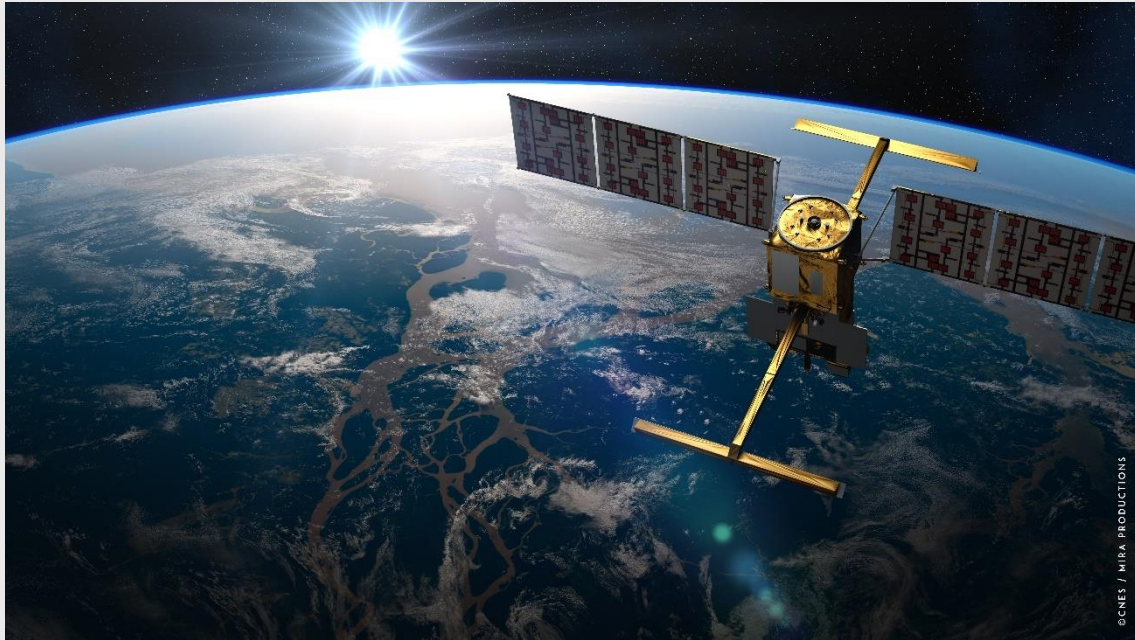


# Programa de Gestão de Riscos e Desastres



## PROJETO DINÂMICA FLUVIAL ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE SGB E IRD Relatório De Atividades

Dezembro, 2022



SECRETARIA DE  
GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

GOVERNO  
FEDERAL

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**Ministro de Estado**

Adolfo Sachsida

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Lilia Mascarenhas Sant'agostino

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente**

Cassiano de Souza Alves (Interino)

**Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Marcio José Remédio

**Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

**Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

**COORDENAÇÃO TÉCNICA**

**Chefe do Departamento de Hidrologia**

Frederico Cláudio Peixinho

**Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada**

Adriana Dantas Medeiros

**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  
Dezembro, 2022

## REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

## AUTORES

Daniel Medeiros Moreira

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Jefferson Santana Melo

## NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

XXXXX

**FOTOS DA CAPA** Impressão artística do futuro satélite SWOT fazendo observações da altura da superfície dos corpos hídricos, mesmo através das nuvens.

Fonte da imagem (Agência Espacial Francesa/CNES)

### 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, 2022.  
39 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 2022, 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 satélites 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. Através da expertise adquirida, 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), lançado em dezembro 2022, missão espacial esta que representa o estado da arte de tecnologias do uso de satélites para o monitoramento hidrológico.

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 linimétricas, perfilagem altimétrica da linha d'água e , além de levantamento topográfico por drones em pequenos reservatórios, medição de descarga líquida e sólida. Os dados do terreno em complementação aos de sensores remotos diversos, estão sendo utilizados na caracterização temporal da evolução hidrodinâmica dos sistemas fluviais da Bacia do rio Amazonas, do rio Paraguai e rio São Francisco.

Em especial, neste 2022, o SGB através deste projeto também coordenou o terceiro evento científico internacional de hidrologia por satélites “South America Water from Space” ( <https://hydrologyfromspace.org/>).

## ABSTRACT

---

This report aims to describe the activities of the Fluvial Dynamics project in 2022. A project created in the context of the International Cooperation Agreement between the Geological Survey of Brazil (SGB) and the French research institute IRD (Institut de Recherche Pour Le Développement).

Since 2008, the Fluvial Dynamics Project has been structuring and consolidating at SGB, the technical-scientific knowledge on the subject of hydrological data acquisition through orbital satellites.

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 knowlodge 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/>). The SWOT satellite was launched in December 2022 and the space mission represents the state of the art of satellite technologies for hydrological monitoring.

On the field, several campaigns were carried to the survey of hydrometeorological data that aims to validate, calibrate and complement satellite information, as example: data from GNSS receivers (Global Navigation Satellite System) for levelling gauge stations; altimetric profiling of the water surface; drone topographic surveying at small reservoirs, measurement of liquid and solid discharge. These ground data, in addition to the data obtained from various remote sensors, are being used for temporal characterization of the hydrodynamic evolution of the river systems of the Amazon River Basin, the Paraguay River and the São Francisco River.

In particular, in 2022 the SGB through this project also coordinated the third international scientific event on satellite hydrology “South America Water from Space (<https://hydrologyfromspace.org/>).

## 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: Mapa do trecho de um percurso de levantamento de altimetria, embarcação e a NAPPE acoplada ao barco de suporte. ....  | 17 |
| Foto 6 – Extração de dados da estação PCD e saída para instalação do bloco de sensor de pressão de nível. ....  | 18 |
| Figura 7 - Participantes da campanha de campo SGB/IRD Jun-2022.....   | 19 |
| Figura 8 – Distribuição espacial de reservatórios no estado do Ceará e faixa de passagem do satélite SWOT. ....   | 20 |
| Figura 9 – Levantamento realizados na campanha de campo no estado do Ceará .....  | 20 |
| Figura 10 - Instalação do receptor GNSS. ....   | 21 |
| Figura 11 - Participantes da campanha de campo SGB/IRD/Fuceme. ....   | 22 |
| Figura 12 – Instalação do receptor GNSS pelo Analista Daniel Moreira em Willamette. ....  | 23 |
| Figura 13 – Medição de ADCP no rio Willamette realizada pelo Analista Daniel Moreira. ....  | 24 |
| Figura 14 – Coleta de dados de nível de água e nivelamento por GNSS no rio Garona realizada pelo Analista Daniel Moreira. ....  | 25 |
| Figura 15 – Auditório da conferência South America Water from Space III em Itaipu-Binacional. ....  | 26 |
| Figura 16 – Sessão 3E1 do Fórum Mundial da Água. ....   | 28 |
| Figura 17 – Sessão do SWOT Science Team na Agência Espacial Francesa. ....  | 29 |
| Figura 18 – Exemplo de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial. .  | 31 |
| Figura 19 – Exemplo perfil altimétrico calculado através de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial.....   | 32 |
| Figura 20 - Resultados do balanço de sedimentos na região Amazônica obtidos na tese de Doutorado de André Santos, em adição a outros resultados obtidos em regiões próximas. .... | 33 |
| Figura 21 – Detalhes da missão SWOT. Fonte NASA.....  | 35 |
| Figura 22 – Dados de previsão de chuva.....   | 36 |

## SUMÁRIO

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>1.1 Objetivos</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1.2 Justificativas</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>1.3. Área de Atuação</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>1.4 Equipe do projeto</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>2. ATIVIDADES REALIZADAS EM 2022</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.1 Trabalhos De Campos Realizados.</b> .....   | <b>16</b> |
| 2.1.1 Levantamento altimétrico de validação de dados no lago Curuai / Santarém – PA.....                                     | 17        |
| 2.1.2 Monitoramento de reservatórios no semiárido cearense. ....   | 19        |
| 2.1.3 Campanha de calibração e validação do SWOT no rio Willamette (EUA).....  | 22        |
| 2.1.4 Campo de medição no rio Garrone, Toulouse, França. ....  | 24        |
| <b>2.2 Participações em Eventos Técnico-Científicos</b> .....  | <b>25</b> |
| 2.2.1 Conferência South America Water From Space.....  | 25        |
| 2.2.2 Apresentação no Fórum Mundial da Água de 2022 em Dakar, Senegal.....   | 28        |
| 2.2.3 Apresentação no 2022 SWOT Science Team Meeting em Toulouse, França .....   | 29        |
| <b>2.3 Coleta de dados obtidos através de receptores GNSS com apoio logístico da Rede Hidrometeorológica Nacional.</b> ..... | <b>30</b> |
| <b>2.4 Atividades de Pesquisas realizadas em 2022</b> .....  | <b>32</b> |
| 2.4.1 Doutorado do Pesquisador André Santos. ....  | 33        |
| 2.4.2 Artigos produzidos para revistas científicas.....  | 34        |
| 2.4.3 Pesquisa na preparação para o satélite SWOT. ....  | 34        |
| <b>2.5 Suporte de previsão pluviométrica por satélite aos sistemas de alertas.</b> .....                                     | <b>36</b> |
| <b>3. CONCLUSÃO E PERSPECTIVA PARA 2022</b> .....  | <b>36</b> |
| <b>Agradecimentos</b> .....  | <b>37</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>39</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade um novo paradigma a partir de informações satelitais pode ser empregado na área de hidrometria, onde, a partir 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 e áreas úmidas, sendo cada vez mais o uso presente de tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico como um importante caminho para a observação e melhor entendimento da hidrologia 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 praticamente global, permitindo a aquisição de informações hidrológicas em regiões de difícil acesso, distantes dos grandes centros, regiões fora de fronteira do Brasil, florestas, ínvias etc. Além disto, 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 necessário discutir os usos e as incertezas destes mesmos dados satelitais, pois o uso indiscriminado de novas tecnologias pode aumentar o grau de incertezas na estimativa de variáveis hidrológicas, caso estes dados não sejam validados ou sejam utilizados de forma incorreta. O usuário deve estar ciente e bem capacitado para observar os possíveis erros e as limitações destes dados, principalmente no que diz respeito aos erros provenientes da precisão e de escalas espaciais e temporais adotadas por estas fontes, para que estes erros não se propaguem, portanto, para as análises a serem realizadas, e a falta de conhecimento destas incertezas certamente refletir-se-á na capacidade de se transformar os dados em informações confiáveis para serem aplicados como ações de resposta para a sociedade.

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

## 1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo projeto Dinâmica Fluvial consolida-se a partir do estudo e do desenvolvimento de novas técnicas de aquisição de dados hidrológicos por meio de satélites orbitais, compreendendo as suas limitações e explorando o seu potencial no monitoramento, de modo a encontrar soluções à carência de dados hidrológicos, sob a perspectiva qualitativa e quantitativa, e auxiliar na redução dos custos operacionais e do tempo de aquisição de dados hidrológicos básicos, além das contribuições para o desenvolvimento tecnológico e científico global.

De forma específica, o projeto Dinâmica Fluvial e o acordo de cooperação internacional entre o SGB e o IRD almejam:

- Desenvolver novas técnicas de posicionamento global que garantirão o controle geodésico e monitoramento das informações hidrológicas a serem coletadas;
- Desenvolver técnicas de sensoriamento remoto que visem à obtenção de informações de níveis de água por satélite na bacia Amazônica;
- Desenvolver técnicas de sensoriamento remoto que visem à obtenção de estimativas de descarga sólida nos rios Amazônicos;
- Pesquisar métodos e equipamentos de campo que permitam a melhor estimativa da qualidade e quantidade de sedimentos nos rios Amazônicos; e
- Capacitar equipes e profissionais capazes de desenvolver novas tecnologias para a aquisição de dados.

## 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 da disponibilidade hídrica e do potencial hidráulico das bacias brasileiras, a exemplo do monitoramento hidrológico básico realizado pela CPRM em todo o território brasileiro, através da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN.

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, o que permite que estas técnicas em um futuro próximo sejam utilizadas de forma operacional a complementar o monitoramento hidrológico convencional. Do ponto vista científico, o uso do sensoriamento remoto representa o maior

avanço tecnológico em hidrometria dos últimos anos sendo, portanto, fundamental que Serviço Geológico do Brasil esteja preparado para absorver as suas técnicas, métodos e processos.

### 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 GEHITEMA (Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial, da Superintendência de Manaus), que

concluiu o seu doutoramento em 2022 e que realizou as atividades de pesquisa em colaboração conjunta SGB-UFAM-IRD.

- 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.

- 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, com a programação de em 2023 exercer também atividades de pesquisa.

Por parte do IRD as atividades são desenvolvidas pelo pesquisador Fabrice Papa, lotado atualmente na sede do IRD em Brasília.

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 2022 em medições de campo fundamentais para o projeto pela SUREG-BE através da atuação do técnico Leandro Guedes, e apoio gerencial do GEHITE Homero Reis e supervisor Mauro Rodrigues. Pela SUREG-MA temos a atuação e apoio gerencial da supervisora Luana Lisboa, apoio gerencial do GEHITE André Santos e suporte operacional de diversos técnicos de hidrologia lotados na SUREG-MA e do Laboratório de Análises Minerais – LAMIN.

## **2. ATIVIDADES REALIZADAS EM 2022**

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 tarefas primárias serão realizadas:

- Análise e processamento dos dados coletados;
- Aquisição e processamento de imagens de satélite referente aos estudos citados;

- Armazenamento dos mesmos 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 dos mesmos. 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 TRABALHOS DE CAMPO REALIZADOS

Buscando fortalecer os trabalhos de validação dos dados hidrológicos e altimétricos para solidificação das pesquisas do satélite SWOT, o projeto Dinâmica Fluvial vem realizando campanhas em parceria com o IRD, com destaque para duas campanhas realizadas no território nacional. A primeira em Santarém – PA, no lago Curuai, e a segunda na cidade de Crateús, no semiárido do Ceará. Tais medições têm como objetivo fornecer dados para a equipe do projeto que trabalha no time científico “SWOT for South América”. Em detalhe, foram os seguintes trabalhos de campo realizados:

### 2.1.1 Levantamento altimétrico de validação de dados no lago Curuai / Santarém – PA

Esta campanha foi realizada em junho de 2022, utilizando uma embarcação de madeira tipicamente amazônica, onde foram realizados os trabalhos de levantamento hidrológico, com medições e coletas de dados. Durante a campanha de campo o percurso navegado foi entre Santarém, Óbidos e lago de Curuai. Foram coletados dados de perfis de linha de água através de receptores GPS e radares que foram instalados na embarcação. Nessa linha de medição, também foi instalado a NAPPE (em livre tradução do francês significa tapete), que é um equipamento que funciona como uma boia que se adapta completamente a superfície da água e que serve para acoplar um GPS geodésico com a função de coletar dados do nível de superfície da água, através do percurso navegado pela lancha de suporte. Desta forma a equipe foi dividida, uma fazendo o levantamento com a NAPPE e a outra usando o GPS instalado no barco, conforme Figura 5. Isso permitiu ampliar a área de medição da altimetria do nível do rio.

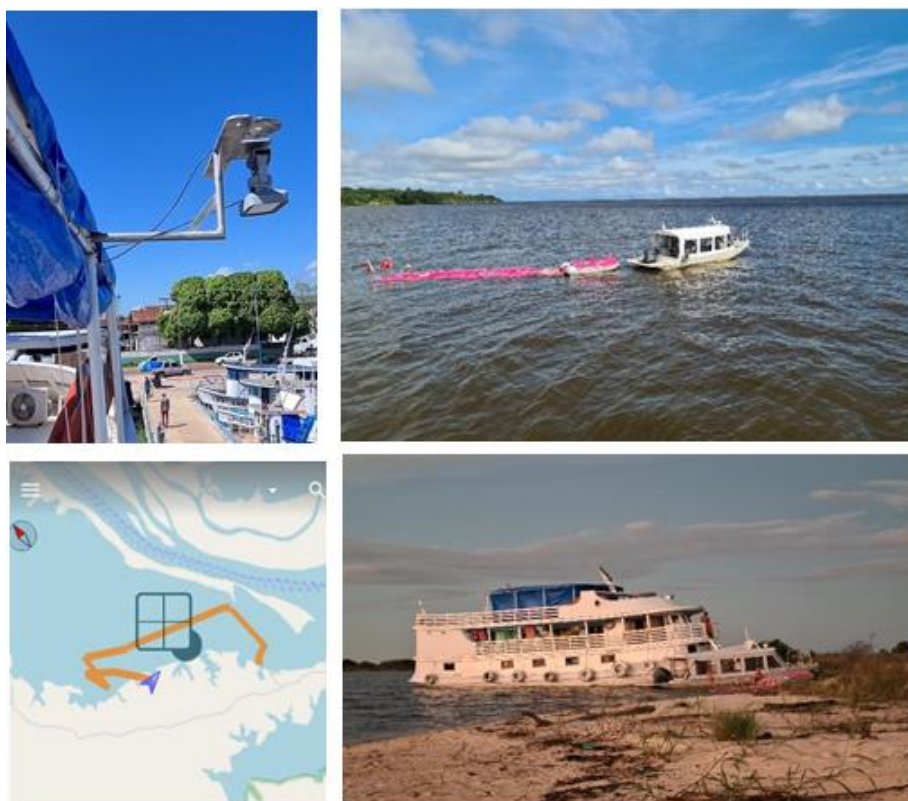


Figura 5: Mapa do trecho de um percurso de levantamento de altimetria, embarcação e a NAPPE acoplada ao barco de suporte.



Adicionalmente também foram coletados dados de batimetria por meio de ecobatímetros Garmim que foram instalados na embarcação. Tanto os receptores GPS quanto os ecobatímetros foram instalados em duplicidade de forma a garantir a não perda de dados, bem como a avaliação de qualquer inconsistência nas informações que serão utilizadas para avaliação de dados de satélite.

Além disso, foram realizadas medições de vazões através de ondas acústicas utilizando o efeito Doppler. A secção transversal escolhida para medição foi a própria secção padrão de medição de Óbidos, foram utilizadas as cotas altimétricas desta estação. A medição foi realizada em duas formas simultâneas: a primeira com o ADCP no suporte trimarã sendo conduzido pela lancha, e a segunda sendo o ADCP acoplado ao barco. Na medição, a vazão calculada e validada, foram utilizados os parâmetros de velocidade do barco a partir dos receptores GNSS. A vazão calculada foi de 256.000 m<sup>3</sup>/s. Em Óbidos também foi realizada a extração de informações da Plataforma de Coleta de Dados (PCD).

Encerrando os levantamentos de dados, foram instalados diversos sensores de pressão de nível com objetivo de monitoramento do Lago do Curuai, fornecendo mais informações altimétricos para validação dos dados do SWOT, conforme a figura 6.



Foto 6 – Extração de dados da estação PCD e saída para instalação do bloco de sensor de pressão de nível.

Nesta campanha tiveram presentes Daniel Moreira (SGB/ERJ), Leandro Santos (SGB/Belém), Jefferson Melo (SGB/ERJ), Fabien Durand (IRD-UnB), Alice Fassoni (IRD-UnB), Capucine (IRD), Paul (IRD-Unb), Rafael Reis (FUCEME-Ceará), Renata Rossoni (IPH/UFRGS), Avner Gaspar e Rafael Muniz ambos da UFOPA, conforme figura 7. Destaca-se nesta campanha a cobertura jornalística ao trabalho de campo realizado que pode ser verificada no link <https://globoplay.globo.com/v/10676206/>.



Figura 7 - Participantes da campanha de campo SGB/IRD Jun-2022.

### **2.1.2 Monitoramento de reservatórios no semiárido cearense**

No mês de setembro de 2022, tendo como um dos principais objetivos contribuir com o monitoramento de lagos e reservatórios a partir de satélite, mais especificamente com objetivo de validação de dados do SWOT, um trabalho de campo, em Cratêus – CE, foi realizado em parceria com o IRD e a FUCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

O satélite SWOT, além de medir o nível dos rios, poderá medir a superfície da extensão do corpo hídrico, permitindo descobrir o quantitativo de água doce. Neste aspecto, o satélite tem potencialidade de monitorar mais de 95% dos lagos da terra com mais de 6 hectares, no entanto a uma expectativa a capacidade do sensor colete informação até mesmo corpos hídricos de 1 hectare, possibilitando assim nessa oportunidade o monitoramento de pequenos reservatórios. De acordo com o pesquisador Rafael Reis (2022) existe mais de 100 mil reservatórios com mais de 1 hectares no estado, conforme Figura 8.

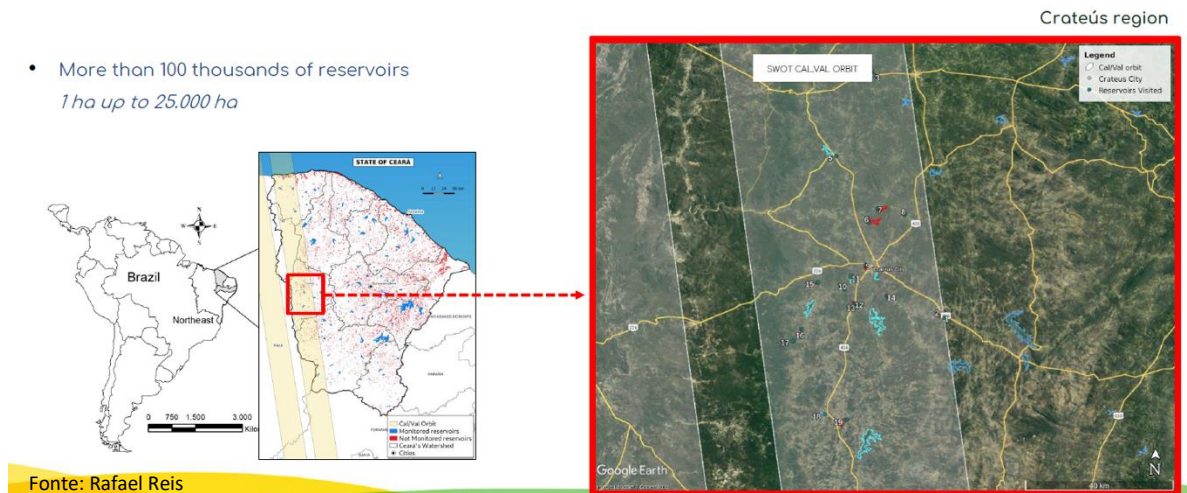


Figura 8 – Distribuição espacial de reservatórios no estado do Ceará e faixa de passagem do satélite SWOT.

Entretanto para operacionalizar o uso destas informações são necessárias extrações de dados *in loco* cobrindo várias áreas e que depois serão comparados com os dados do satélite. Nesta perspectiva são necessários dados para calcular as mudanças de volume ao longo do tempo, combinando as medidas de extensão e altura a partir de diferentes instrumentos em dias diferentes. Para aferir a capacidade de validação de dados do SWOT foi conduzido o trabalho de campo para obter informações do terreno através do levantamento topográfico por drone, instalação de sensores de pressão de níveis e geração da batimetria dos reservatórios a partir de ecobatímetro instalado em uma pequena embarcação, conforme visualizado na Figura 9.

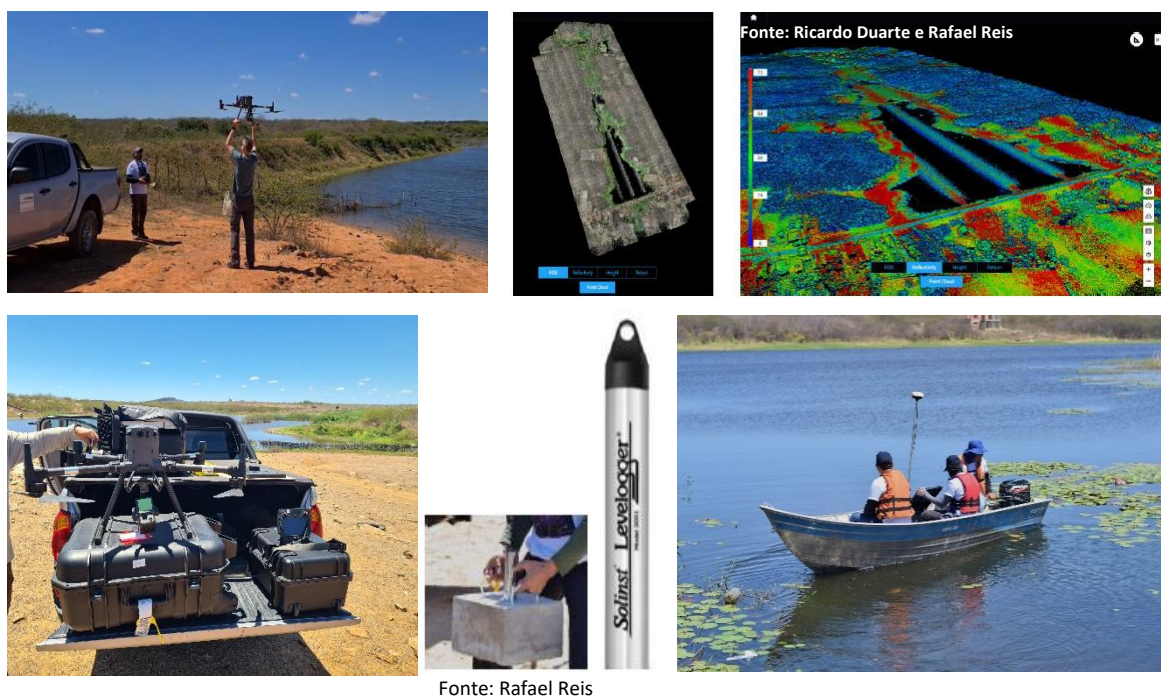


Figura 9 – Levantamento realizados na campanha de campo no estado do Ceará.

Através do uso de drone (matrice 300 rtk) obteve-se dados topográficos com informações tridimensionais do terreno. As informações do drone foram obtidas através do uso de um sensor Lidar (*Light Detection and Ranging*), que permite obter uma densa nuvem de pontos resultando na criação do modelo digital do terreno.

O trabalho de campo realizado em Crateús também compreendeu outras atividades como, por exemplo, a coleta de dados de declividade da linha de água através de receptores GPS (figura 10) e a instalação de sensores de pressão atmosférica. Tudo isso contribui para o a validação de dados de satélites para o monitoramento dos pequenos açudes no semiárido do Ceará.



Figura 10 - Instalação do receptor GNSS.

Nesta campanha contamos com equipes de técnicos do SGB, Funceme, IRD, HydroMatters e COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – CE) representados nas pessoas de Daniel Moreira (SGB/ERJ), Ricardo Duarte (SGB/ERJ), Jefferson Melo (SGB/ERJ), Marielle Gosset (IRD-Fuceme), Laetitia Gal (HydroMatters) e Rafael Reis (FUCEME-Ceará), conforme figura 11.



Figura 11 - Participantes da campanha de campo SGB/IRD/Fuceme.

### **2.1.3 Campanha de calibração e validação do SWOT no rio Willamette (EUA)**

Uma missão internacional da magnitude do SWOT envolve necessariamente um conjunto preciso de medições de campo. Na temática da altimetria espacial, a calibração e validação de dados de satélite sobre o terreno constituem parte significativa do sucesso de um projeto. Esta etapa de Calibração/Validação (Cal/Val) permite verificar e garantir a exatidão das medições feitas pelo satélite a partir do espaço. Em virtude desta importância, entre os dias 25 e 29 de julho de 2022, realizou-se a campanha internacional de calibração e validação para missão SWOT.

A campanha que teve a participação dos responsáveis científicos da missão SWOT com a presença de equipes dos Estados Unidos e da França, de forma prioritária a fazer um intercâmbio entre os países participantes dos protocolos de medições no terreno. Em especial, este campo também contou com a participação do SGB, através do analista Daniel Moreira que realizou medições de campo (Figura 12) e compartilhou a experiência do SGB nas temáticas de hidrometria e geodésia. A campanha de calibração ocorreu nos Estados Unidos, no estado do Oregon, no rio Willamette, nas proximidades da cidade de Portland.

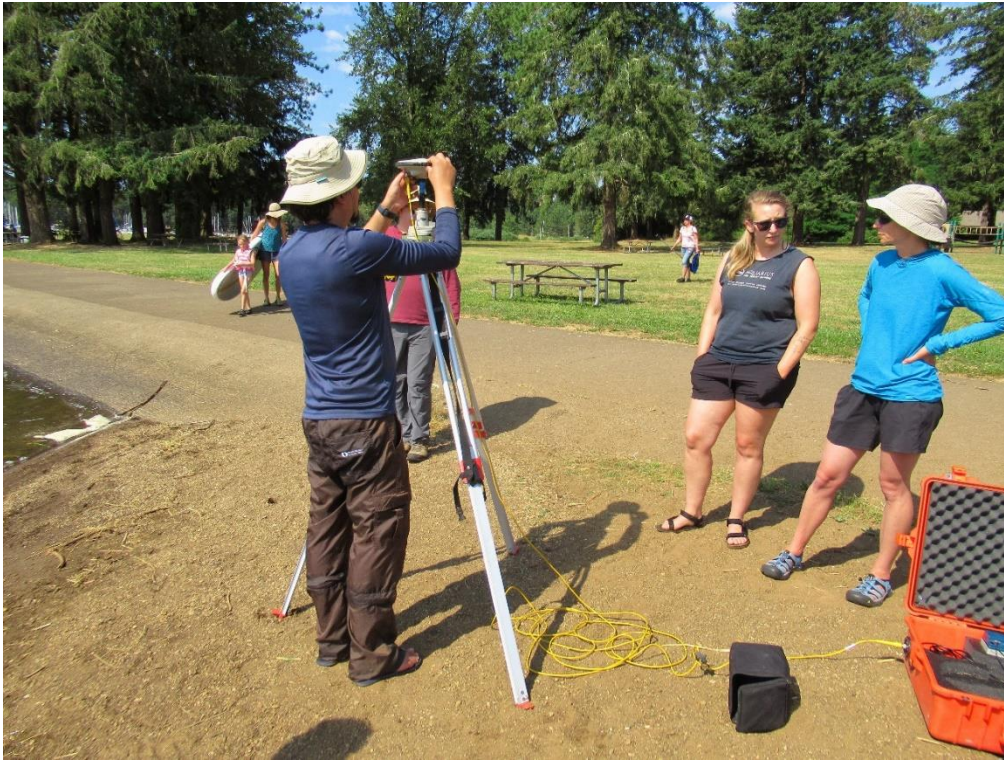


Figura 12 – Instalação do receptor GNSS pelo Analista Daniel Moreira em Willamette.

O protocolo de medições baseou-se na implantação ao longo do trecho de rio estudado de cerca de quinze Transdutores de Pressão, sensores submersos georreferenciados com alta precisão utilizando sensores GNSS para fazer o referenciamento do nível de água. Estes sensores permitirão medir o rio medindo sua velocidade, profundidade e vazão por meio de curvas chaves a serem criadas por medições via perfiladores acústicos (ADCP), conforme Figura 13.



Figura 13 – Medição de ADCP no rio Willamette realizada pelo Analista Daniel Moreira.

Um relatório adicional desta missão internacional está disponível no seguinte endereço <https://www.vortex-io.fr/divers/calibration-validation-satellite-swot-mesures/>.

#### **2.1.4 Campo de medição no rio Garona, Toulouse, França**

No dia 14 de dezembro de 2022, o analista Daniel Moreira do SGB, em parceria com equipes do CNES, do Laboratório LEGOS e Hydrometters, realizou medições no rio Garona, na zona da faixa de calibração e validação da missão SWOT. As medições tiveram como principal finalidade coleta de dados de nível de água (Figura 14) obtidos através de sensores de nível instalados no rio Garona e nivelamento a uma referência altimétrica desses sensores.



Figura 14 – Coleta de dados de nível de água e nivelamento por GNSS no rio Garona realizada pelo Analista Daniel Moreira.

## 2.2 PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

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.

### 2.2.1 Conferência *South America Water From Space*

No período de 21 a 25 de novembro de 2022, no Cineteatro dos Barrageiros da Fundação Parque Tecnológico de Itaipu, a Conferência *South America Water from Space III* teve como objetivo ampliar a discussão técnica no monitoramento hidrológico e no levantamento de dados de águas superficiais e oceânicas através dos satélites de observação, conforme Figura 15.





Figura 15 – Auditório da conferência *South America Water from Space III* em Itaipu-Binacional.

Participaram como organizadores desta conferência o SGB, o IRD, o CNES (Agência Espacial Francesa), o IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) e a ABRHidro (Associação Brasileira de Recursos Hídricos). Na posição de suporte ao evento, participaram o PTI (Parque Tecnológico Itaipu) e o LEGOS (*Laboratory of Space Geophysical and Oceanographic Studies - França*). O evento teve o patrocínio da Itaipu Binacional.

A 3ª Conferência *do South America Water From Space* proporcionou um excelente ambiente para trocas de experiências e aprendizados. Ao todo foram mais de 42 apresentações orais técnicas e 27 pôsteres de várias instituições brasileiras e internacionais como SGB, PTI, Itaipu, INPE, Cemaden, ANA, FUCEME, SELPER, Mamirau, IRD, CNES, LEGOS, NASA e SENHAMI, entre outras. Além disso, tivemos a participação de várias universidades, entre elas a UFPE, UFAM, UFRGS, UNB, University of Concepción (Chile) e Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción". Essa grande participação dos pesquisadores foi possível através das interações dos trabalhos de pesquisas pertinentes a aplicação dos instrumentos de extração e monitoramento de dados hidrológicos por satélite que cada instituição vem desenvolvendo. Como resultado deste esforço para detalhar os processos que caracterizam o ciclo hidrológico, a conferência expôs a ampliação da capacidade de quantificar mudanças neste ciclo, com impactos no monitoramento, segurança hídrica e conseqüentemente no entendimento das mudanças climáticas. Dentre os trabalhos alinhados neste propósito podemos mencionar *Lake Monitoring from Space* (J-F. Cretaux (LEGOS, CNES, France)), *Amazon hydrological reanalysis and land-atmosphere interactions in a changing climate* (Sly Wongchuig, LEGOS-CNES) e *Hydroclimatology from Peru using space data and land climatological observations* (Harold Llauca and Waldo Lavado, SENAMHI/Peru).

Além desta interação, também foram apresentados os resultados dos trabalhos de levantamento de dados de campo e as futuras áreas de ponto de controle de coleta de dados que visam subsidiar as informações a serem geradas pelo novo satélite de observação terrestre, o SWOT, fruto da parceria entre agências espaciais europeias, NASA e o Canadá. Como exemplo destes trabalhos podemos citar: the SWOT mission and Hydrology from Space general overview (Jean-François Crétaux, CNES), Small reservoirs monitoring in semi-arid Brazilian Nord Este in Cearà and SWOT (Rafael Reis Oliveira, FUNCEME) e Ongoing and upcoming field campaigns in SA after the SWOT launch within the GDRI ScyHyLab (S. Calmant, IRD). No tocante a este aspecto, o IRD destacou a parceria com o SGB, reconhecendo a grande contribuição desta instituição para geração de dados hidrológicos que são fundamentais para validação dos dados do SWOT

Enriquecendo ainda mais a conferência, foram oferecidos 04 minicursos que proporcionaram reflexões, aprendizados e troca de conhecimento na área de hidrologia. Nesse aspecto se pôs à disposição ensinamentos nas áreas de monitoramento, materializado no curso oferecido por Adrien Paris e Pablo Santos, intitulado, respectivamente de radares altimétricos e medição por ADCP. Eles abordaram a extração de nível de rios com sensor de radar e medição de vazão *in loco*, através de medidores acústicos. Voltado para a quantificação das variáveis do ciclo hidrológico também foi oferecido um minicurso para aplicação dos recursos hídricos através dos resultados dos produtos de modelagem hidrológica e de sensoriamento remoto. Além disso, foi oferecida capacitação de como processar os dados que serão obtidos pela missão SWOT. Todos estes ensinamentos são facilitadores que corroboram a cultura de melhorias de processos existente na hidrologia em geral, proporcionando um fortalecimento de um monitoramento hidrológico confiável e contribuindo para previsões mais assertivas.

Na referida conferência, o SGB teve a participação dos seguintes colaboradores:

- Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial, a Dra. Alice Castilho, que deu as boas-vindas aos pesquisadores em nome do SGB;
- Dr. Cláudio Peixinho (Chefe do Departamento de Hidrologia), que apresentou os trabalhos desenvolvidos por este Departamento.

Link da apresentação (acesso em 6 jan. 2022):

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AltYHKC38Hh5gp8&id=3F35078CDEAE369F%2142560&cid=3F35078CDEAE369F&parId=root&parQt=sharedby&parCid=9752C667FB2F3101&o=OneUp>

- Dr. Daniel Moreira, que apresentou o tema da altimetria espacial e seu papel na previsão de dados de chuvas por satélite nos sistemas de alertas do SGB;

Link da apresentação (acesso em 6 jan. 2022):

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AF4o3o0VjNXA5Kk&id=3F35078CDEAE369F%2142575&cid=3F35078CDEAE369F&parId=root&parQt=sharedby&parCid=9752C667FB2F3101&o=OneUp>

- Dr. André Matinelli, apresentando o resultado de seu trabalho na temática de Estimção de concentração de sedimento por satélite;  
Link da Apresentação (acesso em 6 jan. 2022):  
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AILh%5FdiprEBfGaE&id=3F35078CDEAE369F%2142595&cid=3F35078CDEAE369F&parId=root&parQt=sharedby&parCid=9752C667FB2F3101&o=OneUp>
- Leandro Guedes, a respeito da dinâmica do estuário do rio Amazonas.  
Link do trabalho (acesso em 6 jan. 2022):  
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21ADIXp2i%2DncqblPY&id=3F35078CDEAE369F%2142606&cid=3F35078CDEAE369F&parId=root&parQt=sharedby&parCid=9752C667FB2F3101&o=OneUp>

### 2.2.2 Apresentação no Fórum Mundial da Água de 2022, em Dakar, no Senegal.

Entre os dias 21 e 26 de março de 2022 realizou-se o Fórum Mundial da Água, na cidade de Dakar no Senegal (Figura 16), sendo esta a nona edição do evento. O analista Daniel Medeiros Moreira foi convidado pelo IRD para apresentar as atividades de pesquisa do projeto Dinâmica Fluvial, palestrando na quinta-feira dia 24 de março na sessão 3E1 sob o título “Satélites e Recursos Hídricos: Rumo a uma revolução?”.



Figura 16 – Sessão 3E1 do Fórum Mundial da Água.

Em sua palestra, o analista Daniel Medeiros Moreira compartilhou a experiência do Serviço Geológico do Brasil no uso de dados de satélites para hidrologia, apresentando aplicações de altimetria por satélites em monitoramento dos rios Amazônicos. As

apresentações da referida sessão 3E1 estão disponíveis no seguinte endereço: <https://www.riob.org/fr/node/8185>.

### 2.2.3 Apresentação no “2022 SWOT Science Team Meeting” em Toulouse, França

Entre os dias 26 e 30 de junho de 2022, na cidade de Toulouse, na França (Figura 17), 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. O SGB através do projeto SWOT for South America integra a equipe científica do SWOT. O evento ocorreu no auditório da Agência Espacial Francesa (CNES) e contou com a participação do analista Daniel Medeiros Moreira. Neste encontro, o analista realizou apresentações das atividades realizadas pelo SGB em parceria com o IRD e Agência Espacial Francesa na pesquisa, validação e calibração do satélite SWOT.



Figura 17 – Sessão do SWOT Science Team na Agência Espacial Francesa.

No referido evento, as seguintes apresentações foram realizadas:

- **River slopes, techniques, accuracy and limitations**, disponível no endereço [https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user\\_upload/SWOTST2022/FR\\_Wednesday\\_AM](https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/SWOTST2022/FR_Wednesday_AM)

[Hydro/WG3/06 D Moreira presentation for swot river science.pdf](#) (acesso em 6 jan. 2022).

- **GNSS data processing of Cal/Val campaigns, algorithms, inter-comparison, data processing strategies**, disponível no endereço [https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user\\_upload/SWOTST2022/FR\\_Thursday\\_AM\\_Hydro/dmoreira\\_calval\\_swot\\_meeting.pdf](https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/SWOTST2022/FR_Thursday_AM_Hydro/dmoreira_calval_swot_meeting.pdf) (acesso em 6 jan. 2022).
- **Tropical rivers: experimental devices, sites (Maroni, Curuai/Amazone, Negro/Amazone, Ganga and Mahanadi, Meta/Orinoco), and objectives**, disponível no endereço [https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user\\_upload/SWOTST2022/FR\\_Thursday\\_AM\\_Hydro/CALMANT-MOREIRA\\_Tropical-rivers.pdf](https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/SWOTST2022/FR_Thursday_AM_Hydro/CALMANT-MOREIRA_Tropical-rivers.pdf) (acesso em 6 jan. 2022).

### **2.3 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 capacidade logística 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.



Figura 18 – Exemplo de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial.

Através dos dados coletados é possível obter o perfil altimétrico dos rios navegados (Figura 19). Por meio deste perfil mapeado torna-se possível validar dados de satélites altímetros calculando erros e vieses e 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.

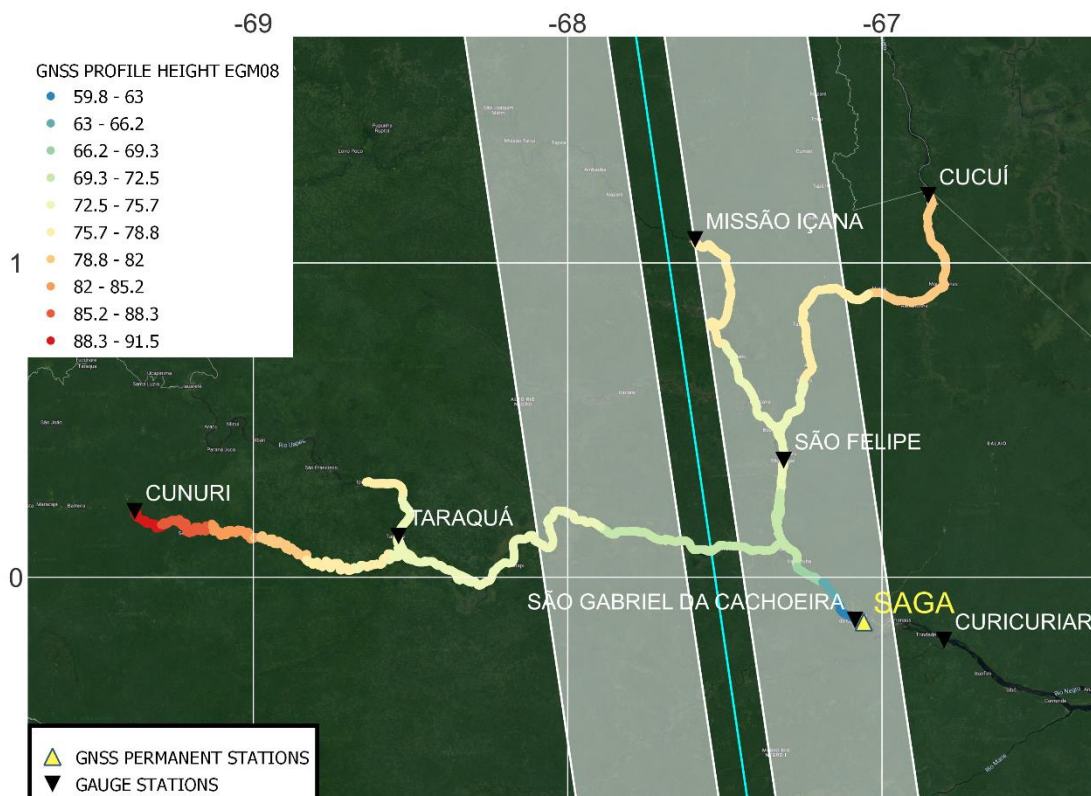


Figura 19 – Exemplo perfil altimétrico calculado através de instalação de receptor GNSS abordo de embarcação fluvial.

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 ATIVIDADES DE PESQUISAS REALIZADAS EM 2022

No ano de 2022 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 no ano de 2022.

### 2.4.1 Doutorado do Pesquisador André Santos

Em setembro de 2022 o pesquisador André Martinelli Real dos Santos defendeu sua tese de doutoramento intitulada “Análise temporal e espacial dos dados de sedimentos em estações hidrométricas na Amazônia: casos de Manacapuru e Itacoatiara”. Em seu projeto de tese, realizado em cooperação entre o SGB, IRD e INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), o pesquisador buscou desenvolver ferramentas que otimizem os recursos técnicos e financeiros empregados na obtenção de dados hidrossedimentológicos utilizando ferramentas do Sensoriamento Remoto e propondo um novo protocolo para amostragem de sedimentos em suspensão, especialmente para estimar a carga sedimentar referente às areias, classe de sedimentos que é dominante no período de águas altas.

A referida tese de doutorado do pesquisador Andre Santos proporcionou ao SGB, além da absorção e aprimoramento do conhecimento metodológico em medições de sedimentos in-situ e evolução tecnológica na medição por satélites (Figura 20), o produto e resultado específico o cálculo do balanço hidrossedimentológico em importante região Amazônica mais precisamente entre Manacapuru e Itacoatiara que apresentou uma produção de 983 Mt ano<sup>-1</sup> e 1421 Mt ano<sup>-1</sup>, respectivamente.



Figura 20 - Resultados do balanço de sedimentos na região Amazônica obtidos na tese de Doutorado de André Santos, em adição a outros resultados obtidos em regiões próximas.



A tese desenvolvida pelo pesquisador do SGB pode ser visualizada através do link <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/22918>.

#### 2.4.2 Artigos produzidos para revistas científicas

No ano de 2022 foram publicados os seguintes artigos científicos.

- SOUZA, Vinicius Alexandre Sikora de; ROTUNNO FILHO, Otto Corrêa; RODRIGUEZ, Daniel Andres; MOREIRA, Daniel Medeiros; RUDKE, Anderson Paulo; ANDRADE, Claudia Daza. Dinâmica da conversão de floresta e tendências climáticas na bacia do rio Madeira. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 2007-2034, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509865211>.
- BACALHAU, José Ráurium; RIBEIRO NETO, Alfredo; CRÉTAUX, Jean-François; BERGÉ-NGUYEN, Muriel; MOREIRA, Daniel Medeiros. Bathymetry of reservoirs using altimetric data associated to optical images. **Advances in Space Research**, v. 69, n. 11, p. 4098-4110, june 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.03.011>.

Estes dois artigos foram produzidos em colaboração com universidades parceiras como a UFRJ, na qual o analista Daniel Moreira orientou em parceria com o professor Otto Rotunno a tese de doutoramento de Vinicius Sikora. O segundo artigo, de José Bacalhau, foi desenvolvido em parceria com a UFPE no qual o SGB participou coletando dados de campo e fornecendo importantes informações sobre produtos de satélite para hidrologia.

Outros dois artigos na temática de sensoriamento remoto em hidrologia foram submetidos a revistas científicas e estão em processo de revisão.

#### 2.4.3 Pesquisa na preparação para o satélite SWOT.

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.

O SWOT é uma missão espacial que visa desenvolver 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 21). Atualmente existem missões espaciais com sensores altimétricos e outras com sensores imageadores. Complementarmente, 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 são usados como ferramentas técnicas na solução de problemas relacionados à disponibilidade hídrica.

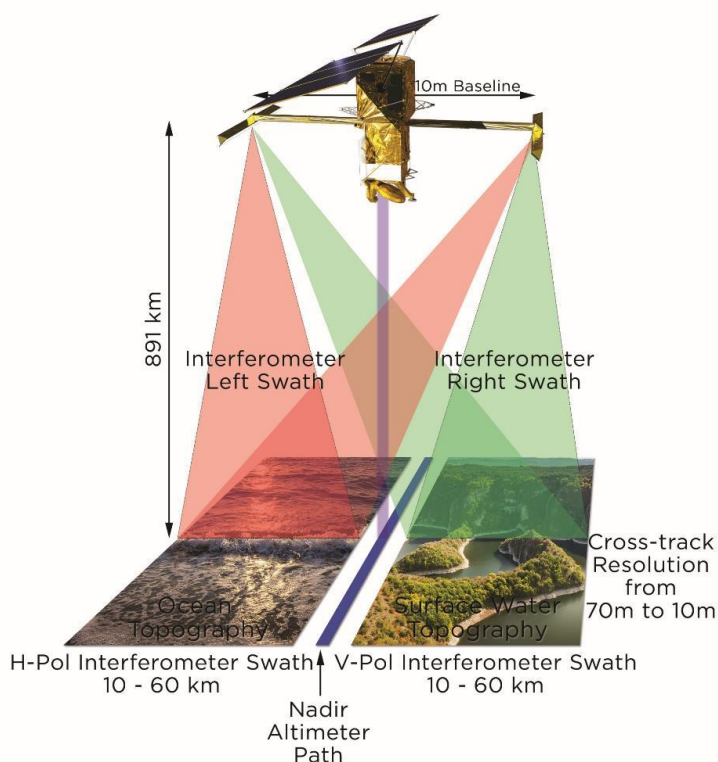


Figura 21 – Detalhes da missão SWOT. Fonte: NASA.

Em espacial 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 incluso, 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 preparação para missão SWOT.

## 2.5 SUPORTE DE PREVISÃO PLUVIOMÉTRICA POR SATÉLITE AOS SISTEMAS DE ALERTAS

Diariamente são produzidos pela equipe do projeto Dinâmica Fluvial cerca de 1000 (mil) mapas com informações de chuva em mais de 130 áreas de drenagem de interesse para os 17 sistemas de alertas operados pelo SGB. Estas informações contêm desde a chuva estimada por satélites ocorridas em escalas horárias nas últimas 24 horas, bem como a chuva diária ocorrida na última semana e anomalias mensais de chuva. Também como forma de auxílio, são produzidos mapas de previsões de chuva em escala diária para os próximos 15 dias e, em melhor precisão, mapas de chuvas horárias das próximas 24 horas e previsão sazonal para os próximos 7 meses. Estas informações podem ser utilizadas em grandes bacias para ajudar a análise de possíveis secas ou cheias extremas previstas pelo modelo. Na Figura 22 temos um exemplo de como esses dados são produzidos.

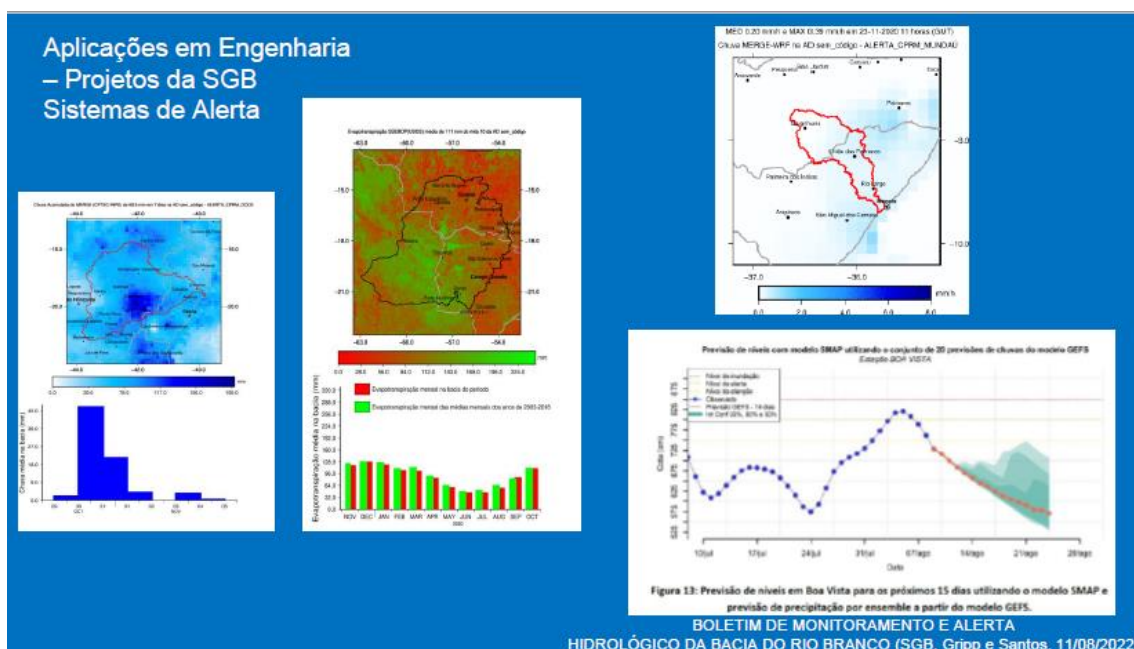


Figura 22 – Dados de previsão de chuva.

## 3. CONCLUSÃO E PERSPECTIVA PARA 2022

O uso dos sensores orbitais no campo da ciência hidrológica, principalmente, em grandes bacias hidrográficas como a Bacia Amazônica, Bacia do Paraguai e Rio São Francisco traz grandes desafios, mas também grandes perspectivas, sendo ancorada pelo SGB em sua missão institucional a absorção de novas tecnologias aplicadas ao monitoramento hidrológico. No sentido da inovação tecnológica, vale destacar o lançamento do satélite SWOT em 15 de dezembro de 2022, realização esta que o SGB participa do time científico através do projeto denominado “SWOT for South America”, que visa explorar as diversas potencialidades de uso da missão SWOT em hidrologia para todo o continente Sul-Americano.

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 dando a este projeto três frentes de atividades.

A primeira frente de atividades tem por objetivo a disseminação do conhecimento científico e a atuação em parceria com as agências internacionais como CNES, IRD e NASA. Sendo assim, em 2015, o SGB organizou o primeiro encontro na América do Sul para divulgação e pesquisa sobre a missão SWOT, evento que se realizou no Escritório do Rio de Janeiro do SGB. Este encontro científico fomentou o surgimento de conferências na temática de Hidrologia Espacial, denominados de *South America Water From Space*, sendo duas edições desta conferência 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 a trabalhos de campo realizados em Santarém, Alto Rio Negro, São Francisco, entre outros.

E por fim sua terceira contribuição está associada à pesquisa com o benefício da capacitação dos seus pesquisadores, ao prepará-los para absorver e disseminar este novo conhecimento. Nesta iniciativa cabe-se destacar, em 2022, a conclusão de pesquisa de doutoramento do pesquisador Andre Santos (GEHITE-MA) e o início de pesquisa de pós-doutoramento do analista Daniel Moreira (DIHAPI/DEHID/DHT).

Para o ano de 2023, planeja-se a continuidade das diversas iniciativas aqui já citadas, todas realizadas pelo SGB na temática de sensoriamento remoto para hidrologia. Dentre novas iniciativas podemos destacar o início da operação do satélite SWOT 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 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.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ASSUNI e aos membros da Diretoria Executiva, em especial à DHT e sua equipe que deram todo suporte necessário para desenvolvimento da pesquisa científica realizada em cooperação entre CPRM e IRD. Agradecemos também à Agência Espacial Francesa (CNES) e ao IRD pelo apoio técnico e financeiro e por reconhecer a capacidade do Serviço Geológico do Brasil em desenvolver esta pesquisa de relevância no tema de Hidrologia por Satélites. Às chefias e colaboradores da DIHAPI, DEHID, GEHITE-MA, GEHITE-RE e GEHITE-BE, em especial aqueles que desenvolvem atividades no projeto Dinâmica Fluvial. Às Universidades parceiras em especial a UFRJ, UFAM, UEA, UFPE e UFRGS(IPH), que apoiaram e capacitam os técnicos da CPRM em busca de uma melhor formação acadêmica.

Adicionalmente, cabe destacar agradecimento, também, ao projeto Ore-Hybam (Observatório de Pesquisa em Ambiente - Controles geodinâmico, hidrológico e biogeoquímico da erosão/alteração e da transferência de materiais na bacia amazônica) que proporcionou dados coletados no contexto de realização de campanhas de campo e dos dados gerados pela Rede Hidrometeorológica Nacional brasileira (RHN). No que concerne à RHN operada pelo SGB e de responsabilidade da Agência Nacional de Águas - ANA, também houve colaboração no que diz respeito à logística e compartilhamento de embarcação quando ocorreu congruência nas áreas de atuação das campanhas realizadas pelo SGB, o que colaborou muito para o desenvolvimento destes estudos. O nosso agradecimento às equipes responsáveis e 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>.