Research for Development (IRD - Institut de Recherche Pour Le Développement). The Fluvial Dynamics Project has been structuring and consolidating technical-scientific knowledge within the SGB on the acquisition of hydrological data through orbital satellites since 2008.

SGB project activities aims validate and generate hydrological information through satellite data, alongside with studies and projects such as hydrological alert systems to contribute to the development and research of these new technologies of hydrological monitoring and also guide the institution to spread this knowledge through the society.

The research, studies, surveys and information shared between the SGB and IRD on the use of satellites in hydrology, has supported SGB in training in the use of new technologies related to hydrological monitoring, such as spatial altimetry, estimation of precipitation and sediment concentration by satellites among others. Through the acquired expertise, the SGB also becomes a scientific contributor in the development of new technologies, highlighted in the participation of science team in the space mission SWOT (Surface Water and Ocean Topography), a satellite developed by NASA and the CNES (French Space Agency), (<https://swot.jpl.nasa.gov/>). In 2023, four campaigns were conducted with the aim of contributing to the validation of data from this satellite in Brazil, including two in the calibration phase and two after corrections in the satellite's orbit, resulting from hydrological information data campaigns in various regions of the globe.

In the field, surveys of hydrometeorological data are conducted to validate, calibrate, and complement satellite information, including data from GNSS (Global Navigation Satellite System) receivers for the referencing of limnometric gauges, altimetric profiling of the water line, as well as topographic surveys by drones and measurements of liquid and solid discharge.

A significant highlight in 2023 was the commencement of the operation of the site-web for provided hydrological data derived from remote sensing, a result of the partnership between SGB and IRD (<https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de atuação da pesquisa em hidrologia por satélites.	12
Figura 2 - Exemplo de embarcação utilizada nas campanhas de coleta de dados	14
Figura 3 - Pesquisador em Geociências André Santos realizando pesagem dos filtros em balança de precisão, ação fruto da parceria com o LAMIN Manaus.....	15
Figura 4 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União.	16
Figura 5 – Detalhes da missão SWOT. Fonte: NASA.....	17
Figura 6 – Sítios de calibração e validação do satélite SWOT na América do Sul para órbita de 1 dia.	20
Figura 7 – Coleta de dados da linha de água do rio Tsirinbihina através de receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO.....	21
Figura 8 – Perfil longitudinal do rio Tsirinbihina obtido através do processamento de dados GNSS.....	22
Figura 9 – Coleta de dados da linha de água do rio Ganges através de receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO e estação fluviométrica no rio Ganges.	23
Figura 10 – Perfil longitudinal do rio Ganges obtido através do processamento de dados GNSS.	23
Figura 11: Levantamento de altimetria com a CALNAGEO e o GNSS com radar acoplado no suporte da embarcação principal.....	25
Foto 12 – Exemplificação da janela de extração de informação através do drone.	26
Figura 13 – Coleta de dados da linha de água do rio Negro através de receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO	27
Figura 14 – Equipe de campo que participou da missão de CAL/VAL do SWOT no Alto- Rio Negro.	28
Figura 15 – Modelo Digital e nuvem de pontos do reservatório violeta.	30
Figura 16 – Coleta de dados de nível de água e nivelamento por GNSS no rio Garona. 31	
Figura 17 – Amostra de sedimentos na rampa de filtração montada na embarcação e dentro do amostrador de sedimentos pontual do tipo garrafa Van Dorn horizontal antes de ser retirada	34
Figura 18 – Participantes do SWOT Science Team em Toulouse	35
Figura 19 – Primeiros resultados do satélite SWOT comparados com perfis GNSS coletados no Alto rio Negro.....	36
Figura 20 – Participantes do Hydrospace 2023.....	38
Figura 21 – Programação do curso FLUVIUS Anavilhanas 2023.....	40

Figura 22 – Apresentação do curso e sala de aula no Observatoire de Midi-Pyrénées (OMP) em Toulouse.....	41
Figura 23 – Exemplo de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial. .	42
Figura 24 – Exemplo perfil altimétrico calculado através de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial.....	43
Figura 25 – Dados de previsão de chuva	44
Figura 26 : Tela da APP-WEP https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Reservatórios revisitados resultantes da campanha de 2022.....	29
Tabela 2: Novos reservatórios na região de Crateús e Quixeramobim.....	29
Tabela 3 Resultado das medições de descarga líquida obtidas na campanha.....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.2 Justificativa.....	11
1.3. Área de Atuação	12
1.4 Equipe do Projeto	13
2. ATIVIDADES REALIZADAS EM 2023	13
2.1 Pesquisa em Hidrologia a partir da Missão Espacial SWOT (NASA/CNES)	17
2.2 Trabalhos De Campo Realizados.....	19
2.2.1 Campanha de CAL/VAL SWOT em Madagascar	20
2.2.2 Campanha de CAL/VAL SWOT no rio Ganges na Índia.....	22
2.2.3. Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Curuai / Santarém – PA	24
2.2.4 Campanha de CAL/VAL do SWOT no Alto Rio Negro	26
2.2.5 Campanha de CAL/VAL do SWOT em reservatórios no semiárido cearense.....	29
2.2.6 Campanha de CAL/VAL do SWOT no rio Garona na França.....	31
2.2.7 Campanha do projeto Hybam	31
2.3 Participações em Eventos Técnico-Científicos e Atividades de Pesquisas realizadas em 2023	34
2.3.1 Apresentação no “2023 SWOT Science Team Meeting” em Toulouse, França	35
2.3.2 Artigos produzidos para revistas científicas.....	37
2.3.3 Trabalhos apresentados no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.....	37
2.3.4 Evento Hydrospace 2023.	38
2.3.5 Projeto de Capacitação FLUVIUS.....	39
2.3.6 Capacitação Water Detect em Toulouse.....	40
2.4 Coleta de dados obtidos através de receptores GNSS com apoio logístico da Rede Hidrometeorológica Nacional.	41
2.4 Suporte de previsão pluviométrica por satélite aos sistemas de alertas	43
2.5 site de visualização da rede de Monitoramento fluviométrico Por Satélite	44
3. CONCLUSÃO E PERSPECTIVA PARA 2024.....	46
4. AGRADECIMENTOS	48
5.REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade um novo cenário pode ser empregado na área de hidrometria, onde, a partir de dados de sensores localizados em plataformas orbitais, por complementaridade e associação aos dados obtidos *in situ*, pode-se diminuir a carência de dados hidrológicos básicos, como precipitação, nível de água dos rios, lagos. Também é possível validar, consistir ou mesmo preencher séries de dados coletados em campo por meio desta tecnologia.

Atualmente estão sendo cada vez mais presentes o uso de ferramentas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico como um importante caminho para o melhor entendimento da hidrologia, dinâmica de transporte dos rios em bacias hidrográficas e o ciclo hidrológico em escala global.

O uso da técnica de sensoriamento remoto em hidrologia é capaz de proporcionar, de forma complementar, diversas contribuições, considerando a sua capacidade de geração de dados com cobertura quase global, permitindo a aquisição de informações hidrológicas em regiões de difícil acesso, distantes dos grandes centros, regiões fora do território do Brasil, florestadas, ínvias etc. Além disso, a integração de dados satelitais em hidrologia representa a possibilidade de melhorar o conhecimento hidrológico a baixo custo devido ao fato de que a maioria destes dados são fornecidos gratuitamente por agências espaciais internacionais.

No entanto, para a melhor utilização de dados de sensoriamento remoto em hidrologia, se faz necessária uma análise consistente dos usos e das incertezas envolvidas, caso estes dados não sejam validados ou sejam utilizados de forma imprecisa, os resultados incorporados por estas novas tecnologias pode trazer estimativas de variáveis hidrológicas com elevado grau de incertezas.

O usuário deve estar ciente e bem capacitado para observar as possíveis discrepâncias, principalmente no que diz respeito à precisão e as escalas espaciais e temporais adotadas na pesquisa. Para que estas incertezas não se propaguem, também é importante que o pesquisador tenha um forte conhecimento da área de estudo, a fim de entender as magnitudes resultantes das variáveis hidrológicas que estão sendo estimadas.

Portanto, para as análises realizadas se consolidarem em ações ou produtos que respondam às demandas da sociedade, é de suma importância o conhecimento e controle das incertezas para transformar os dados oriundos dos sensores orbitais em informações confiáveis e aplicáveis.

Com base no desenvolvimento deste novo cenário tecnológico, o Serviço Geológico do Brasil em 2008, sob a coordenação da Divisão de Hidrologia Aplicada (DIHAPI) e do Departamento de Hidrologia (DEHID), iniciou a Cooperação Internacional com o Instituto de

Pesquisa francês IRD (*Institut de Recherche Pour Le Développement*), cooperação esta que viabiliza a realização do projeto institucional do SGB nominado “Dinâmica Fluvial”.

Atualmente este acordo internacional encontra-se em sua terceira renovação, estendida até novembro de 2024, sob o título “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE INVESTIGAÇÃO DA DINAMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”.

1.1 Objetivos

O principal objetivo do projeto Dinâmica Fluvial é o estudo e o desenvolvimento de novas técnicas de aquisição de dados hidrológicos básicos por meio de satélites orbitais, compreendendo as suas limitações e explorando o seu potencial para o monitoramento hidrológico, de modo a encontrar soluções sob a perspectiva qualitativa e quantitativa, contribuindo para a redução dos custos operacionais envolvidos na coleta destes dados hidrológicos, redução do tempo necessário para sua aquisição, e o desenvolvimento tecnocientífico global.

De forma específica, o projeto Dinâmica Fluvial almeja:

- Fomentar a capacitação do corpo de pesquisadores do SGB em novas tecnologias para a aquisição de dados e em modelagem hidrológica por meio do acordo de cooperação internacional com o IRD, por meio de intercâmbios, capacitações e projetos de pesquisas acadêmicos;
- Desenvolver novas técnicas de posicionamento global que garantam o controle geodésico e o monitoramento de informações hidrológicas básicas;
- Aprimorar e aplicar técnicas de sensoriamento remoto que visem a obtenção de informações de níveis de água por satélite na bacia Amazônica;
- Gerar estimativas de descarga sólida nos grandes rios Amazônicos e validá-las com dados de sensoriamento remoto; e
- Implementar metodologias e equipamentos de campo adaptados às especificidades hidrossedimentológicas dos grandes rios Amazônicos.

1.2 Justificativa

A orientação e a justificativa deste projeto estão norteadas pela missão institucional do Serviço Geológico do Brasil (SGB), as quais incluem as atividades de geração de informações hidrológicas básicas para subsidiar os estudos e projetos que demandam o conhecimento acerca dos Sistemas de Alerta Hidrológico, disponibilidade hídrica e do potencial hidráulico

das bacias brasileiras, a exemplo do monitoramento hidrológico básico realizado pelo SGB através da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) em todo o território brasileiro.

Em consonância com a sua missão, as técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico já são atualmente utilizadas em diversos estudos e aplicações em diferentes regiões do globo terrestre, permitindo que sejam utilizadas de forma operacional como ferramenta de apoio no monitoramento hidrológico convencional.

Do ponto de vista científico, o uso do sensoriamento remoto representa o maior avanço tecnológico em hidrometria dos últimos anos, e portanto é fundamental que o Serviço Geológico do Brasil esteja na vanguarda, preparado para liderar as ações no desenvolvimento das técnicas, métodos e processos envolvidos.

1.3. Área de Atuação

Em sinergia com o nome do acordo de cooperação “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”, a área de estudo do projeto Dinâmica Fluvial abrange três grandes bacias hidrográficas que fazem parte do território brasileiro, sendo as duas primeiras compartilhadas com mais países, a citar a bacia do rio Amazonas, bacia do rio Paraguai e bacia do rio São Francisco, observadas na Figura 1.



Figura 1 – Área de atuação da pesquisa em hidrologia por satélites.

1.4 Equipe do Projeto

As atividades realizadas através da cooperação entre o SGB e o IRD, tendo em vista a sua vigência pelo período de cinco (5) anos do acordo (de 2019 a 2024), têm o envolvimento permanente de três pesquisadores do SGB. São eles:

- O pesquisador em geociências Andre Luis Martinelli Real dos Santos, chefe da GEHITE-MA (Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial, da Superintendência de Manaus);

- O analista em geociências Daniel Medeiros Moreira, da DIHAPI (Divisão de Hidrologia Aplicada) que, além da atividade de pesquisa realizada, também é o coordenador científico do projeto pelo SGB; e

- O analista Jefferson Melo, que é o coordenador administrativo do projeto e está atualmente se capacitando em linguagens de programação com vistas ao tratamento de imagens de satélite.

Por parte do IRD as atividades são desenvolvidas por diversos pesquisadores, destacando-se o pesquisador Fabrice Papa, que é coordenador científico do acordo pelo IRD, Jean-Michel Martinez, Fabien Durand e Stéphane Calmant.

Além disso, atualmente o projeto também conta com um forte suporte operacional de várias superintendências regionais que são responsáveis pelas áreas de atuação do projeto. Aqui podemos mencionar o apoio, em 2023, e as medições de campo fundamentais para o projeto que foram concedidas pela SUREG-BE através da atuação do técnico Leandro Guedes e apoio gerencial de Homero Reis, Superintendente, Sheila Gatinho e Johelder Souza na coordenação da GEHITE, e o supervisor Mauro Rodrigues.

Pela SUREG-MA temos a atuação e apoio gerencial do GEHITE Andre Santos, e o suporte operacional do supervisor Daniel Garcia e de diversos técnicos de hidrologia lotados nesta Superintendência e no Laboratório de Análises Mineraiis – LAMIN.

2. ATIVIDADES REALIZADAS EM 2023

A concepção metodológica do projeto Dinâmica Fluvial baseia-se na integração de atividades de campo, escritório, publicação e a realização de encontros científicos.

Para validação das técnicas de sensoriamento remoto são necessárias a realização de campanhas de campo. Essas campanhas de campo normalmente se executam associadas ao monitoramento hidrológico convencional que envolve medições de vazão, coleta de registros dos observadores hidrológicos, pagamento dos observadores, manutenção das estações hidrometeorológicas etc. Estas campanhas são realizadas geralmente através de uma embarcação de madeira tipicamente amazônica, como pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 - Exemplo de embarcação utilizada nas campanhas de coleta de dados.

Nestas campanhas de campo do projeto, o barco regional é utilizado como base para a realização de trabalhos dos levantamentos hidrológicos, com medições e coletas de dados de:

- Vazões líquidas;
- Vazões sólidas;
- Coleta dos registros de cotas fluviométricas;
- Manutenção das estações e análise preliminar dos dados coletados;
- Medições de qualidade de água;
- Coleta de amostras para estimativa de concentração de sedimentos;
- Medição de radiometria in situ;
- Coleta de dados das estações GPS instaladas;
- Coleta de dados de profundidade e declividade da linha de água através de receptores GPS e ecobatímetro instalados no barco; e
- Aplicação de dados de sensoriamento remoto em pesquisa na caracterização hidrológica da bacia Amazônica.

No escritório, as seguintes atividades são realizadas:

- Análise e processamento dos dados coletados;

- Aquisição e processamento de imagens de satélite referente aos estudos citados;
- Armazenamento das informações no banco de dados do projeto; e
- Comparação de dados de campo e dados de satélite para validação de produtos de sensoriamento remoto.

No escritório também são realizados estudos focados prioritariamente em duas áreas, sendo a primeira dedicada às pesquisas de uso de dados de sensoriamento remoto em medições sedimentométricas, que envolvem também medições de vazão e sedimentos no campo, e a segunda dedicada aos esforços de elaboração e inovação da pesquisa de uso de dados de geodésia espacial no monitoramento hidrológico, envolvendo aplicações de altimetria espacial e sistema de posicionamento global por satélites.

Na área de sedimentometria os dados de vazões sólidas e radiometria são comparados com dados de sensoriamento remoto das imagens MODIS dos sensores Aqua e Terra. Utiliza-se a infraestrutura do laboratório LAMIN em Manaus como suporte de estudos de sedimentos empreendidos pela SUREG-MA. Esta atividade pode ser exemplificada na ação pelo pesquisador André Santos, na figura 3.



Figura 3 - Pesquisador em Geociências André Santos realizando pesagem dos filtros em balança de precisão, ação fruto da parceria com o LAMIN Manaus.

Na pesquisa em altimetria espacial, os dados de cotas fluviométricas são comparados com os dados de satélites a fim de verificar a qualidade deles. Assim, os dados das estações GPS são analisados de forma a realizar um controle geodésico da estação, perfis de batimetria e linha de água, conforme figura 4. Estes mesmos dados são utilizados para interpretações/correções nos dados de altimetria, disponibilizados através de diversos sensores altimétricos como, por exemplo, Jason-2 e 3, Sentinel 3a e 3b, Cryosat etc. Neste sentido, busca-se um referencial global para os níveis de água registrados por estações fluviométricas, de forma a permitir a compatibilização de diversas fontes de informação hidrológica, de forma que os valores fluviométricos obtidos por diferentes estações e técnicas como a altimetria espacial possam ser utilizados de forma conjunta e correta em estudos hidrológicos.



Figura 4 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União.

2.1 Pesquisa em hidrologia a partir da Missão Espacial SWOT (NASA/CNES)

Através da continuidade da parceria na pesquisa de altimetria espacial com o IRD, o SGB teve oportunidade de contato com agências espaciais internacionais. Este contato possibilitou ao SGB a oportunidade de contribuir diretamente com a pesquisa produzida para missões espaciais em desenvolvimento, em especial, com a participação do time científico de desenvolvimento do satélite SWOT (NASA/CNES).

Atualmente, o SGB lidera em conjunto com o IRD o projeto do time científico denominado “*SWOT for South America*”, no qual estão envolvidas diversas instituições de pesquisa em hidrologia da América do Sul, a qual abordam várias áreas temáticas relacionadas ao ciclo da água, hidrologia e hidroclimatologia da América do Sul. Os objetivos do “*SWOT for South America*” tem como foco avançar nas ciências da água no contexto do SWOT e conectar a comunidade que trabalha com "hidrologia a partir do espaço" em toda a América do Sul. Combinando e analisando uma ampla variedade de observações de técnicas de sensoriamento remoto, medições *in situ* e modelagem, gerando inúmeras atividades científicas e resultados-chave relacionados ao SWOT.

O SWOT é uma missão espacial que desenvolveu um satélite com Radar de Abertura Sintética (SAR) em modo de interferometria para fornecer, pela primeira vez na história da hidrologia, observações de águas superficiais em alta resolução espacial e temporal, sendo também a primeira missão espacial desenvolvida especificamente para a observação de águas superficiais (Figura 5).

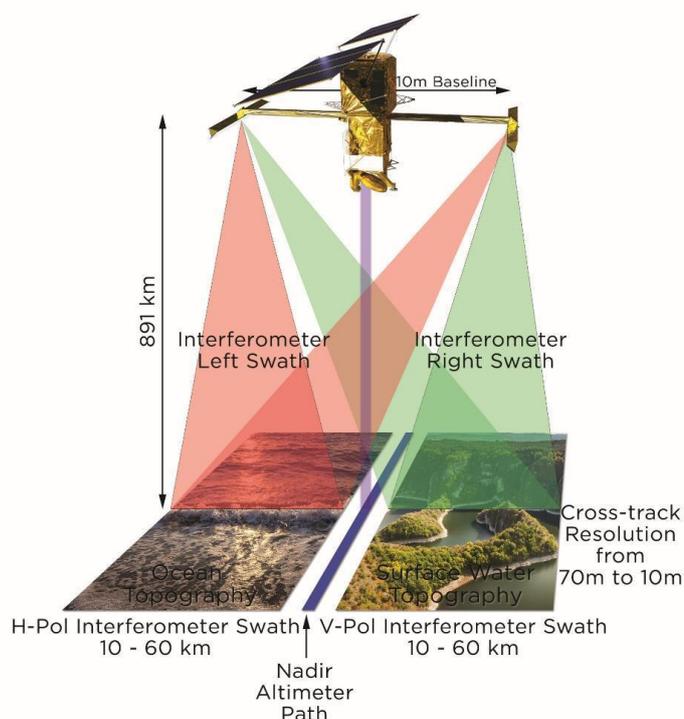


Figura 5 – Detalhes da missão SWOT. Fonte: NASA.

No presente existem missões espaciais com sensores altimétricos e outras com sensores imageadores. O SWOT irá prover simultaneamente campos espaço-temporais de níveis d'água, largura, declividade e vazão em rios e lagos.

Esta missão resultará na ampliação do conhecimento sobre sistemas hídricos e na melhora de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos que serão usados como ferramentas técnicas na solução de problemas relacionados à disponibilidade hídrica.

Atualmente, o analista Daniel Moreira, que é membro do time científico de missão SWOT, realiza desde janeiro de 2022 atividade de pós-doutoramento na França, no laboratório GET (*Géosciences Environnement Toulouse*), em projeto financiado pela Agência Espacial Francesa (CNES).

Através desta proposta, o analista Daniel Moreira trabalha em uma rede internacional de pesquisa de altimetria por satélites, a qual o SGB está inserido, visando que este coordene os avanços e estabeleça protocolos internacionais para o processamento, validação e calibração de dados de satélite, com destaque a avaliação e a preparação para missão SWOT.

Em 2023 também foi submetida pelo IRD e SGB a proposta de continuidade na participação do SWOT *Science Team*, a proposta intitulada "*SWOT for the AMazon BASin*" com o acrônimo SAMBA se baseia no projeto precursor "*SWOT for South America*", que fazia parte da Equipe Científica SWOT (SWOT-ST) de 2020-2023, visando assim dar continuidade aos esforços e conquistas passados, agora com observações do SWOT, à escala da bacia amazônica.

Os objetivos científicos são duplos: 1) fazer uso das medições do SWOT para aprimorar os benefícios dos produtos do SWOT para a hidrologia; 2) trabalhar na busca de responder às perguntas de pesquisa inovadoras com observações do SWOT.

Novos dados do SWOT oferecem uma oportunidade sem precedentes para estudar a hidrologia e o ciclo da água da bacia do rio Amazonas. O projeto SAMBA propõe explorar as medições do SWOT, juntamente com uma variedade de outros satélites, contribuições de medições in situ e modelagem numérica para progredir em nossa compreensão da hidrologia e ciclo da água da região.

Trabalhando em diferentes escalas espaço-temporais, desde a escala da bacia até escalas regionais/locais em várias regiões de interesse (planícies de inundação de Mamirauá, rio Negro, Curuai-Obidos-Tapajós, com alguma extensão à Guiana Francesa) para abordar questões científicas chave não respondidas, incluindo:

- Qual é a quantidade sazonal de água que enche e esvazia as planícies de inundação da Amazônia, sua variabilidade interanual e seu comportamento durante eventos excepcionais de seca/inundação?

- Quais processos governam a variabilidade da água e extremos nos principais rios, afluentes e planícies de inundação?
- Qual é o "verdadeiro" escoamento do rio Amazonas, e quão precisos são os dados do SWOT em toda a bacia?
- Quanto a variabilidade das planícies de inundação e dos lagos impacta a dinâmica e o escoamento do rio?
- O relevo das planícies de inundação da Amazônia pode ser mapeado com o SWOT?
- Como o SWOT pode ajudar a reconhecer e quantificar a quantidade de água sob a vegetação escondida dos sensores ópticos?
- Como a assimilação de dados do SWOT pode melhorar as simulações do modelo hidrológico-hidrodinâmico MGB em diferentes escalas espaço-temporais?
- Os resultados obtidos podem ser extrapolados para outras regiões da América do Sul (Pantanal, Rio Paraguai, Meta, Orinoco)?

A equipe do projeto SAMBA é composta de pesquisadores de diversas instituições como SGB , IRD , CNES , IPH-UFRGS , ANA, CNRS, LEGOS, GET, PNNL , INRAE, Hydromatters, Universidade de Estocolmo, Universidade de Concepción, Universidade de Brasília e Instituto Mamirauá. A equipe do projeto é liderada pelos pesquisadores Fabrice Papa (IRD) e Daniel Moreira (SGB).

2.2 TRABALHOS DE CAMPO REALIZADOS

Em 2023, foram conduzidas uma série de campanhas de campo dedicadas à calibração e validação do satélite SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*), figura 6. Isso representa um marco significativo de esforços do SGB para aprimorar a precisão e confiabilidade das informações hidrológicas globais provenientes da nova missão de monitoramento hidrológico, a partir de dados de sensoriamento remoto. Essas campanhas não apenas contribuem para o aprimoramento dos algoritmos de monitoramento hidrológico provenientes da missão espacial SWOT, mas também expandem nosso conhecimento sobre as variabilidades sazonais da hidrologia em sistemas fluviais importantes no contexto hidrológico, social e econômico.

Essas campanhas de campo fizeram parte da atividade oficial de calibração e validação (CAL/VAL) da missão espacial SWOT e do pós-doutoramento do analista Daniel Moreira, atividades estas onde o SGB e IRD colaboram com as agências espaciais, como o CNES e NASA, consolidando a presença do SGB na colaboração global na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias avançadas de monitoramento hidrológico.

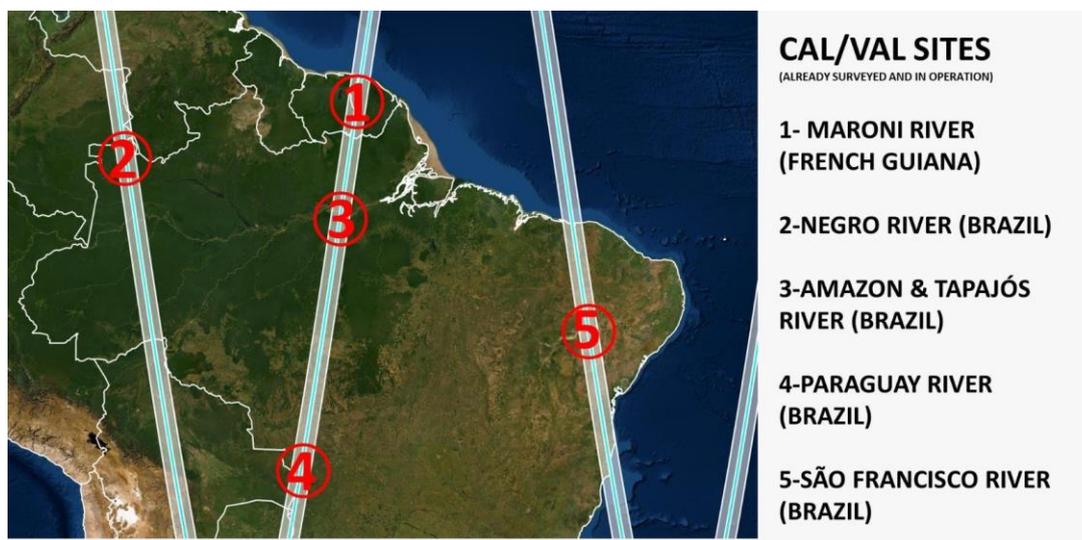


Figura 6 – Sítios de calibração e validação do satélite SWOT na América do Sul para órbita de 1 dia.

2.2.1 Campanha de CAL/VAL SWOT em Madagascar

Entre os dias 02 à 16 de abril de 2023, foi realizada uma campanha de campo internacional coordenada pelo IRD e CNES (Agência Espacial Francesa) com a participação do SGB através da presença do analista Daniel Moreira. A campanha de campo foi realizada em Madagascar, na África. Durante essa campanha foram coletados dados de perfis altimétricos de linha de água do rio Tsirinbihina para validação e calibração do satélite SWOT (Figura 7). Esses dados foram coletados através de receptores GNSS embarcados na plataforma flutuante “CALNAGEO” que tem o propósito de criar uma superfície aderente a linha de água de forma que os dados obtidos pelos receptores GNSS obtenham a informação da elevação de superfície da água da forma mais precisa possível.



Figura 7 – Coleta de dados da linha de água do rio Tsirinbihina através de receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO.

Os dados GNSS foram analisados e processados pelo analista Daniel Moreira durante seu estágio de pós-doc em Toulouse, criando o perfil transversal do rio Tsirinbihina obtido na zona de calibração e validação do satélite SWOT , conforme descrito na figura 8.

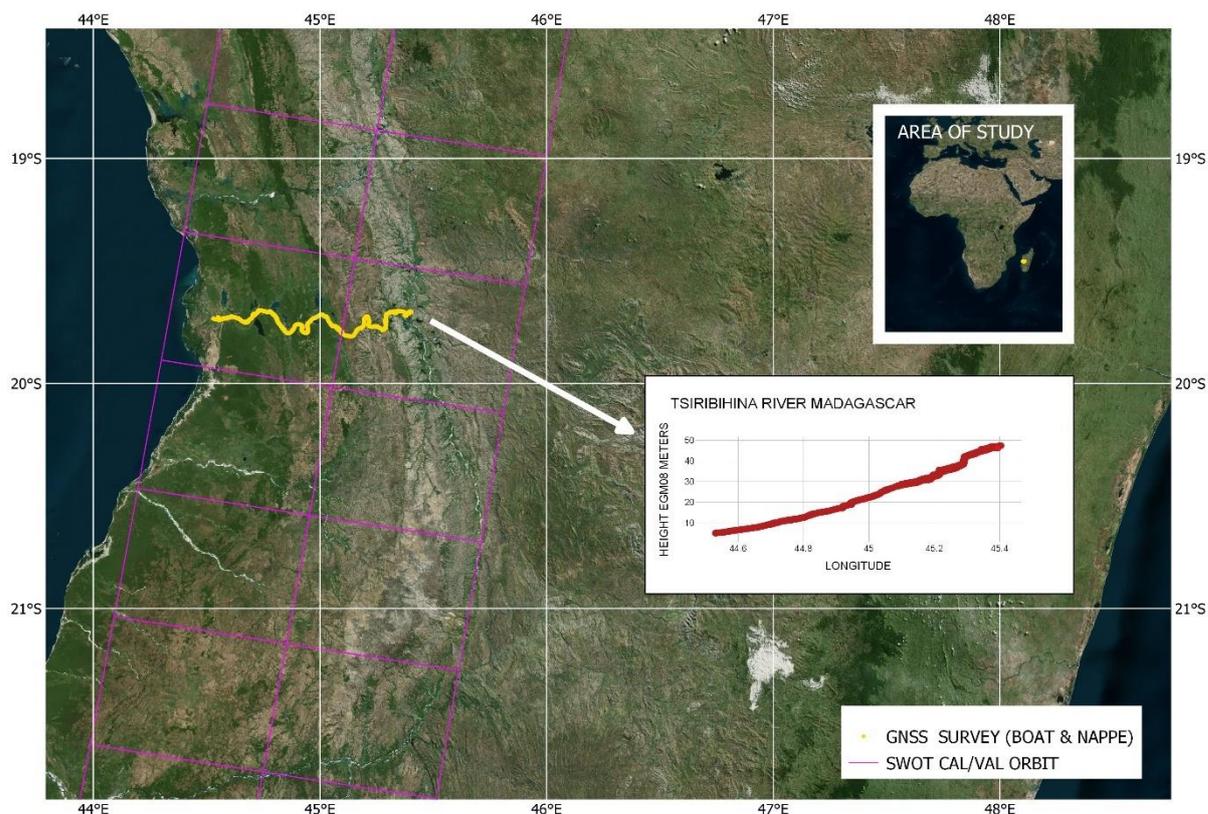


Figura 8 – Perfil longitudinal do rio Tsirinbihina obtido através do processamento de dados GNSS.

2.2.2 Campanha de CAL/VAL SWOT no rio Ganges na Índia.

Entre os dias 21 de abril a 02 de maio, uma nova campanha de campo internacional para validação e calibração do satélite SWOT foi realizada na Índia (Figura 9). A campanha foi executada no rio Ganges e organizada pelo Departamento de Hidrologia do Instituto Tecnológico de Roorkee, IRD e CNES, contando com a colaboração do SGB também através da participação do analista Daniel Moreira. Da mesma forma que na campanha anterior com o propósito de validar e calibrar dados da missão espacial SWOT foram coletados perfis altimétricos da superfície da água de forma a dá suporte a comparação e ajustes nos dados coletados pelo satélite SWOT (Figura 10).

Os dados coletados também foram processados pelo analista Daniel Moreira durante o estágio de pós-doutoramento em Toulouse na França e servirão como fonte de informação para calibração da missão espacial SWOT.



Figura 9 – Coleta de dados da linha de água do rio Ganges através de receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO e estação fluviométrica no rio Ganges.

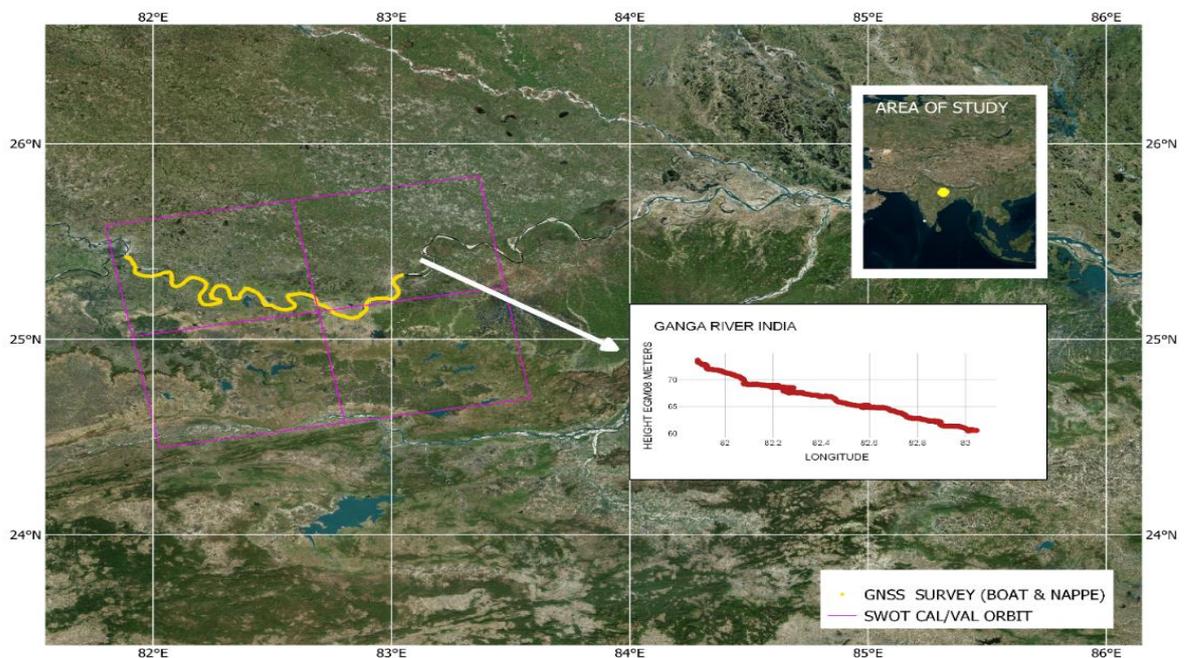


Figura 10 – Perfil longitudinal do rio Ganges obtido através do processamento de dados GNSS.

2.2.3. Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Curuai / Santarém – PA

Na região do baixo rio Amazonas localizada próximo a cidade de Santarém foram realizadas duas campanhas de campo para validação do satélite SWOT. Essas campanhas ocorreram nos meses de maio e dezembro de 2023 e foram organizadas pelo SGB em colaboração com o IRD e Agência Espacial Francesa.

Embora essas campanhas apresentassem atividades similares, elas possuem objetivos distintos. A primeira, realizada entre os dias 11 a 24 de maio, o foco foi na calibração do satélite SWOT. Esse período foi de janeiro a julho e o satélite apresentava uma resolução temporal diária de fornecimento de dados para a região, em virtude do direcionamento da sua órbita para pontos específicos do globo.

Nessa etapa a NASA e o CNES receberam os dados de campo, entre eles os dos sítios de validação no Brasil, os quais foram processados e depois disponibilizados as agências espaciais para as devidas correções do satélite. Esse processamento é realizado por um grupo seleto de pesquisadores, entre os quais está inserido o pesquisador Daniel Medeiros, em seu programa de pós-doc.

Na segunda etapa, realizada entre os dias 29/11 a 04/12, o objetivo foi a validação de dados que não se limitaram aos pontos de calibração do satélite, mas a todas as superfícies líquidas do planeta. Porém a resolução temporal foi ampliada para, no geral, 21 dias.

Durante essas campanhas de campo o percurso navegado foi entre Santarém, Óbidos e lago de Curuai. Da mesma forma que as campanhas descritas anteriormente foram coletados dados de perfis de linha de água através de receptores GNSS que além da plataforma CALNAGEO também foram instalados na embarcação fluvial. Desta forma a equipe foi dividida, uma fazendo o levantamento com a CALNAGEO e a outra usando o GPS instalado no barco, conforme figura 11. Isso permitiu ampliar a área de medição elevação da superfície de água. Ampliando essa rede de dados foram recuperadas as informações dos sensores de pressão de nível que foram instalados ao longo do lago Curuai na campanha realizada em 2022.

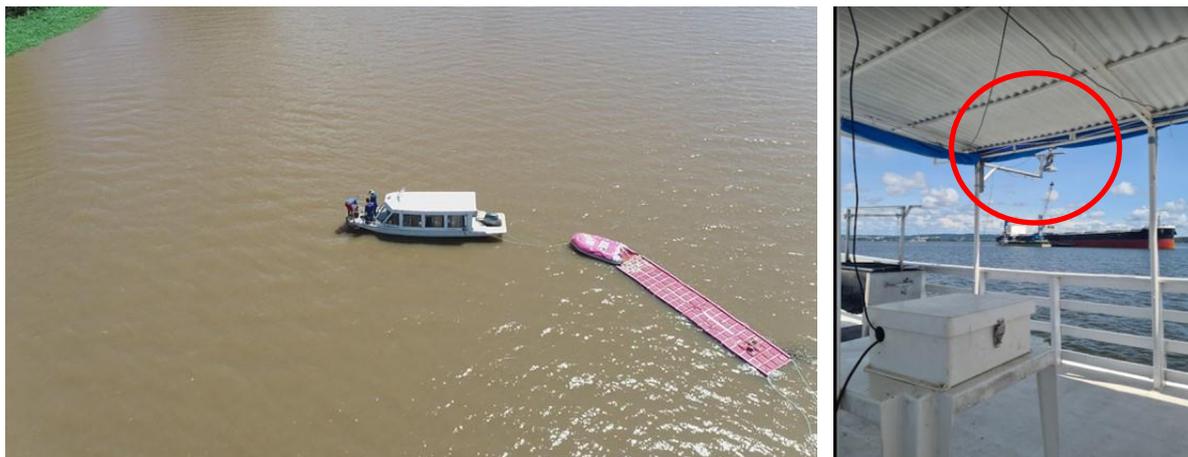


Figura 11: Levantamento de altimetria com a CALNAGEO e o GNSS com radar acoplado no suporte da embarcação principal.

Associados a esses dados foram levantados os dados de batimetria por meio de ecobatímetros que foram instalados na embarcação. Tanto os receptores GNSS quanto os ecobatímetros foram instalados em duplicidade de forma a garantir a coleta de dados, bem como a avaliação de qualquer inconsistência nas informações que serão utilizadas para avaliação de dados de satélite. Também foram realizadas medições de vazões através de ondas acústicas utilizando o efeito Doppler. A seção transversal escolhida para medição foi a própria seção padrão de medição de Óbidos, foram utilizadas as cotas altimétricas desta estação sendo a vazão medida de 235.000 m³/s. Em Óbidos também foi realizada a extração de informações de nível de água da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) instalada em Óbidos no rio Amazonas.

A fim de identificar as possíveis áreas expostas as flutuações do nível do rio e para contribuir na identificação de possíveis ruídos na extração de dados altimétricos oriundos da missão SWOT, foi realizada, em alguns pontos, o levantamento topográfico a partir da tecnologia lidar (*Light Detection And Ranging*) aerotransportado, conforme figura 12. O resultado foi uma nuvem de pontos com dados X, Y e Z de forma a produzir um Modelo Digital de Elevação de alta precisão. No futuro, esse levantamento pode também contribuir com possíveis ações de planejamento de algumas áreas ribeirinhas, auxiliando a gestão territorial em seus diversos problemas estruturais em nível ambiental e social. Principalmente no que diz respeito na caracterização de riscos hidrológicos.

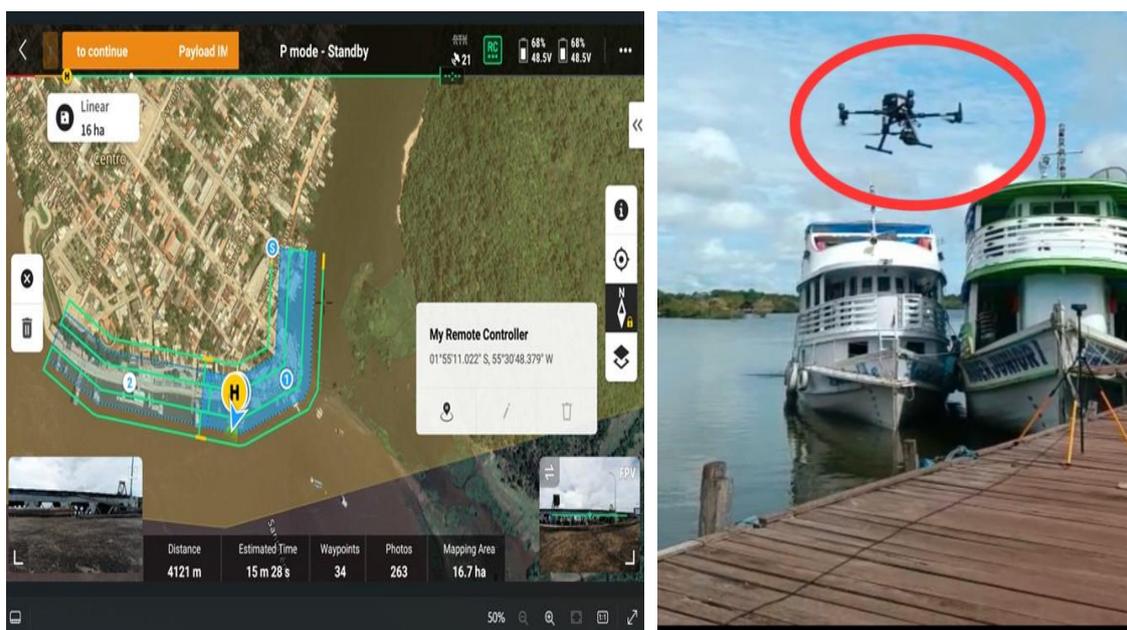


Foto 12 – Exemplificação da janela de extração de informação através do drone.

Nesta campanha tiveram presentes técnicos do SGB, IRD e UFOPA, foram eles: Daniel Moreira (SGB/ERJ), Leandro Santos (SGB/Belém), Jefferson Melo (SGB/ERJ), Homero Reis (SGB/Belém), André Martinelli (SGB/Manaus), Ricardo Duarte (SGB/RJ), Rubens Kenup (SGB/RJ), Micheli Nascimento (SGB/RJ), Fabrice Papa (IRD), Mariele Gosset (IRD), Malika Saibron (IRD), Pauline Brossat (IRD), Avner Gaspar (UFOPA) e Silvert Sousa (UFOPA).

2.2.4 Campanha de CAL/VAL do SWOT no Alto Rio Negro

Entre os dias 4 e 18 de junho de 2023 foi realizada a campanha de CAL/VAL no Alto Rio Negro, também utilizando uma embarcação de madeira tipicamente amazônica, onde foram realizados os trabalhos de levantamento hidrológico, com medições e coletas de dados. Objetivo foi a calibração e validação (Cal/Val) do satélite SWOT. Registrando atividades similares as campanhas anteriores, por possuírem objetivos semelhantes, essa campanha foi realizada em conjunto com a Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN, aproveitando o roteiro de manutenção das estações na região, e com o apoio da Brigada de Fronteira do Exército Brasileiro.

O percurso navegado foi entre São Gabriel da Cachoeira, Alto Rio Negro, Rio Içana, Rio Uapés e Rio Tiquié, chegando até a tríplice fronteira com a Colômbia e Venezuela. Foram coletados dados de perfis de linha de água através de receptores GNSS que foram instalados na embarcação. Para ampliar a medição, também foi utilizado o CALNAGEO (Figura 13). Com uma equipe fazendo o levantamento com a CALNAGEO e a outra usando o GPS instalado no barco, dessa forma a área de monitoramento foi ampliada, além de alcançar pontos inviáveis com a embarcação.



Figura 13 – Coleta de dados da linha de água do rio Negro através de receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO.

Também foram coletados dados de sedimentos e vazão, somando-se a manutenção das réguas fluviométricas e das PCDs (Plataforma de Coleta de Dados) da rede hidrológica. Esses dados ampliam as informações hidrológicas para calibração e validação do SWOT, principalmente nos pontos de interseção das passagens da órbita do satélite.

Para complementar os dados coletados e fornecer informações topográficas dos pontos de maior interesse, as quais são mais expostas as variações do rio, foi realizado um levantamento de dados topográficos com o uso de drone utilizando a tecnologia Lidar. Os dados gerados, a partir de uma nuvem de pontos bem expressiva, contribuirão para identificar as potencialidade dos problemas ambientais que atingem as regiões ribeirinhas. Essa campanha teve a participação da seguinte equipe: Daniel Moreira (SGB), Fabrice Papa (IRD), Pauline Brossat (IRD), Jefferson Melo (SGB), Ricardo Oliveira (SGB), Robson Azevedo (SGB), Daniel Garcia (SGB), Malika Saibron (IRD), Arthur Abreu (SGB), Taina Conchy (IRD), Jacques Verron (Hydromatters), Marcos Barreto (SGB), Stg. Fábio Viveros (Exército) e Cb, Ramos (Exército) conforme figura 14.



Figura 14 – Equipe de campo que participou da missão de CAL/VAL do SWOT no Alto-Rio Negro.

2.2.5 Campanha de CAL/VAL do SWOT em reservatórios no semiárido cearense

A fim de contribuir para o processo de calibração do SWOT em ambientes de lagos e reservatórios, foi dado seguimento ao trabalho de campo em Crateús, Ceará, para monitoramento dessas superfícies líquidas. Esta iniciativa contou com a colaboração do IRD e da FUCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

O satélite SWOT, além de mensurar o nível dos rios, também tem a capacidade de medir a superfície da extensão do corpo hídrico, possibilitando a determinação quantitativa de água doce. Isso se deve ao conhecimento topográfico do terreno, que permite explorar a zona de contato entre a água e a terra, facilitando a compreensão das variações nos volumes armazenados nos reservatórios de água.

Para a extração de dados que contribuam para a produção de informações hidrológicas destinadas à calibração dos sensores do SWOT, especialmente o radar de interferometria (Karin), as extrações de dados in loco devem apresentar alta precisão e qualidade nessas informações. Diante disso, surgiu a necessidade de obter informações adicionais sobre a topografia do terreno por meio do uso de um drone (Matrice 300 RTK), que coletou dados topográficos tridimensionais do terreno através da tecnologia do sensor lidar (Figura 15).

O levantamento de dados geodésicos e fotogramétricos ocorreu na região de Crateús e Quixeramobim, no período entre 31 de julho e 11 de agosto de 2023. Durante esse período, foram percorridos e adquiridos dados nos oito reservatórios da campanha de 2022, além de serem coletados dados em oito novos reservatórios.

Nº	Reservatório	Área ha	Nº	Reservatório	Área ha
1	Marcel Prefeito	39.0	5	Aç. Convento	30.1
2	Aç. Violete	14.2	6	Faz. Deserto	5.7
3	Aç. Palmares	146.1	7	Aç. Carrapateira	23.4
4	Aç. Governo	33.0	8	Aç. Vargem do Morro	130.1

Tabela 1: Reservatórios revisitados resultantes da campanha de 2022

Nº	Reservatório - Crateús	Área_ha	Reservatório - Quixeramobim	Área_ha
1	Realejo	332.5	Cambito	13
2	Batalhão	34,5	Cachoeira do Germano	29
3	Carnaubal	1100	Riacho Verde	64
4	Flor do Campo	2090	Algodão	13

Tabela 2: Novos reservatórios na região de Crateús e Quixeramobim.

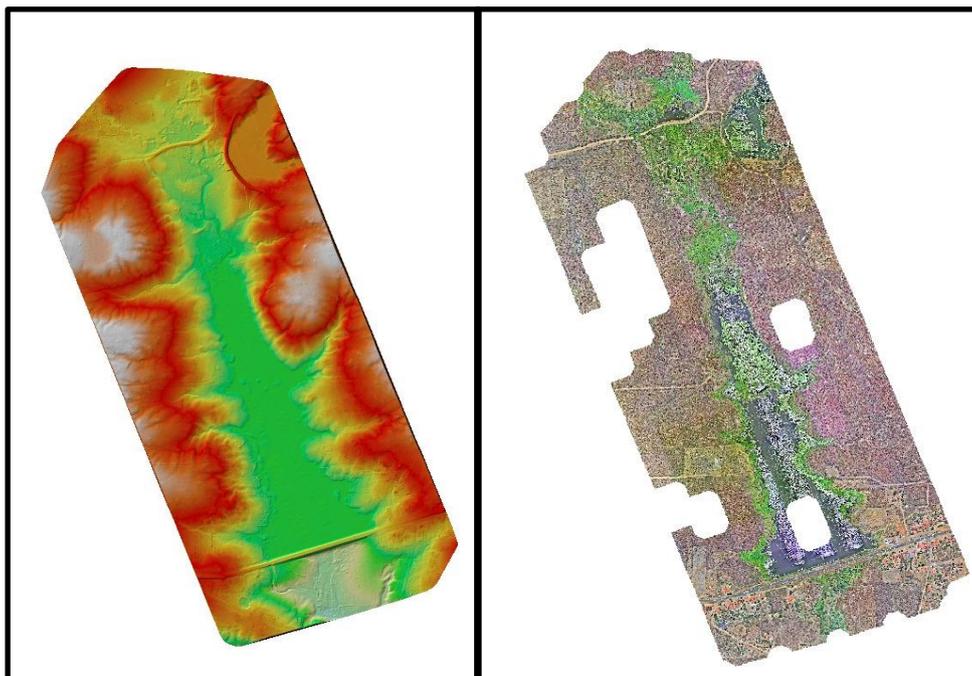


Figura 15 – Modelo Digital e nuvem de pontos do reservatório violeta.

Em todos os reservatórios, foram estabelecidos um ponto de controle, o NA (Nível d'Água) do dia e o Modelo Numérico de Terreno (MNT). Foram empregados os seguintes equipamentos: um par de GNSS (GPS) geodésicos, um drone com LIDAR e um nível ótico.

Esta campanha contou com equipes de técnicos do SGB, Funceme, IRD, HydroMatters e COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – CE), representadas por Ricardo Duarte (SGB/ERJ), Marielle Gosset (IRD-Fuceme), Laetitia Gal (HydroMatters) e Rafael Reis (FUCEME-Ceará).

2.2.6 Campanha de CAL/VAL do SWOT no rio Garona na França.

No dia 20 de julho de 2023, o analista Daniel Moreira do SGB, em parceria com as equipes do CNES, do Laboratório LEGOS e da Hydromatters, realizou medições no rio Garona, na zona da faixa de calibração e validação da missão SWOT. As medições tiveram como principal finalidade a coleta de dados de nível de água (Figura 16), obtidos por meio de sensores de nível instalados no rio Garona, e o nivelamento a uma referência altimétrica desses sensores por meio de receptores GNSS.



Figura 16 – Coleta de dados de nível de água e nivelamento por GNSS no rio Garona.

2.2.7 Campanha do projeto Hybam

Entre 5 de julho e 17 de julho ocorreu a campanha no âmbito do projeto Hybam, um observatório de Hidro-geoquímica da Bacia Amazônica operacional desde 2003 e especializada no monitoramento de rios e recursos hídricos na Amazônia. O HYBAM é um serviço de apoio à pesquisa que realiza medições hidrológicas, sedimentares e geoquímicas a longo prazo para compreender a origem e evolução da água e dos materiais transportados (sedimentos, matéria orgânica, nutrientes, etc.).

As atividades do HYBAM estão associadas à temática de hidrossedimentologia do Dinâmica Fluvial e permite a interação com outros parceiros institucionais como a UFAM, UnB, UFF e órgãos internacionais provenientes de outros países da bacia Amazônica que detém as 17 estações de monitoramento hidrológico de sedimentares e geoquímica de longo prazo.

Os dados produzidos pela rede são disponibilizados gratuitamente no website <https://hybam.obs-mip.fr> com o objetivo de fomentar o desenvolvimento de pesquisas sobre os recursos hídricos na Amazônia e sobre temas variados como, biodiversidade, oceanografia, climatologia, qualidade da água ou geomorfologia.

A referida atividade de campo teve o apoio da ANA, com a disponibilização de recursos para o fretamento e combustível da embarcação, da UFAM que disponibilizou equipamentos e pesquisadores, e do SGB através do projeto Dinâmica Fluvial e da participação do pesquisador Andre Santos, do técnico Guilherme Cabral e da pesquisadora Íris Bandeira.

O campo teve início partindo de Manaus e contou com medições de vazão, radiometria in situ, coleta de amostras para análises de sedimentos e batimetria multifeixe nas estações de Tatu, Careiro, Jatuarana, Foz do Madeira, Itacoatiara, Parintins, Trombetas, Óbidos e Santarém, a tabela 3 apresenta os resultados de vazão líquida.

As análises das amostras de sedimentos foram enviadas para o LAMIN Manaus e os resultados estão sendo processados para a realização das estimativas de fluxo de sedimentos, validação das informações geradas no mesmo período pelos produtos dos sensores OLCI e MODIS embarcados respectivamente nos satélites das missões Sentinel-3 e Aqua e Terra.

ESTAÇÃO	Transversal	Q Total m³/s
Tatu Paricatuba - Rio Negro	fql_14911000_2023.07.05001	48380.55
	fql_14911000_2023.07.05002	49965.38
	Média	49172.96
	Std Dev.	1120.64
	Std./ Avg. (%)	2.28
Jatuarana	fql_15030000_2023.07.07000	160893.52
	fql_15030000_2023.07.07001	159184.88
	Média	160039.20
	Std Dev.	1208.188
	Std./ Avg. (%)	0.75
Careiro	fql_15040000_2023.07.07000	27008.96
	fql_15040000_2023.07.07001	26528.16
	Média	26768.56
	Std Dev.	339.98
	Std./ Avg. (%)	1.27
Foz Madeira	fql_15901000_2023.07.08000	18864.32
	fql_15901000_2023.07.08001	18698.65
	Média	18781.49
	Std Dev.	117.15
	Std./ Avg. (%)	0.62
Itacoatiara	fql_16030000_2023.07.10000	204100.11
	fql_16030000_2023.07.10001	200565.80
	Média	202332.95
	Std Dev.	2499.133
	Std./ Avg. (%)	1.24
Parintins	fql_16350002_2023.07.12000	212674.13
	fql_16350002_2023.07.12001	216708.86
	Média	214691.50
	Std Dev.	2852.985
	Std./ Avg. (%)	1.33
Itacoatiara	fql_17050001_2023.07.14000	224586.25
	fql_17050001_2023.07.14001	221101.90
	Média	222844.08
	Std Dev.	2463.809
	Std./ Avg. (%)	1.11

Tabela 3 – Resultado das medições de descarga líquida obtidas na campanha

Além da descarga líquida obtida por equipamentos de efeito Doppler do tipo ADCP modelo RDI Monitor 300 Khz, foi realizado nas estações de Itacoatiara e Óbidos a coleta de amostras de sedimentos como apresentado na figura 17.



Figura 17 – Amostra de sedimentos na rampa de filtração montada na embarcação e dentro do amostrador de sedimentos pontual do tipo garrafa *Van Dorn* horizontal antes de ser retirada.

2.3 PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS E ATIVIDADES DE PESQUISAS REALIZADAS EM 2023

O SGB, através do projeto Dinâmica Fluvial, tem fomentado, organizado e participado de uma série de conferências nacionais e internacionais relacionadas ou que contemplam a temática de pesquisa ou estudos do sensoriamento remoto em hidrologia. Esta iniciativa proporciona ao SGB a divulgação da pesquisa realizada, o intercâmbio de conhecimento com outras instituições envolvidas na mesma temática e contribuição com o desenvolvimento, pesquisa e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao monitoramento hidrológico. Sendo assim, nos subitens a seguir são destacados os principais eventos que contaram com a participação do SGB.

No ano de 2023 diversas pesquisas entre o SGB, IRD e instituições parceiras foram realizadas, com destaque para as atividades de capacitação e pós-graduação acadêmicas

realizadas por pesquisadores do IRD, que desenvolveram teses e artigos na linha de pesquisa de hidrologia por satélites e também a pesquisa relacionada à missão espacial SWOT. Nos subitens a seguir serão descritas as principais atividades de pesquisa realizadas e apresentadas em eventos e artigos científicos no ano de 2023.

2.3.1 Apresentação no “2023 SWOT Science Team Meeting” em Toulouse, França

Entre os dias 19 e 22 de Setembro de 2022, na cidade de Toulouse, na França, ocorreu o encontro do “Science Team” da missão espacial SWOT (*Surface Water Ocean Topography*). O SWOT Science Team é um grupo selecionado de cientistas que ajudam na definição dos objetivos científicos e fornecem orientação e aconselhamento ao projeto SWOT para garantir que a missão atenda aos seus requisitos científicos (Figura 18). O SGB através do projeto “*SWOT for South America*” integra a equipe científica do SWOT.



Figura 18 – Participantes do SWOT Science Team em Toulouse.

O evento contou com a participação do analista Daniel Medeiros Moreira. Em especial este evento foi o primeiro encontro científico após o lançamento do satélite SWOT, nesse sentido o analista realizou apresentações das atividades realizadas pelo SGB em parceria com

o IRD e Agência Espacial Francesa na pesquisa, apresentando resultados inéditos da validação e calibração do satélite SWOT (Figura 19).

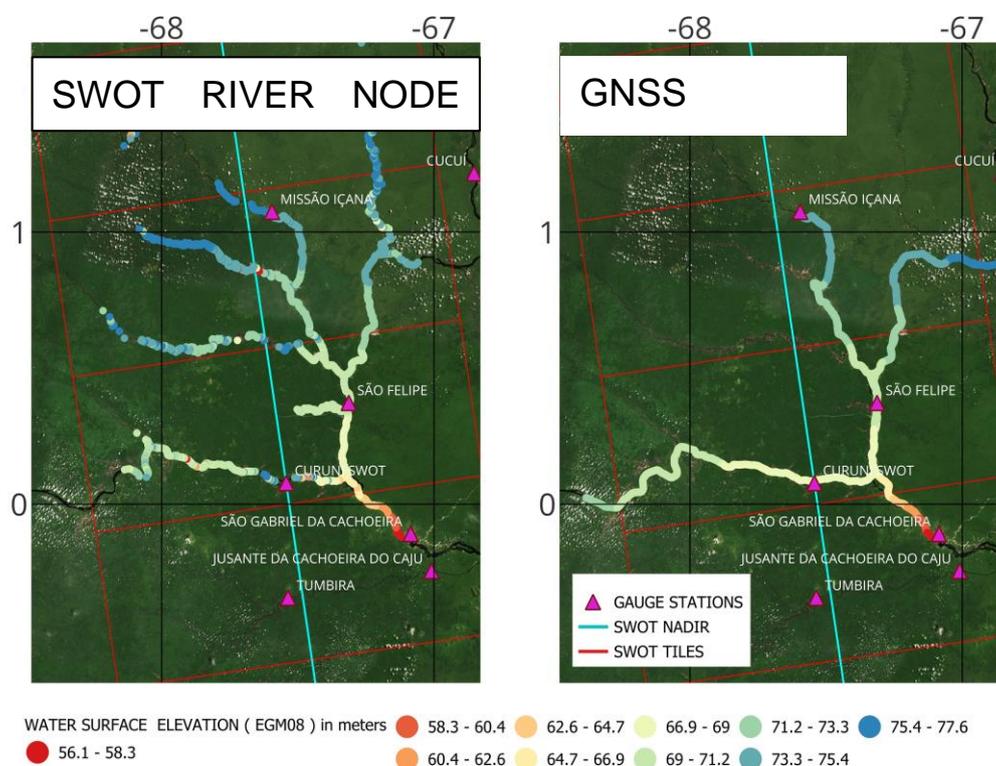


Figura 19 – Primeiros resultados do satélite SWOT comparados com perfis GNSS coletados no Alto rio Negro.

Durante o evento que mostrou os primeiros resultados do satélite SWOT em rios tropicais e em especial na bacia Amazônica, o analista apresentou dois trabalhos:

- Moreira et al (2023). Hydrology Validation activities Tropical rivers, SWOT SINCENCE TEAM MEETING VII, Toulouse (France) https://swotst.avisos.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/SWOTST2023/20230920_hydro_1_river_validation/09h55-Tropical_rivers_daniel_moreira.pdf
- Moreira et al (2023). River science WG SWOT CalVal over Amazon rivers, SWOT SINCENCE TEAM MEETING VII, Toulouse (France). https://swotst.avisos.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/SWOTST2023/20230921_hydro_3_river/Moreira.pdf

2.3.2 Artigos produzidos para revistas científicas

No ano de 2023 foram publicados os seguintes artigos científicos.

- FASSONI-ANDRADE, ALICE CÉSAR ; DURAND, FABIEN ; AZEVEDO, ALBERTO ; BERTIN, XAVIER ; SANTOS, LEANDRO GUEDES ; KHAN, JAMAL UDDIN ; TESTUT, LAURENT ; **MOREIRA, DANIEL MEDEIROS** . Seasonal to interannual variability of the tide in the Amazon estuary. CONTINENTAL SHELF RESEARCH, v. 255, p. 104945, 2023.
- FLEISCHMANN, AYAN ; PAPA, FABRICE ; HAMILTON, STEPHEN K. ; FASSONI-ANDRADE, ALICE ; WONGCHUIG, SLY ; ESPINOZA, JHAN CARLO ; PAIVA, RODRIGO ; MELACK, JOHN ; FLUET-CHOUIARD, ETIENNE ; CASTELLO, LEANDRO ; ALMEIDA, RAFAEL ; BONNET, MARIE PAULE ; GRIPP ALVES, LUNA ; **MOREIRA, DANIEL** ; YAMAZAKI, DAI ; REVEL, MENAKA ; COLLISCHONN, WALTER . Increased floodplain inundation in the Amazon since 1980. Environmental Research Letters, v. 18, p. 034024-034024, 2023.

2.3.3 Trabalhos apresentados no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

No simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, organizado pela ABRH realizado na cidade de Aracaju em novembro de 2023, foram apresentados os seguintes trabalhos que tiveram apoio e suporte do projeto Dinâmica Fluvial.

- **10 LIÇÕES SOBRE A HIDRODINÂMICA DO BAIXO RIO AMAZONAS**

ALICE CÉSAR FASSONI DE ANDRADE, RODRIGO CAUDURO DIAS DE PAIVA, FABIEN DURAND, SLY WONGCHUIG CORREA, CLÁUDIO CLEMENTE FARIA BARBOSA, LEANDRO GUEDES SANTOS, DANIEL MEDEIROS MOREIRA

- **ANÁLISE CONJUNTA DO USO E COBERTURA DO SOLO COM AS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE ? BAHIA**

FABRICIO RIBEIRO GARCIA, WANDERSON LUIZ SILVA, DANIEL MEDEIROS MOREIRA, AFONSO AUGUSTO MAGALHAES DE ARAUJO, OTTO CORREA ROTUNNO FILHO

- **HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO AMAZONAS: UMA VIAGEM DESDE AS MARÉS ATÉ OS EVENTOS EXTREMOS DE NÍVEL DA ÁGUA**

FABIEN DURAND, LEANDRO GUEDES SANTOS, ALICE CÉSAR FASSONI DE ANDRADE, HOMERO REIS DE MELO JUNIOR, DANIEL MEDEIROS MOREIRA

- **REDE DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DO MAMIRAUÁ: RESULTADOS PRELIMINARES**

PRISCILA CAMELO ALVES, AYAN SANTOS FLEISCHMANN, ANDRÉ ZUMAK, RODRIGO DE SOUZA XAVIER, ANA CAROLINA CHIODI DA SILVA, DÉBORA CAROLINA HYMANS, LADY LAIANA MARTINS CUSTÓDIO, CAMILA DUANE CORREA GAIA, BRUNA MENDEL NAISSINGER, ALICE CÉSAR FASSONI DE ANDRADE, JEFFERSON FERREIRA FERREIRA, THIAGO SANNA FREIRE SILVA, DANIEL MOREIRA, FABRICE PAPA, ADRIEN PARIS

2.3.4 Evento Hydrospace 2023.

Entre os dias 27 de Novembro e 1 de Dezembro de 2023 foi realizado, na cidade de Lisboa, em Portugal o evento Hydrospace 2023, <https://www.hydrospace2023.org/>. Evento organizado pela ESA (Agência Espacial Europeia) que visa reunir a comunidade internacional de sensoriamento remoto para hidrologia (Figura 20).



Figura 20 – Participantes do Hydrospace 2023.

O evento contou com a participação do Analista Daniel Moreira que apresentou o trabalho intitulado “*Amazon basin cal/val sites for satellite altimetry*” no qual as técnicas de

calibração e validação de satélites para hidrologia e os sítios de cal/val operados pelo SGB foram apresentados.

2.3.5 Projeto de Capacitação FLUVIUS

FLUVIUS - Anavilhanas é uma iniciativa de formação técnica financiada pelo IRD e operada pela Universidade Federal da Amazônia (Manaus) e pelo laboratório Geociências Ambientais Toulouse (GET). A formação faz parte do programa PSF do IRD e foi concebido para atender a uma demanda de transferência de conhecimento adquirido pela equipe internacional que desenvolve o Serviço de Observação HYBAM na Amazônia há 20 anos sobre o estudo do ciclo da água na Amazônia e, em particular, a hidrologia e a geoquímica da maior bacia hidrográfica do mundo.

Houve a participação do pesquisador em geociências do SGB Andre Santos como um dos instrutores do curso https://youtu.be/alxqo_HszTM?si=wAuQ-iejwswmaLeo, que teve atividades de formação centradas em público envolvido com questões ambientais, mas sem vínculo direto com a comunidade científica. Destinou-se principalmente a funcionários de órgãos ambientais governamentais e regionais, ONGs, serviços ambientais ou movimentos ambientalistas, com formação superior ou pós-graduação em áreas afins, e que tinham afinidade com o monitoramento de recursos hídricos na Amazônia.

Foi uma capacitação ocorrida entre os dias 26 de outubro e 3 de novembro, parte em Manaus com abertura no auditório do SGB, e com prática em Novo Airão, município no Amazonas a aproximadamente 120km da capital, a figura 21 apresenta a programação completa do curso.

O objetivo foi apresentar novas tecnologias para o monitoramento de unidades de conservação (UC) na Amazônia, para apoiar e melhorar a eficácia das ações de monitoramento dos atores ambientais (órgãos, ONGs, comunidades locais, academia). Em um contexto de degradação acelerada do meio ambiente amazônico (desmatamento, mudanças climáticas, garimpo, etc.).

Os alunos receberam treinamento teórico e prático centrado no estudo de casos de degradação ambiental, adquirindo capacidade de coletar dados usando tecnologias modernas, processá-los, analisá-los e assim produzir os relatos da situação ambiental do que viram no arquipélago de Anavilhanas, um recorte da região amazônica.

Após debates e análises do que viram em campo, os alunos puderam entender a atuação técnico-científica que os parceiros do programa exercem, principalmente no âmbito da parceria SGB-IRD, com informações básicas para sensibilizar as populações e instituições locais e nacionais sobre a importância do monitoramento e posterior geração de conhecimento.

FLUVIUS ANAVILHANAS
Curso de práticas de amostragem ambiental no meio fluvial tropical

SOBRE O CURSO
O Curso Fluvius - Anavilhanas foi idealizado com o objetivo de promover a formação de recursos humanos no uso de tecnologias de monitoramento no meio fluvial amazônico, por meio das seguintes capacitações:

- Compreensão do funcionamento do monitoramento hidrométrico;
- Medição de vazão com o uso de tecnologia Doppler;
- Obtenção de dados radiométricos;
- Obtenção de dados físico-químicos;
- Cálculo de fluxos elementares de eventuais contaminantes;
- Produção de mapas ambientais temáticos com o uso de dados de satélite.

Programação

- **Módulo 1 - 26/10 a 30/11**
 - Local: Conferência virtual
 - Objetivo: Promover palestras com especialistas no tema
- **Módulo 2 - 03/11 a 04/11**
 - Local: Manaus (Auditório do SGB - CPRM)
 - Objetivo: Promover aulas teóricas presenciais visando o direcionamento para a realização de atividades práticas
- **Módulo 3 - 05/11 a 13/11**
 - Local: Novo Airão (Auditório do CRAS)
 - Objetivo: Realizar atividades práticas de coleta, processamento e análise de dados para a geração de produtos

INSCREVA-SE AQUI

Figura 21 – Programação do curso FLUVIUS Anavilhanas 2023.

2.3.6 Capacitação Water Detect em Toulouse.

Ocorreu a participação do pesquisador em geociências Andre Santos no evento de capacitação de forma presencial entre 5 e 17 de junho de 2023 nas instalações do Observatoire de Midi-Pyrenées (OMP) em Toulouse (figura 22).

O evento com o título "*Developing the use of Sentinel Satellites Constellation for the monitoring of the inland water quality*" teve uma parte de apresentações de resultados entre os participantes e a capacitação em ferramentas de Sensoriamento Remoto, em especial o software Water Detect entre 5 e 9/6 (<https://github.com/cordmaur/WaterDetect>).

Uma segunda etapa foi realizada na semana seguinte, entre 12 e 17/6, onde ocorreu um treinamento para aplicação do que foi apresentado de forma prática em estações de grandes rios da Amazônia. Os resultados ainda estão em fase de processamento, com

comparações com resultados estimados nas pesquisas de mestrado e doutorado do referido pesquisador.

Além destas ferramentas, estão em curso as análises das séries temporais extraídas pela plataforma “*Google Earth Engine*”, o estudo ainda está em fase preliminar e atualmente carece do envolvimento de mais pesquisadores para dar continuidade às pesquisas e avançar com o desenvolvimento de produtos para modelagem hidrológica.



Figura 22 – Apresentação do curso e sala de aula no Observatoire de Midi-Pyrénées (OMP) em Toulouse.

2.4 COLETA DE DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE RECEPTORES GNSS COM APOIO LOGÍSTICO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL.

A Rede Hidrometeorológica Nacional (ANA/SGB) realiza o monitoramento hidrológico através dos dados obtidos de milhares de estações hidrológicas instaladas ao longo do território brasileiro. A partir de todo este esforço realizado pelas equipes de hidrologia do SGB torna-se possível obter informações hidrológicas extremamente relevantes para a gestão dos recursos hídricos do nosso país, bem como auxiliar na previsão de eventos hidrológicos extremos. Além de toda esta importância, esta informação é extremamente útil também para validar informações hidrológicas obtidas por sensoriamento remoto. Através da logística de operação desta rede é possível acessar regiões ínvias do país, no qual o Serviço Geológico mostra toda a sua capilaridade para coletar informações em diferentes biomas.

Aproveitando essa capacidade logística do SGB na operação da Rede Hidrometeorológica Nacional, o projeto Dinâmica Fluvial coleta dados de receptores GNSS nos roteiros operados por embarcação fluvial na região Amazônica (Figura 18). Esta atividade é realizada mediante apoio e suporte das Gerencias de Hidrologia e Gestão Territorial das Superintendências Regionais do SGB de Belém e de Manaus.

Tal operação não resulta em custo adicional nem impacta no tempo do trabalho das equipes de campo, pois os resultados são obtidos através da simples instalação de receptores GNSS que são configurados para coletar dados de forma contínua durante todo o roteiro, conforme figura 23.

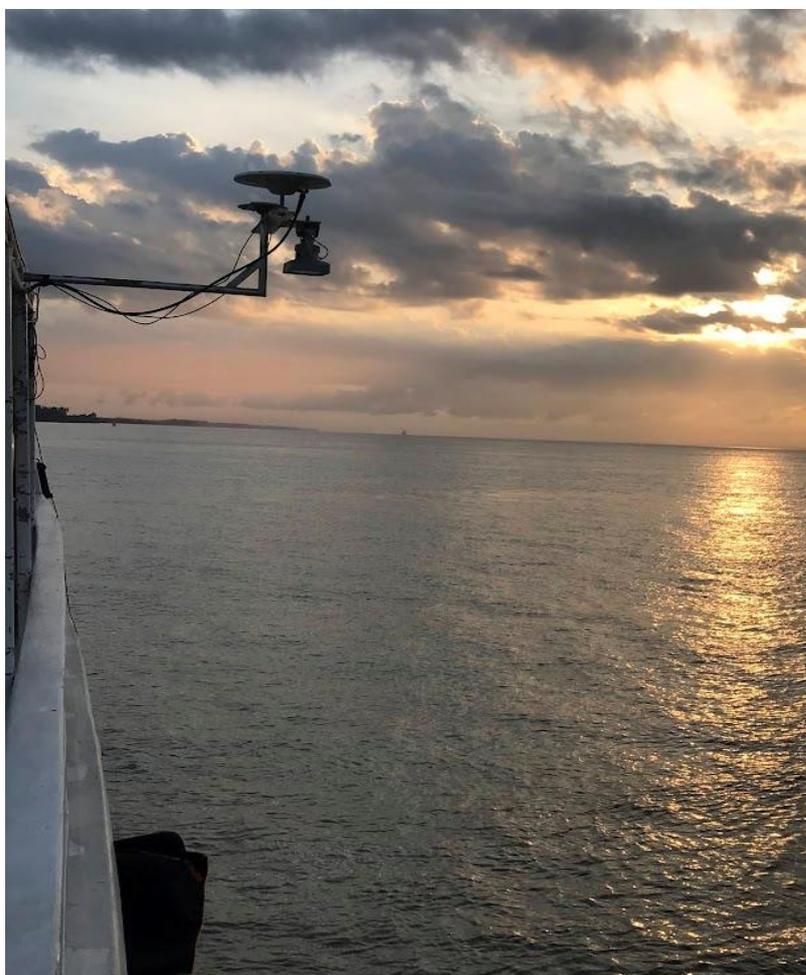


Figura 23 – Exemplo de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial.

Através dos dados coletados é possível obter o perfil altimétrico dos rios navegados (Figura 24). Por meio deste perfil mapeado torna-se possível validar dados de satélites altímetros calculando erros e vieses, como também referenciar as estações fluviométricas a

uma referência global. Os dados do perfil altimétrico permitem estimar a declividade dos rios navegados, o que colabora com estudos sobre a hidrodinâmica dos rios Amazônicos.

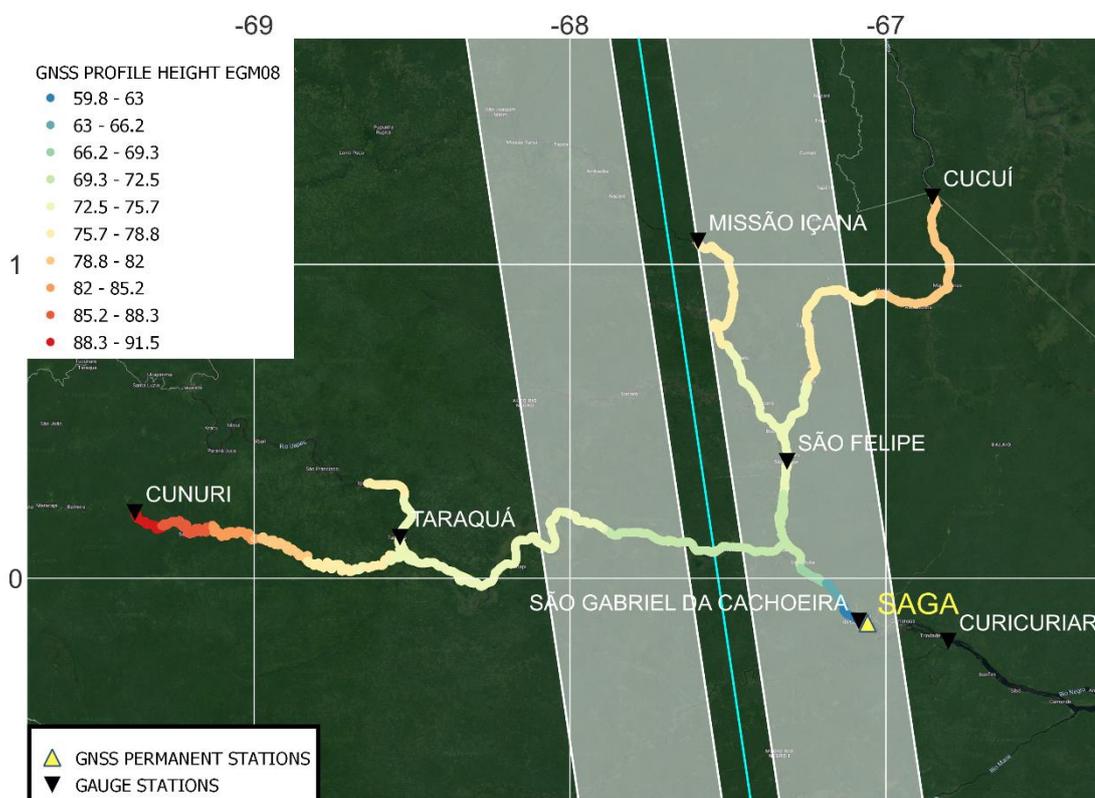


Figura 24 – Exemplo perfil altimétrico calculado através de instalação de receptor GNSS a bordo de embarcação fluvial.

No exemplo da figura acima é apresentado o perfil altimétrico calculado no roteiro do Alto Rio Negro, este roteiro é coberto para uma faixa da zona de calibração e validação do satélite SWOT, sendo os dados coletados extremamente importantes na validação e calibração desta missão.

2.4 SUPORTE DE PREVISÃO PLUVIOMÉTRICA POR SATÉLITE AOS SISTEMAS DE ALERTAS

Diariamente, a equipe do projeto Dinâmica Fluvial produz cerca de 1000 (mil) mapas contendo informações sobre a precipitação em mais de 130 áreas de drenagem, de interesse para os 17 sistemas de alertas operados pelo SGB. Essas informações incluem estimativas de chuva por satélite em escalas horárias nas últimas 24 horas, assim como a precipitação diária ocorrida na última semana e anomalias mensais de chuva. Além disso, são gerados mapas de previsões diárias de chuva para os próximos 15 dias, mapas de chuvas horárias das próximas

24 horas com maior precisão e previsões sazonais para os próximos 7 meses, proporcionando uma visão abrangente das condições climáticas. Esses dados são valiosos para a análise de possíveis secas ou cheias extremas previstas pelo modelo, conforme exemplificado na figura 22.

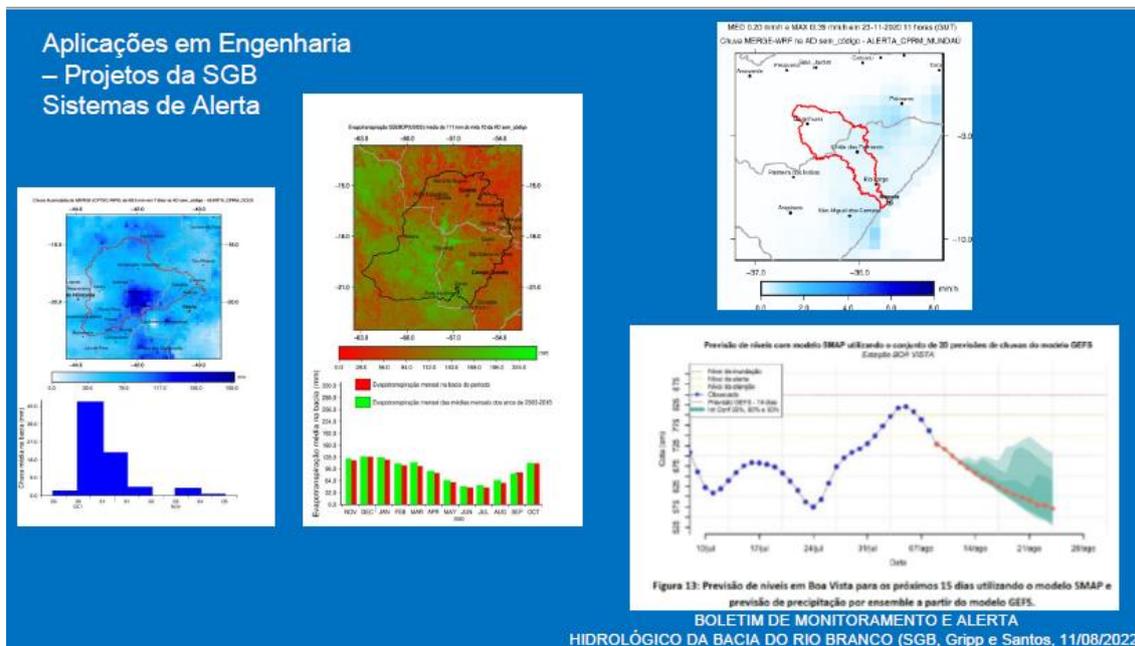


Figura 25 – Dados de previsão de chuva.

2.5 SITE DE VISUALIZAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO POR SATÉLITE

Para compreender os sistemas hídricos, suas interconexões e os impactos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas, bem como para realizar a caracterização quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos, o monitoramento hidrológico surge como uma ferramenta essencial.

Nesse contexto, a altimetria espacial apresenta-se como uma solução complementar ao monitoramento hidrológico convencional. Ao utilizar dados de diversos satélites disponíveis, essa tecnologia tem contribuído para aumentar a capacidade de monitoramento, agilizar o acesso às informações hidrológicas e fornecer dados com uma cobertura estatística mais representativa do regime hidrológico, especialmente em regiões de difícil acesso ou de custos elevados, seja pela geografia, seja pelas dimensões.

O monitoramento das águas continentais por altimetria espacial teve início na década de 1990, com os pioneiros satélites TOPEX-POSSEIDON, seguidos pelos satélites JASON 1, 2 e 3, com resolução temporal de 10 dias. Entre outras missões, destaca-se o ENVISAT, com

resolução temporal de 35 dias. Atualmente, a missão Sentinel 3, composta pelos satélites A e B, e a missão Sentinel-6 estão em operação. Em breve, teremos à disposição os dados do satélite SWOT, equipado com um novo sistema interferométrico, o KARIN, que promete revolucionar as informações hidrológicas por satélite.

Uma análise integrada, utilizando conjuntamente informações de satélites altimétricos, é possível, desde que exista um controle de qualidade dos dados de observação, permitindo a integração espacial e temporal dos dados de altimetria. Isso possibilita a integração de dados de sensoriamento remoto a dados convencionais, complementando uma série de informações hidrológicas ou densificando a informação hidrológica de uma bacia hidrográfica.

Nesse contexto, o SGB, IRD e parceiros propuseram um SIG-WEB (Figura 23), no qual esse conjunto de informações hidrológicas por satélite pode ser obtido por meio de uma interface amigável, acessível através de um link disponibilizado na página do SGB. O tratamento e a disponibilização desses dados resultam de uma parceria entre o SGB, IRD/CNES, HydroMatters e IPH, utilizando a plataforma hydroweb-next do CNES como fonte de dados. Este projeto inclui o tratamento de dados hidrológicos por satélites, a produção de novos produtos oriundos de sensoriamento remoto e a disponibilização das informações para o público em geral.

Essa iniciativa faz parte do “*South America Water From Space*”, um grupo formado por pesquisadores que desenvolvem projetos na área de sensoriamento remoto voltado para a hidrologia. As informações sobre os níveis dos rios estão hospedadas no site <https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>, apresentando gráficos das cheias (cotas máximas), vazantes (cotas mínimas) e da cota atual observada pelos sensores, bem como a média das cotas máximas e mínimas ocorridas. Desta forma, torna-se visível as áreas de atenção para períodos de seca ou cheia. Associada a esses dados, há a simples disponibilização da série histórica que pode ser filtrada pela escolha do satélite disponível.

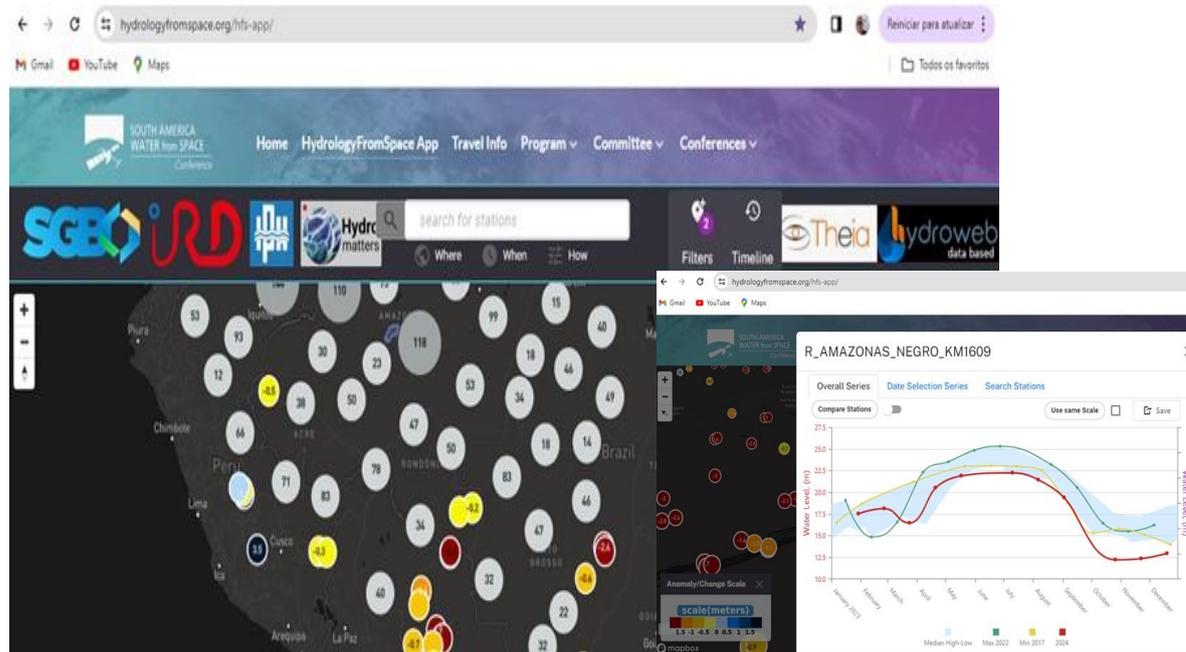


Figura 26 : Tela da APP-WEP <https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>

3. CONCLUSÃO E PERSPECTIVA PARA 2024

A aplicação de dados de sensores orbitais em hidrologia está sendo incorporada pelo SGB em sua missão institucional de realizar o monitoramento hidrológico em nível nacional. Nesse contexto, a capacitação e a absorção de novas tecnologias são fundamentais para superar desafios inerentes à falta de recursos humanos e financeiros, bem como à própria dificuldade de monitorar a hidrologia de um país com dimensões continentais, incluindo regiões de difícil acesso e bacias hidrográficas transfronteiriças.

No âmbito da inovação tecnológica, destaca-se o lançamento do satélite SWOT em 15 de dezembro de 2022. O SGB participa do time científico por meio do projeto denominado "*SWOT for South America*", cujo objetivo é explorar as diversas potencialidades da missão SWOT em hidrologia para todo o continente sul-americano. Essas campanhas não apenas fortaleceram a validação do satélite SWOT, mas também solidificaram a participação do SGB na colaboração global na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias avançadas de monitoramento hidrológico. À medida que o SGB avança, adquire novas expertises que impulsionam a capacidade de compreender e preservar os recursos hídricos vitais para o nosso planeta.

Nos últimos anos, o SGB tem atuado como difusor do conhecimento geocientífico no uso de satélites em hidrologia, gerando informações e pesquisa. Para isso, o SGB vem desenvolvendo três frentes de atividades.

A primeira frente tem por objetivo a disseminação do conhecimento científico e a atuação em parceria com agências internacionais, como CNES, IRD e NASA. Em 2015, o SGB organizou o primeiro encontro na América do Sul para divulgação e pesquisa sobre a missão SWOT, evento realizado no Escritório do Rio de Janeiro do SGB. Este encontro científico fomentou o surgimento de conferências na temática de Hidrologia Espacial, denominadas “*South America Water From Space*”, com duas edições realizadas no Brasil com a participação do SGB como um dos organizadores.

Na segunda frente de atividades, está o levantamento de informações de campo que visam subsidiar a validação e calibração dos dados do novo satélite. Para isso, o SGB mantém ao longo do território nacional sítios estratégicos que são utilizados pela comunidade internacional para validar e calibrar as informações do SWOT, com destaque para trabalhos de campo realizados em Santarém, Alto Rio Negro, São Francisco, entre outros.

Por fim, a terceira contribuição está associada à pesquisa, com o benefício da capacitação dos seus pesquisadores, preparando-os para absorver e disseminar este novo conhecimento. Diversos pesquisadores envolvidos no projeto concluíram mestrado, doutorado e também estão realizando pós-doutoramento, como é o caso do analista Daniel Moreira, em Toulouse, França.

Para o ano de 2024, planeja-se a continuidade das diversas iniciativas já citadas, todas realizadas pelo SGB na temática de sensoriamento remoto para hidrologia. Dentre as novas iniciativas, destaca-se a expectativa de que, após o lançamento do SWOT e sua fase de validação e calibração em 2023, o SWOT gere produtos operacionais em 2024, com foco prioritário na absorção desta nova tecnologia pelo SGB, visando a aplicação desta nova fonte de informação em estudos e no suporte aos sistemas de alerta operados pelo SGB. Em 2024, também será o início de um novo projeto de ciência do SWOT, o projeto SAMBA, já descrito anteriormente, que visa responder diversas questões de hidrologia na bacia Amazônica que poderão ser respondidas com auxílio das informações oriundas da missão SWOT.

Dentro das expectativas propostas para 2024, está o aprimoramento da aplicação web de monitoramento hidrológico por altimetria espacial, <https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>. Esta aplicação é realizada em conjunto pelo SGB, IRD e outros parceiros, expandindo as séries de nível de água para outras missões espaciais existentes e acoplando dados da missão SWOT na plataforma, além da adição de informações de vazão em parte das estações virtuais existentes.

Em novembro de 2024, o SGB, em conjunto com IRD, CNES e parceiros, realizará a conferência “*South America Water from Space IV*” em Belém-PA. Nesse evento focado no uso de sensoriamento remoto para hidrologia, espera-se que o SGB divulgue resultados expressivos das aplicações do satélite SWOT na hidrologia da Amazônia. Este evento está alinhado na agenda pré-COP30, que também será realizada na cidade de Belém em 2025. Em outra iniciativa, planeja-se a aplicação de novas tecnologias de monitoramento sedimentométrico em campo com aporte de dados de satélites, visando o aprimoramento de protocolos dessas mesmas medições na região Amazônica.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ASSUNI e aos membros da Diretoria Executiva, especialmente à DHT e sua equipe, que forneceram todo o suporte necessário para o desenvolvimento da pesquisa científica realizada em cooperação entre CPRM e IRD. Expressamos nossa gratidão à Agência Espacial Francesa (CNES) e ao IRD pelo apoio técnico e financeiro, reconhecendo a capacidade do Serviço Geológico do Brasil em conduzir essa pesquisa de relevância no tema de Hidrologia por Satélites.

Queremos estender nossos agradecimentos às chefias e colaboradores da DIHAPI, DEHID, GEHITE-MA, GEHITE-RE e GEHITE-BE, especialmente àqueles que desempenham atividades no projeto Dinâmica Fluvial. Reconhecemos e agradecemos às universidades parceiras, em especial a UFRJ, UFAM, UEA, UFPE e UFRGS(IPH), por apoiarem e capacitarem os técnicos da CPRM em busca de uma formação acadêmica mais sólida.

Adicionalmente, gostaríamos de destacar nosso agradecimento ao projeto Ore-Hybam (Observatório de Pesquisa em Ambiente - Controles geodinâmicos, hidrológicos e biogeoquímicos da erosão/alteração e da transferência de materiais na bacia amazônica) por proporcionar dados coletados durante as campanhas de campo. A colaboração com a Rede Hidrometeorológica Nacional brasileira (RHN), operada pelo SGB e sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas - ANA, também foi essencial, incluindo a logística e o compartilhamento de embarcações quando havia congruência nas áreas de atuação das campanhas realizadas pelo SGB, o que contribuiu significativamente para o desenvolvimento desses estudos. Agradecemos às equipes responsáveis e às unidades regionais envolvidas.

REFERÊNCIAS

CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface waters from satellite altimetry. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 338, n. 14-15, p. 1113-1122, nov./dec. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.05.012>.

MOREIRA, D.M. **Geodésia aplicada ao monitoramento hidrológico da bacia Amazônica**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17049>. Acesso em: 28 dez. 2022.

SANTOS, A.L.M.R. **Análise temporal e espacial dos dados de sedimentos em estações hidrométricas na Amazônia**: casos de Manacapuru e Itacoatiara. 329 f. 2022. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22918>. Acesso em: 28 dez. 2022.

ROSMORDUC, V.; BENVENISTE, J.; BRONNER, E.; DINARDO, S.; LAURET, O.; MAHEU, C.; MILAGRO, M.; PICOT, N. **Radar altimetry tutorial**: february 2011. [S. l.]: ESA; CNES, 2011. Disponível em: <http://www.altimetry.info>.