

RELATÓRIO DE ATIVIDADES

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



PROJETO DINÂMICA FLUVIAL

ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE CPRM E IRD
PESQUISA EM HIDROLOGIA POR SATÉLITES

Em Editoração

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Dezembro 2021

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

Relatório de Atividades

Departamento de Hidrologia

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS
SUBÁREA: PESQUISA E INOVAÇÃO
(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Andre Luis Martinelli Real dos Santos
Daniel Medeiros Moreira
Jefferson Santana Melo

Em Editoração

Rio de Janeiro/RJ, 2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

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 Claudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

EQUIPE TÉCNICA

Andre Luis Martinelli Real dos Santos (SUREG-MA)

Daniel Medeiros Moreira (ERJ)

Jefferson Santana Melo (ERJ)

APOIO NOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Alan Felipe Progênio do Amaral Sousa (SUREG-BE)

Daniel Garcia de Oliveira (SUREG-MA)

Leandro Guedes dos Santos (SUREG-BE)

Robson Azevedo de Oliveira (SUREG-MA)

PROJETO DINÂMICA FLUVIAL /ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE CPRM E IRD PESQUISA EM HIDROLOGIA POR SATÉLITES

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Daniel Medeiros Moreira

Jefferson Santana Melo

FOTOS DA CAPA: Impressão artística do futuro satélite SWOT fazendo observações da altura da superfície do mar, mesmo através das nuvens. O SWOT contará com um altímetro de satélite que usará interferometria de radar para fazer medições de alta resolução (~ 1 km) em duas faixas de água de 60 km de largura ao mesmo tempo, com um altímetro de nadir convencional no intervalo entre eles. Fonte da imagem (Agência Espacial Francesa/CNES)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S237r Santos, Andre Luis Martinelli Real dos.
Relatório de atividades Departamento de Hidrologia : área :
recursos hídricos superficiais, subárea : pesquisa e inovação / Andre
Luis Martinelli Real dos Santos, Daniel Medeiros Moreira, Jefferson
Santana Melo ; realização Divisão de Hidrologia Aplicada. – Rio de
Janeiro : CPRM, 2021.
1 recurso eletrônico : PDF. – (Relatório de Atividades – ano 2021 ;
1)

ISBN 978-65-5664-205-5

1.Hidrologia. 2.Pesquisa. I. Santos, Andre Luis Martinelli Real dos.
II. Moreira, Daniel Medeiros. III. Melo, Jefferson Santana.
IV. Título. V. Série.

CDD 551.48

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

APRESENTAÇÃO

Sob a coordenação da Divisão de Hidrologia Aplicada (DIHAPI) e do Departamento de Hidrologia (DEHID), o projeto Dinâmica Fluvial vem sendo desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) desde 2008, tendo por objetivo inicial operacionalizar as ações do Acordo de Cooperação Internacional celebrado entre a SGB/CPRM e o instituto francês IRD - *Institut de Recherche Pour Le Développement*.

Esta cooperação 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 de suas contribuições para o desenvolvimento tecnológico e científico global.

Neste sentido, o projeto, além de proporcionar o monitoramento hidrológico em regiões pouco monitoradas, principalmente em bacias transfronteiriças, apoiando os sistemas de alerta operados pelo SGB/CPRM com informações satelitais em tempo quase-real, visa também capacitar pesquisadores do SGB e externos no uso de dados de satélite para hidrologia e realizar parcerias em orientações acadêmicas com universidades e centros de pesquisa, resultando em publicações científicas a nível nacional e internacional.

Em especial o SGB/CPRM através deste projeto também coordena o evento científico internacional de hidrologia por satélites “South America Water from Space (<https://hydrologyfromspace.org/>) e participa do time científico da missão espacial SWOT (Surface Water and Ocean Topography / <https://swot.jpl.nasa.gov/>), a ser lançada em 2022 pela NASA e CNES.

Link:<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Pesquisa-e-Inovacao/Investigacao-da-Dinamica-Fluvial-de-Grandes-Bacias-do-Aporte-de-Sensoriamento-Remoto-6597.html>

RESUMO

O presente relatório tem como principal objetivo de descrever as atividades relacionadas acordo de cooperação técnico-científica entre CPRM e IRD no qual é desenvolvido um programa de pesquisa em conjunto e de interesse comum para capacitação de recursos humanos, relacionado à hidrologia, hidrogeologia e geologia (geoquímica e paleoclimatologia), e de suas inter-relações com o meio ambiente, no âmbito da Bacia Hidrográfica Amazônica, Bacia do rio Paraguai e Bacia do rio São Francisco.

As atividades compreenderão os trabalhos de campo conjunto para levantamento dos dados hidrometeorológicos; de testemunhos de sondagem para estudos paleoclimáticos; além da coleta de amostras para geoquímica de sedimento de corrente, solo, rocha e águas superficiais e subterrâneas, e dados GNSS (GPS) para o nivelamento direto das réguas (modo estático), perfilagem altimétrica da linha d'água e nivelamento indireto das réguas (modo cinemático), e medidas piezométricas. Os dados de estações virtuais, incluindo a altimetria espacial, e de sensores remotos diversos, serão utilizados no apoio ao referenciamento de nível das estações hidrometeorológicas e na caracterização temporal da evolução hidrodinâmica dos sistemas fluviais da Bacia do rio Amazonas, do rio Paraguai e rio São Francisco.

A coleta e compilação de dados e seu armazenamento em base de dados a ser compartilhada por CPRM e IRD, e a troca de conhecimento entre as partes, tanto sobre a área em estudo como sobre o conhecimento de temas específicos, estão focadas no entendimento da dinâmica fluvial da Bacia Amazônica, Bacia do rio Paraguai e Bacia do rio São Francisco, e seus impactos sobre as áreas habitadas bem como o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas ao monitoramento hidrológico, com a exemplo da altimetria espacial entre outras.

ABSTRACT

This present report aims to describe the activities of the agreement between CPRM and IRD that was made to develop a bilateral research programme of mutual interest for human resources formation, related to the Hydrology, Hydrogeology and Geology (Geochemistry and Paleoclimate), and its relationship with the environment in the area of the Amazon Basin, Paraguay river basin and São Francisco river basin.

The project activities comprise the joint field-work aiming to survey the hydrometeorological data; drill core for paleoclimate studies, apart from collecting samples of stream sediments, of soil, rock, surface water and groundwater, and GNSS (GPS) data for staff gage direct leveling (static mode), altimetric profiling of water level lines and indirect leveling of staff gages (kinematic mode), and piezometric data. The data from virtual gauging stations, including spatial altimetry, and remote sensing data, will be used to perform the leveling of the hydrometeorological stations and their temporal characterization throughout the hydrological cycle of the Amazon, Rio Paraguay and Sao Francisco Basins.

The sampling and compilation of data and their storage in a database to be used in partnership by both CPRM and IRD, and the exchange between the parties concerning either the study area or any specific subject are focused on the understanding of the fluvial dynamic evolution of the Amazonian Basin, Rio Paraguay Basin and Sao Francisco Basin, and their effects on the riverside populated areas as well to the development of new technologies related to the hydrological monitoring , such as satellite altimetry among others.

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO POR ESTAÇÕES <i>IN-SITU</i>	11
3. COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE CPRM E IRD	14
4. ÁREA DE ATUAÇÃO	16
5. EQUIPE DO PROJETO.....	17
6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	18
7. ORGÃOS PARCEIROS.....	32
8. RESULTADOS E PRODUTOS 2021.....	33
9. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA 2022	41
10. AGRADECIMENTOS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

NENHUMA ENTRADA DE ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES FOI ENCONTRADA. 22

FIGURA 8. SÉRIE TEMPORAL DE CONCENTRAÇÃO POR SATÉLITE NO RIO PURUS (BERURI – AM) NO PERÍODO COMPLETO DE DISPONIBILIDADE DE IMAGENS MODIS (2000 - 2015).	23
FIGURA 9 - PROCESSO DE AQUISIÇÃO DO DADO DE ALTIMETRIA ESPACIAL (FONTE: ROSMORDUC, 2009; ADAPTADO PELO AUTOR PARA O PORTUGUÊS).	24
FIGURA 10 - SELEÇÃO DE DADOS DE ALTIMETRIA ESPACIAL PARA CRIAÇÃO DA ESTAÇÃO VIRTUAL EM IMAGEM LANDSAT5-TM COM COMPOSIÇÃO DAS BANDAS 7, 4 E 2.	25
FIGURA 11 - DADOS COLETADOS PELO SATÉLITE ENVISAT - CADA SÉRIE REPRESENTA UMA PASSAGEM DO SATÉLITE	25
FIGURA 12 - DADOS SELECIONADOS DA SÉRIE TEMPORAL DA ESTAÇÃO VIRTUAL DE IRACEMA- AM (FONTE: SILVA, 2010).	26
FIGURA 13 - OCUPAÇÃO DE UM LANCE DE RÉGUA POR RECEPTOR GPS PARA NIVELAMENTO DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE PORTO UNIÃO.	27
FIGURA 14. DADOS DO SATÉLITE ALTÍMETRO JASON-2 NA ESTAÇÃO DE MANAUS	28
FIGURA 15 – PERFIL LONGITUDINAL DO RIO PARAGUAI CONSTRUÍDO COM SUPORTE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO.	29
FIGURA 16 – DETALHES DA MISSÃO SWOT. FONTE NASA	30
FIGURA 17 – APRESENTAÇÃO DO EMBAIXADOR DA FRANÇA NO BRASIL, MICHEL MIRAILLET, DURANTE O EVENTO ORGANIZADO PELA CPRM, SOUTH AMERICA WATER FROM SPACE II	31
FIGURA 18- PARTICIPANTES DA CAMPANHA DE CAMPO CPRM/IRD NOV-2021.	33
FIGURA 19- RECEPTOR GPS E SENSOR RADAR INSTALADO NA EMBARCAÇÃO.	34
FIGURA 20- TELAS DOS ECOBATÍMETROS INSTALADOS NA EMBARCAÇÃO FLUVIAL UTILIZADA PARA CAMPANHA.	34
FIGURA 21- PREVISÃO DE CHUVA DO MSWX PARA O ALERTA DO RIO PARAGUAI NOS PRÓXIMOS 7 MESES.	37

1. INTRODUÇÃO

O projeto Dinâmica Fluvial vem sendo desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) desde 2008, sob a coordenação da Divisão de Hidrologia Aplicada (DIHAPI) e do Departamento de Hidrologia (DEHID), tendo por objetivo inicial operacionalizar as ações do acordo de cooperação internacional celebrado entre a CPRM e o instituto francês IRD - *Institut de Recherche Pour Le Développement*. Atualmente este acordo encontra-se na sua segunda renovação, estendida até novembro de 2024, com o tema e título “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”.

Dentre as principais atividades desenvolvidas no âmbito deste projeto, estão os estudos hidrológicos pautados no uso de técnicas de sensoriamento remoto, o que decorre no aprimoramento de tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico como um de seus objetivos prioritários, visando, em especial, apresentar um novo cenário para a área de hidrometria, onde dados satelitais podem suprir a carência de informações e melhorar a sua correspondente qualidade, custos associados e tempo de obtenção de dados básicos para subsidiar estudos hidrológicos.

A orientação e a justificativa do projeto são norteadas pela missão institucional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 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 essas técnicas em um futuro próximo sejam utilizadas de forma operacional a complementar o monitoramento hidrológico convencional. Do ponto de 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.

2. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO POR ESTAÇÕES *IN-SITU*

A Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN do Brasil é composta por aproximadamente 4.600 estações hidrometeorológicas, distribuídas em 2700 pontos de monitoramento e são capazes de coletar dados de chuva, nível, vazão, quantidade de sedimentos e qualidade das águas dos rios. Sendo aproximadamente 1400 estações fluviométricas deste total, ao analisarmos de forma quantitativa, observa-se que a RHN monitora apenas uma pequena parcela dos quase 13 mil rios cadastrados no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA. A seguir, na Figura 1, apresenta a distribuição dos pontos de monitoramento no território brasileiro:

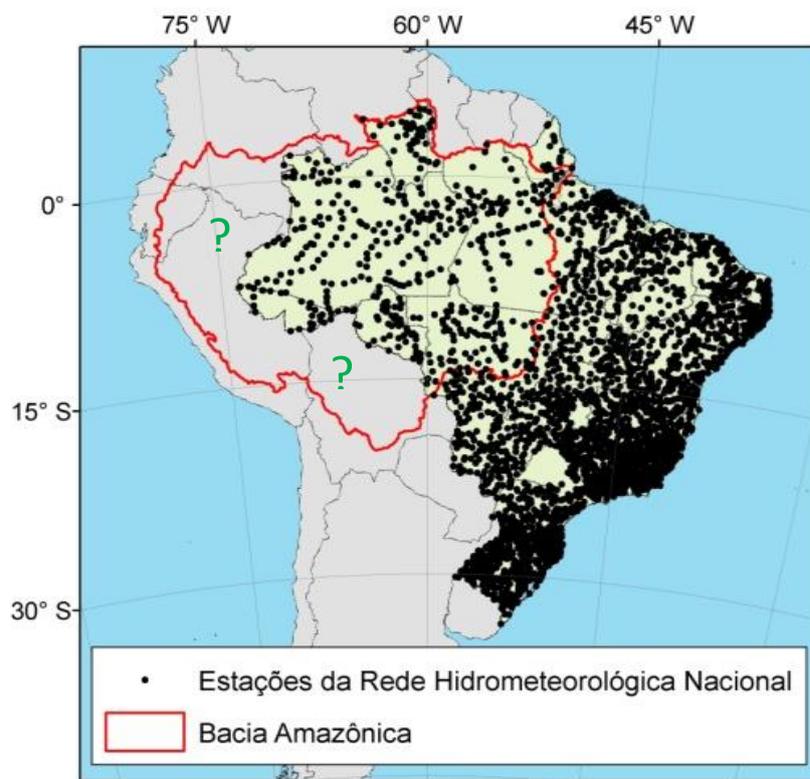


Figura 1 – Pontos de monitoramento da RHN.

Mesmo com grande esforço na execução dessa atividade, o que envolve grande parte do quadro de funcionários do Departamento de Hidrologia (DEHID), a RHN, além da necessidade de uma melhor densificação, possui outros desafios, dentre os quais resumidamente:

- A falta de homogeneidade na distribuição espacial de estações ao longo do território: em regiões a exemplo da Amazônica (Figura 1), com os seus desafios específicos ao monitoramento, existe baixa densidade de estações hidrológicas, fazendo com que as estações estejam mal distribuídas do ponto de vista geográfico. No exemplo, a bacia Amazônica ocupa 44% do território brasileiro e possui, em contrapartida, apenas 14% (271) das estações fluviométricas da rede hidrometeorológica brasileira. A ausência de informação hidrológica na mencionada região prejudica uma série de trabalhos de engenharia, como alertas de cheias e estudos de potenciais hidráulicos;

- O alto custo operacional: dezenas de milhões de reais são gastos na operação da RHN. Em algumas regiões como a exemplo da Amazônia, algumas estações precisam ser visitadas por avião ou embarcação fluvial, o que aumenta o custo e, ao mesmo tempo, justifica a baixa densidade de dados nesta região;

- A dificuldade de atualização dos dados: a exemplo da Amazonia, devido ao alto custo operacional, as visitas de manutenção da RNH também são espaçadas no tempo. Na grande maioria das estações essas visitas ocorrem apenas 3 vezes ao ano, o que pode dificultar o controle da qualidade da informação e até mesmo a disponibilidade do dado atualizado em locais onde não há o recurso da telemetria;

- A manutenção dos equipamentos *in situ*: por ser uma rede de estações localizadas em campo, esses mesmos equipamentos estão sujeitos as intempéries características da região de instalação, sendo passíveis de serem danificados por enfrentar condições climatológicas além do que foram projetados para medir e até mesmo situações de vandalismo; e

- A ausência de dados em regiões de fora do território brasileiro em bacias transfronteiriças, bacias como a Amazônica (Figura 1) e do Paraguai: bacias transfronteiriças também necessitam de informações hidrológicas de outros países, uma vez que a água oriunda de regiões além da fronteira também pode drenar para o nosso território. Devido ao fato de cada país ter o seu próprio

protocolo de operação e disponibilização dos dados, nem sempre essa informação importante está disponível de forma imediata para monitorar eventos hidrológicos extremos que precisam ser avaliados com máxima antecedência.

Ao redor do globo, em termos gerais, as redes hidrometeorológicas locais sofrem dos mesmos problemas citados, limitação de recursos e dificuldade de acesso para manutenção das estações, fatos que trazem diversos desafios para um monitoramento hidrológico de forma homogênea, o que torna difícil encontrar estações com registros históricos longos, contínuos e de qualidade para atender as diversas demandas que envolvem os estudos e ações pautadas no monitoramento hidrológico. Outro fator negativo é que muitos dos dados existentes não têm atualização em tempo real, o que prejudica e limita o uso da informação para previsão e monitoramento de eventos extremos.

Segundo diagnóstico do GRDC (*Global Runoff Data Center*), centro internacional que atua a mais de 30 anos com a missão de integrar as diversas bases de dados de hidrologia existentes de forma a subsidiar os estudos climáticos em escalas globais, as informações hidrológicas disponíveis a redor do globo estão em declínio, o que gera um cenário preocupante, conforme o que se apresenta no gráfico da Figura 2.

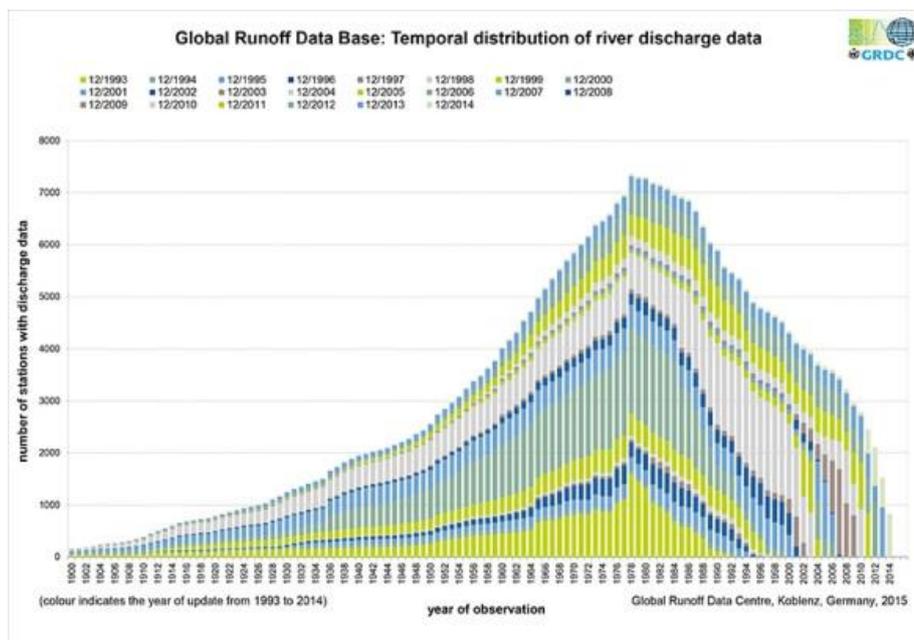


Figura 2 – Estações hidrológicas que tem dados de vazão disponíveis (Fonte GRDC).

Entre as várias causas que podem estar associadas ao declínio dessas informações hidrológicas disponíveis, podemos destacar a falta de recursos financeiros para manutenção dessas redes, mudança na política de disponibilização da informação, muitos dados gerados deixaram de ser de livre acesso e mesmo a perda de interesse no monitoramento de algumas estações, pois algumas destas redes hidrológicas foram criadas apenas para atender finalidades específicas, a exemplo para a construção de empreendimentos, outras criadas logo após a ocorrência de eventos hidrológicos extremos etc. No entanto com o passar do tempo com a não ocorrência de novos fenômenos extremos, essas estações, acabam de forma errônea as estações sendo descontinuadas.

3. COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE CPRM E IRD

Na atualidade um novo cenário a partir de informações satelitais pode ser empregado na área de hidrometria, onde se pode, a partir de dados geodésicos, com o aporte de medições *in situ*, ou mediante dados de sensores localizados em plataformas orbitais, por complementaridade e associação, suprir a carência de dados hidrológicos básicos, principalmente de nível de água dos rios, lagos e áreas úmidas.

Com base nesse propósito, a pesquisa em tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico tornou-se um importante caminho para a observação e melhor entendimento da hidrologia nas bacias hidrográficas, uma vez que a técnica de sensoriamento remoto é capaz de proporcionar, de forma complementar, as seguintes contribuições para o monitoramento hidrológico:

- Gerar dados com cobertura praticamente global, permitindo a aquisição de informações hidrológicas em regiões de difícil acesso, a exemplo das regiões fora de fronteira do Brasil, floresta, regiões de conflito etc.

- Pela cobertura quase global dos satélites, os dados podem ser gerados em grades homogêneas, com as mesmas resoluções espaciais, o que também permite densificar as redes hidrometeorológicas convencionais existentes.

- Os métodos de aquisição de dados por satélites são bem diferentes dos dados adquiridos por estações hidrometeorológicas em campo, apesar de não

estarem alheios a falhas de aquisição. Por essa diferença de métodos de aquisição e pelo fato do satélite estar no espaço livre das intempéries do terreno, os dados de satélite podem apresentar uma alternativa de informação quanto às estações de campo, quando estas apresentarem falhas no fornecimento de informações hidrológicas.

- Os métodos de aquisição de dados por satélites apesar de poderem sofrer alguma perda de precisão conforme o ambiente de observação dos dados, os mesmos apresentam certa homogeneidade e uma vez comprovada a eficácia no ambiente de interesse de monitoramento, eles podem ser utilizados para consistência de dados hidrológicos das estações de campo, sobretudo para correções de erros grosseiros.

- As novas informações de dados hidrológicos com base em sensoriamento remoto estão adotando o conceito de disponibilização da informação em tempo quase real, ou seja, em um tempo muito próximo a passagem do satélite pela região, o que tem permitido a informação satelital subsidiar o monitoramento hidrológico, a previsão, o controle e as estratégias de ação em eventos hidrológicos extremos.

A possibilidade de integração entre dados convencionais e dados oriundos de novas tecnologias, como o sensoriamento remoto, para o Brasil, representa a possibilidade de melhorar o conhecimento hidrológico a baixo custo, devido ao fato de que a maioria desses dados são fornecidos gratuitamente por agências espaciais internacionais.

No entanto, é necessário discutir os usos e as incertezas desses mesmos dados, pois o uso indiscriminado de novas tecnologias pode aumentar o grau de incertezas na estimativa de variáveis hidrológicas, caso esses dados sejam utilizados de forma incorreta. O usuário deve estar ciente e bem capacitado para observar os possíveis erros e as limitações desses dados, principalmente no que diz respeito aos erros provenientes da precisão e de escalas espaciais e temporais adotadas para a aquisição, para que estes não se propaguem para as análises a serem realizadas, e a falta de conhecimento dessas 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.

Nessa visão, conforme já citado, o objetivo principal da cooperação entre o IRD e a CPRM 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 as contribuições para o desenvolvimento tecnológico e científico global.

De forma específica o acordo de cooperação internacional entre a CPRM e o IRD pretende:

- Pesquisar novas técnicas de posicionamento global que garantirão o controle geodésico e monitoramento das informações hidrológicas a serem coletadas;
- Pesquisar técnicas de sensoriamento remoto que visem à obtenção de informações de níveis de água por satélite na bacia Amazônica;
- Pesquisar 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;
- Capacitar equipes e profissionais capazes de desenvolver novas tecnologias para a aquisição de dados.

4. ÁREA DE ATUAÇÃO

A sua área de estudo, conforme o novo nome do acordo de cooperação “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”, 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 3.



Figura 3 – Área de atuação da pesquisa em hidrologia por satélites.

5. EQUIPE DO PROJETO

As atividades realizadas através da cooperação entre a CPRM e o IRD, tendo em vista a sua vigência no período de cinco (5) anos do acordo (previstos pelo período de 2019 a 2024), têm o envolvimento permanente na pesquisa de dois pesquisadores da CPRM de forma constante. São eles:

- O pesquisador em geociências Andre Luis Martinelli Real dos Santos, da GEHTE-MA (Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial, da Superintendência de Manaus), que no momento está em doutoramento em atividade de pesquisa em realização conjunta CPRM-UFAM-IRD.

- O analista em geociências Daniel Medeiros Moreira, da DIHAPI (Divisão de Hidrologia Aplicada), que além da atividade de pesquisa realizada também é coordenador científico do projeto pela CPRM.

- O analista Jefferson Melo, que é o coordenador administrativo do projeto e está atualmente se capacitando em linguagens de programação para

tratamento de imagens de satélite para em 2022 exercer também atividades de pesquisa.

Por parte do IRD a pesquisa é liderada pelo pesquisador Fabrice Papa. 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 2020 em medições de campo fundamentais para o projeto pela SUREG-BE através da atuação dos técnicos Leandro Guedes e Alan Sousa, e apoio gerencial do GEHTE Homero Reis e supervisor Mauro Rodrigues. Pela SUREG-MA temos a atuação e apoio gerencial da supervisora Luana Lisboa, apoio gerencial da GEHTE Jussara Maciel e suporte operacional do técnico Robson Oliveira, diversos técnicos de hidrologia lotados na SUREG-MA e do Laboratório de Análises Minerais – LAMIN. Pela SUREG-RE temos a atuação e apoio gerencial do supervisor Fábio Araújo e suporte operacional de diversos técnicos de hidrologia lotados na SUREG-MA.

Outros técnicos também estão em fase de transição buscando uma atuação mais permanente e melhor integração direta na pesquisa do projeto, a integração de ambos tem como objetivo de os mesmos desenvolverem linhas de pesquisa próprias que sejam complementares e atendam às necessidades do projeto e da CPRM. Em 2021, por exemplo, tivemos as seguintes iniciativas :

- Joana Angélica Cavalcanti Pinheiro, que em 2021 apresentou um pré-projeto na temática de monitoramento de chuvas por satélite e realizou treinamento em curso de Inteligência Artificial, sendo esperada a formalização por parte das chefias responsáveis a sua integração na equipe do projeto para 2022.

- Destacamos também a pesquisa realizada pelo engenheiro Arthur Abreu da DIHIBA (Divisão de Hidrologia Básica), que defendeu dissertação de mestrado na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), em Novembro de 2021, e apesar de não ter atuação formal pelo projeto e estar dedicado a outras atividades daquela Divisão, sua pesquisa de mestrado coorientada pelo analista Daniel Moreira colaborou com o uso de dados de satélites no monitoramento hidrológico da bacia do rio Paraguai.

6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Os colaboradores da CPRM, Andre Martinelli e Daniel Moreira, atuam no projeto de forma permanente, em pesquisas distintas, estando o primeiro técnico dedicado as pesquisas de uso de dados de sensoriamento remoto em medições sedimentométricas, que envolvem também medições de vazão e sedimentos no campo, e o segundo técnico dedicado 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.

A concepção metodológica do projeto Dinâmica Fluvial baseia-se na integração de atividades de campo e escritório. 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. Essas campanhas são realizadas através de uma embarcação de madeira tipicamente amazônica, como pode ser observado na Figura 4.



Figura 4 - Exemplo de embarcação utilizada nas campanhas de coleta de dados.

Nas campanhas de campo do projeto, o barco regional é utilizado como base para os 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; e
- Coleta de dados de profundidade e declividade da linha de água através de receptores GPS e ecobatímetro instalados no barco.
- 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;
- Comparação de dados de campo e dados de satélite para validação de produtos de sensoriamento remoto;
- Aplicação de dados de sensoriamento remoto em pesquisa na caracterização hidrológica da bacia Amazônica.

6.1 Pesquisas na estimativa de descarga sólida a partir de dados de 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.



Figura 5 - Pesquisador em Geociências Andre Santos realizando pesagem dos filtros em balança de precisão, ação fruto da parceria com o LAMIN Manaus.

Na embarcação, são levados todos os equipamentos necessários para realizar medições hidrológicas e manutenção das estações. A embarcação possui as condições necessárias para estadia dos técnicos e tripulantes. O trabalho de campo, normalmente, tem a duração mínima de três (3) semanas para a execução total das atividades previstas, segundo o cronograma usual das campanhas de operação.

Dentre os equipamentos embarcados, destaca-se um instrumento de medições sedimentométricas desenvolvido na parceria CPRM-IRD. Trata-se de um amostrador de água do tipo garrafa Van der Horst totalmente adaptado às condições amazônicas e a grandes rios. Dentre outras adaptações correlacionadas à hidráulica e hidrodinâmica particulares da região, houve a preocupação de adaptar uma garrafa transparente a fim de se observar o material grosseiro (areia) residual da coleta.

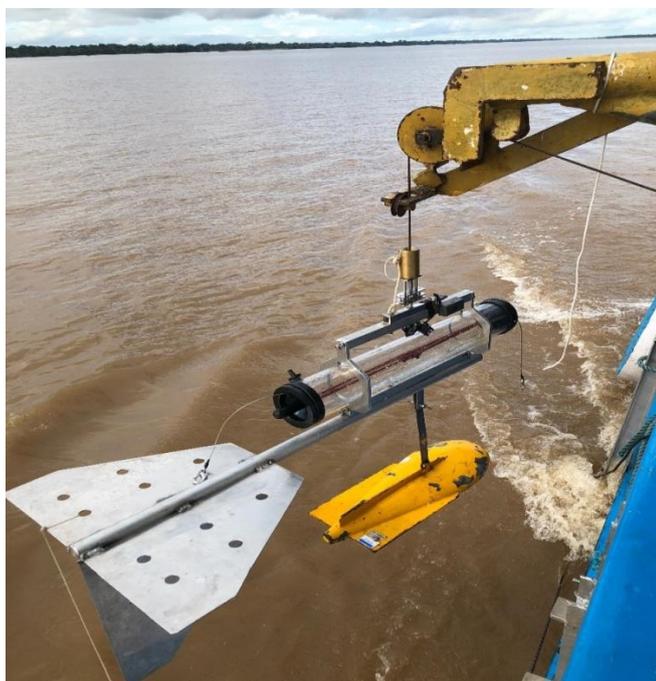


Figura 6 - Amostrador de sedimentos adaptado para Amazônia, desenvolvido por Martinelli-Santini, na parceria CPRM-IRD.

Esta pesquisa só foi possível em função da presença constante no campo e na aquisição de dados radiométricos *in situ* (Figura 6) viabilizados pelo projeto Dinâmica Fluvial com os apoios já mencionados do IRD e da Agência Nacional de

Águas - ANA. Neste sentido os aspectos observacionais deste trabalho trouxeram robustez, clareza e confiança aos resultados.



Figura 7 - Conjunto de espectros-radiômetros adquiridos pelo projeto Dinâmica Fluvial.

Uma vez os dados de reflectância por satélite calibrados com os dados de reflectância *in situ*, e havendo a correlação destes com os dados de concentração de sedimentos coletados, foi possível a criação da série histórica de dados de concentração para 15 anos de dados (Figura 8).

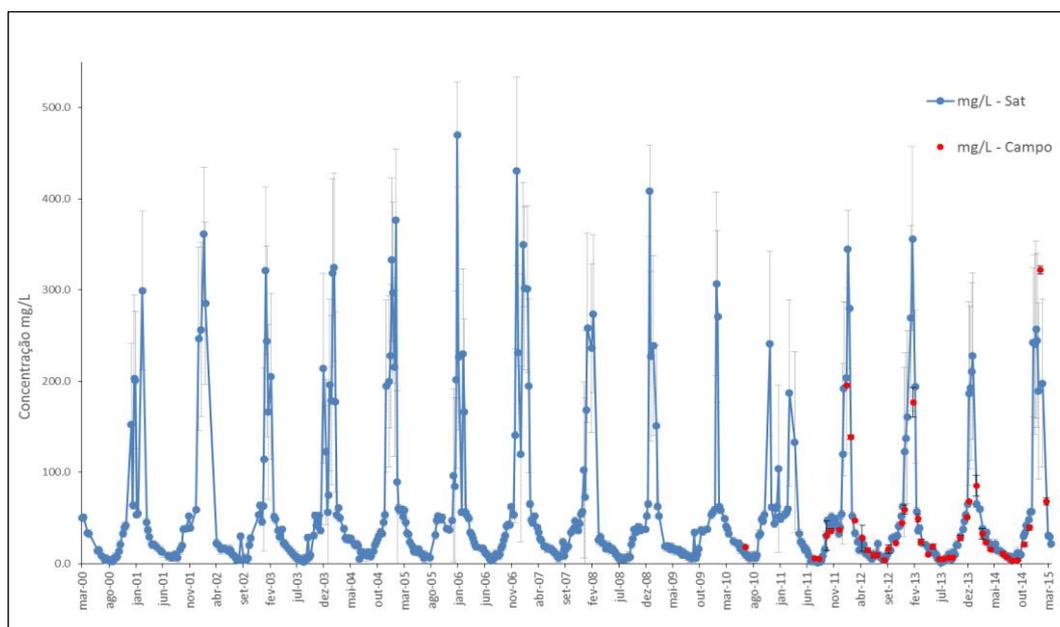


Figura 8 - Série temporal de concentração por satélite no Rio Purus (Beruri – AM) no período completo de disponibilidade de Imagens MODIS (2000 - 2015).

No gráfico acima as barras de erro mostram o desvio padrão dos dados de concentração (campo e satélite), os pontos vermelhos a plotagem dos dados de concentração coletados e tratados no LAMIN – CPRM Manaus.

6.2 Pesquisas em Geodésia Espacial Aplicada Ao Monitoramento Hidrológico (Altimetria Espacial e GNSS)

Na pesquisa em altimetria espacial, os dados de cotas fluviométricas são comparados com os dados de satélites a fim de estabelecer 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. Esses 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.

A técnica de altimetria espacial utiliza-se de um satélite como plataforma para um sensor, chamado de radar altímetro, que transmite, à superfície terrestre, pulsos de energia na frequência das microondas e recebe o sinal de retorno após este ser refletido pela superfície.

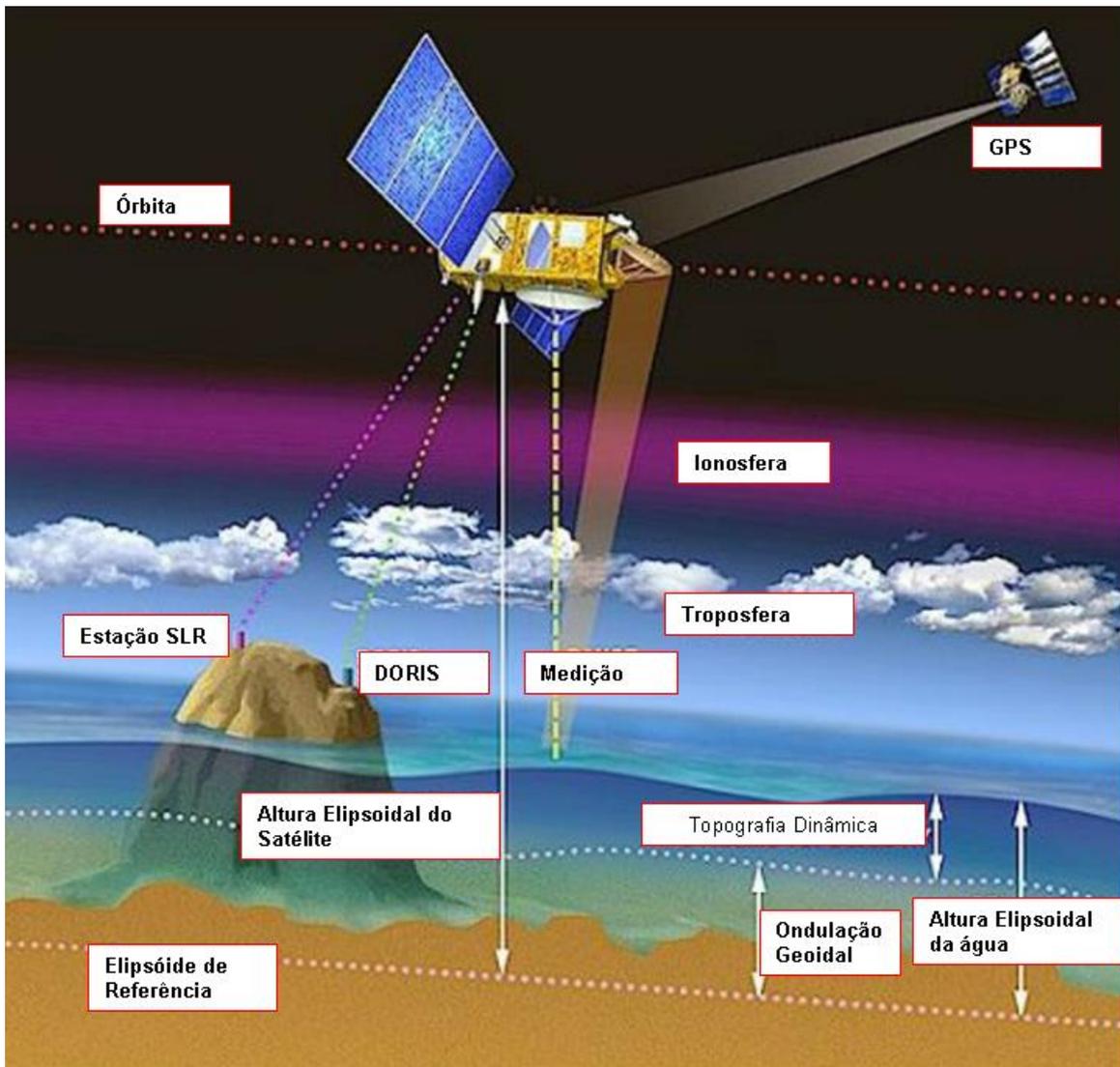


Figura 9 - Processo de aquisição do dado de altimetria espacial (Fonte: ROSMORDUC, 2009; adaptado pelo autor para o português).

O valor do dado altimétrico do satélite corresponde à medida do sinal de radar sobre a água em determinada região chamada área de abrangência (footprint) e de seu retorno para o satélite, onde, a partir do uso de algoritmos chamados “trackers”, será estimado o valor mais representativo de modo a definir a medição nadir entre o satélite e a superfície líquida.

Um conjunto de medições de dados de altimetria espacial, adquirido quando do cruzamento do satélite com um rio, pode ser analisado sob a perspectiva do que se denomina estação virtual (CALMANT e SEYLER, 2006). O termo virtual é usado para diferenciar o fato de que a estação convencional

fluviométrica está materializada no local, enquanto a estação dita virtual é criada a partir de medições de satélites com capacidade de produzir dados de variação dos níveis de água no local. A Figura 10 mostra o exemplo do cruzamento do satélite Envisat com o rio Amazonas e os dados gerados de altimetria espacial nas diversas passagens.

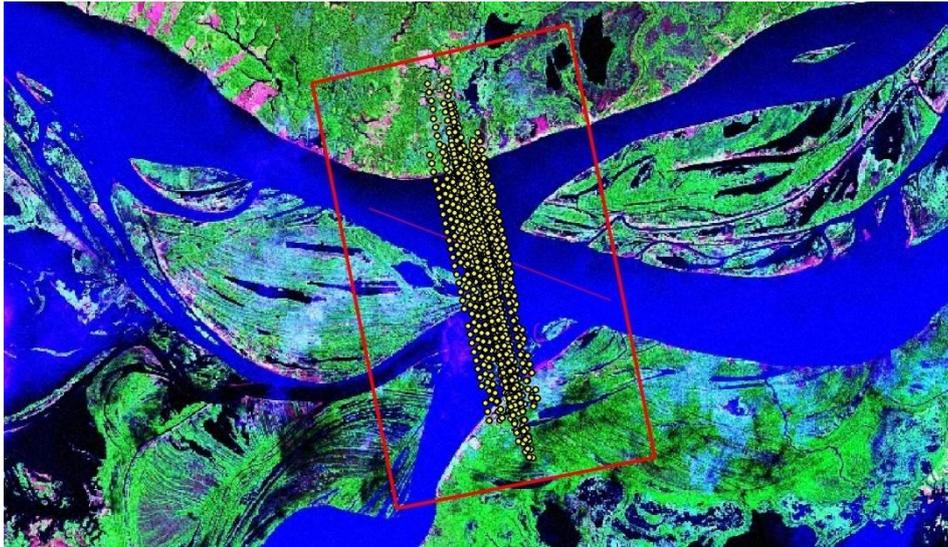


Figura 10 - Seleção de dados de altimetria espacial para criação da estação virtual em imagem Landsat5-TM com composição das bandas 7, 4 e 2.

Na sequência (Figura 11), segue o exemplo dos valores coletados das passagens do satélite Envisat no local da Figura 10.

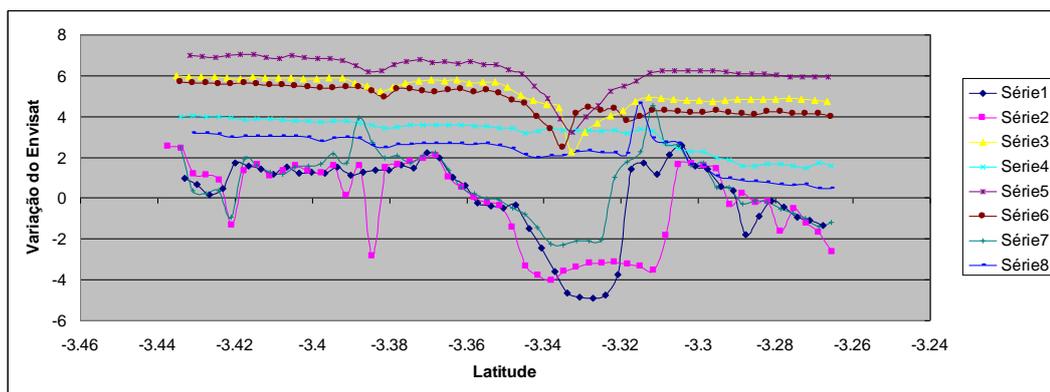


Figura 11 - Dados coletados pelo satélite Envisat - cada série representa uma passagem do satélite.

Para formar a estação virtual, é feita uma análise em conjunto das medições altimétricas de cada passagem. Os valores obtidos ao longo de uma seção são submetidos a um processo seletivo (SILVA, 2010), sendo eliminados dados espúrios e escolhendo-se aqueles que são mais representativos da medição. A seleção pode ser feita por processos automáticos, que ainda carecem de aperfeiçoamento, sendo que, no momento, êxitos maiores têm sido obtidos através de procedimento manual efetuado por especialistas apoiados por ferramentas computacionais, como o VALS Tools (2009), e com suporte nos conceitos e fundamentos de altimetria espacial. A título de ilustração, segue a seleção pontual dos ciclos da área configurada nas Figuras 10 e 11, conforme SILVA (2010).

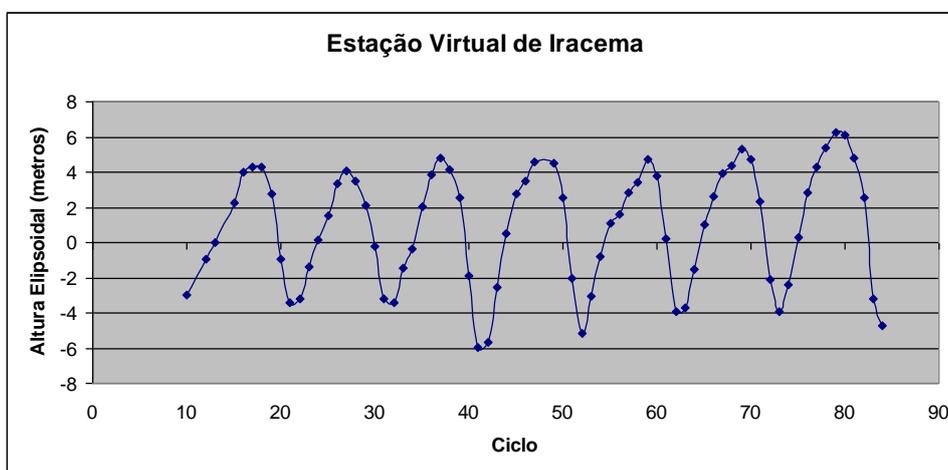


Figura 12 - Dados selecionados da série temporal da estação virtual de Iracema- AM (Fonte: SILVA, 2010).

Na metodologia proposta na pesquisa de avaliação da altimetria por satélites, contempla-se também a realização de nivelamento em uma mesma referência altimétrica das réguas linimétricas de dezenas de estações fluviométricas da bacia Amazônica. Isso contribui para a definição da proposta metodológica inicial de nivelamento altimétrico para a rede hidrometeorológica nacional, administrada pela ANA (Agência Nacional de Águas), onde, em princípio, as estações fluviométricas de todo o Brasil encontram-se sob uma referência altimétrica arbitrária. Por se tratar de uma referência arbitrária e unicamente relacionada com o local de monitoramento, movimentos resultantes dessa referência são propagados, de forma sistemática, para as leituras das cotas fluviométricas. Esse fato prejudica a manutenção da qualidade de séries históricas de níveis de água produzidos por uma estação fluviométrica ao longo

de seu período de operação, adicionando, ainda, a dificuldade de associação dos níveis de água obtidos com outras fontes de dados.

Nesse sentido, busca-se um referencial global para os níveis de água registrados por essas estações, que visem, primeiramente, a contabilizar os movimentos ao longo do tempo dessa referência arbitrária, bem como uma referência que permita 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 13 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União.

Na figura 14 apresenta-se a comparação dos dados de satélites altímetros com os dados de réguas linimétricas, observando que os dois tipos de dados possuem referências altimétricas diferentes, o que impossibilita a avaliação de

erros sistemáticos nas séries altimétricas. Como dito anteriormente, uma das propostas deste estudo consiste na unificação da referência altimétrica destas duas fontes de dados, de modo a avaliá-las apropriadamente.

Jason-2 Satellite Altimetry data

close to Port of Manaus Gauge Station (from CPRM/ANA)

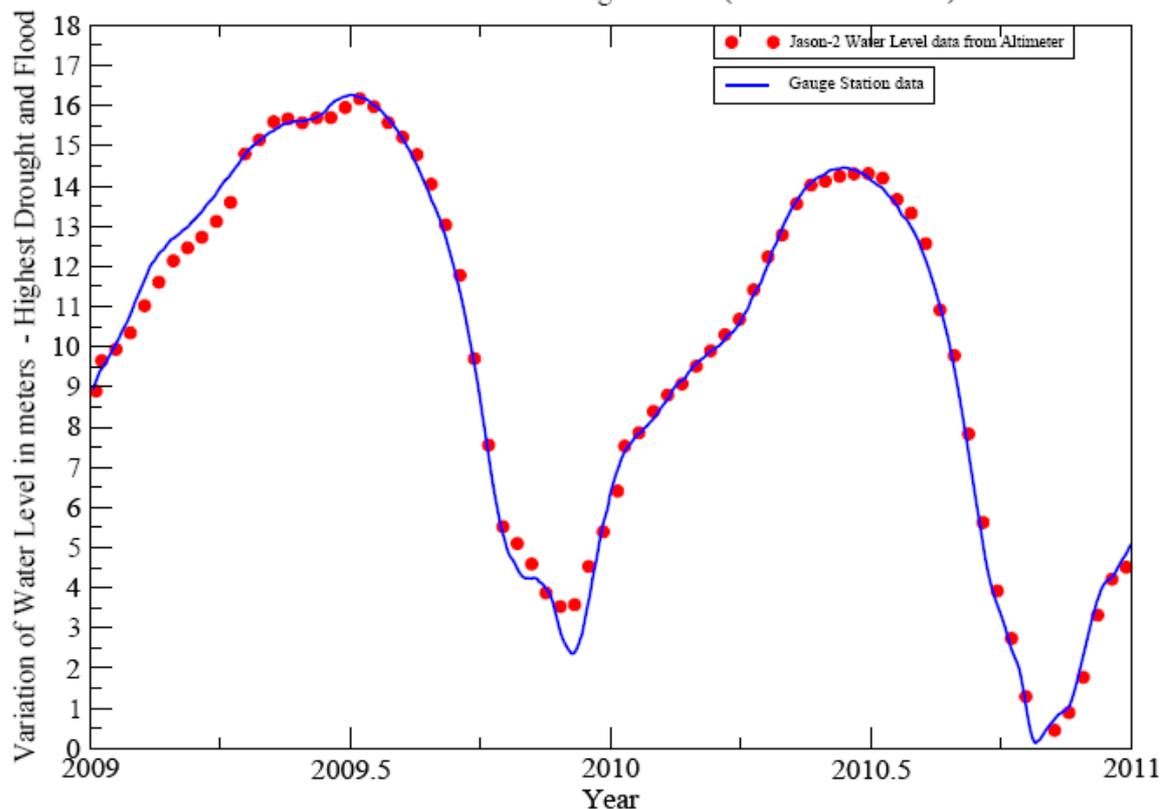


Figura 14 - Dados do satélite altímetro Jason-2 na estação de Manaus

Outra perspectiva está na utilização da altimetria espacial para construção de perfis longitudinais dos rios analisados, a exemplo da figura 15.

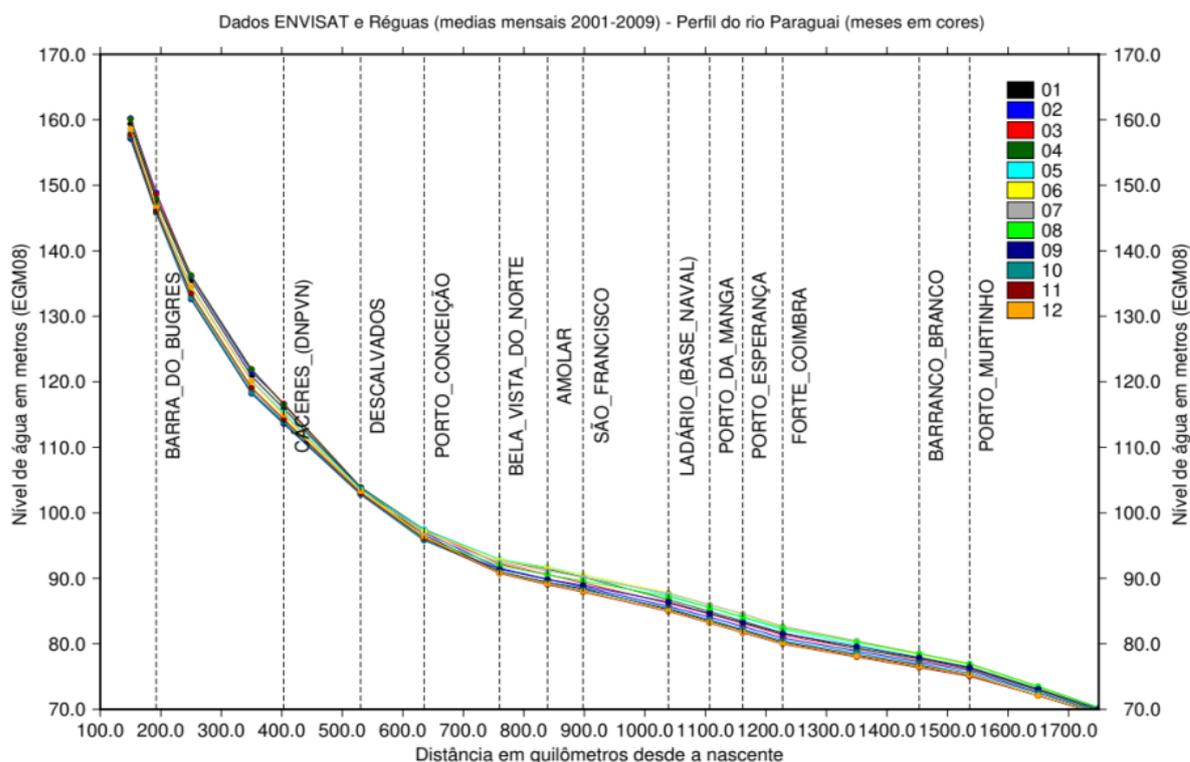


Figura 15 – Perfil longitudinal do rio Paraguai construído com suporte de dados de sensoriamento remoto.

6.3 O SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*)

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 observação de águas superficiais. 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. Essa 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 a disponibilidade hídrica.

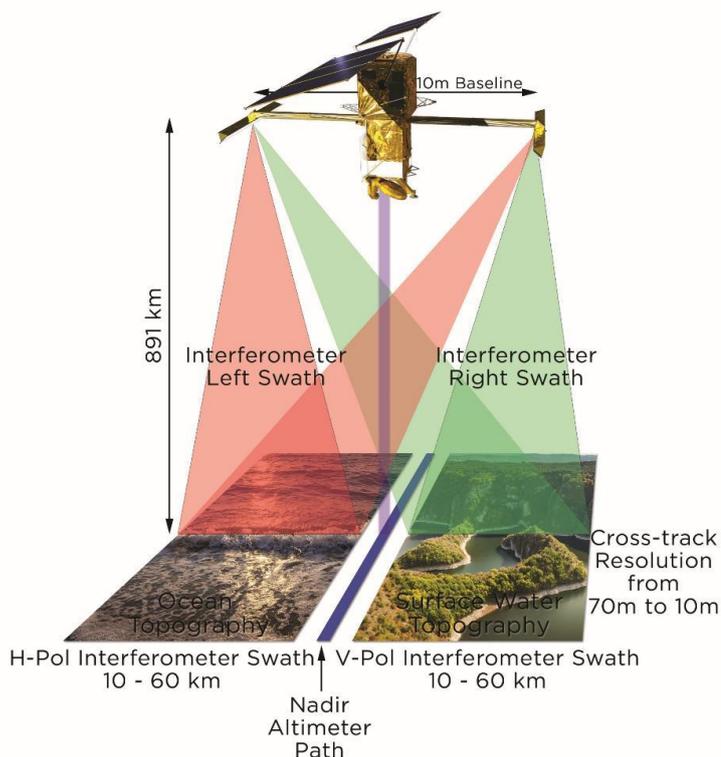


Figura 16 – Detalhes da missão SWOT. Fonte NASA.

Através da parceria com IRD, na pesquisa de altimetria espacial, a CPRM teve oportunidade de contato com agências espaciais internacionais. Esse contato possibilitou à CPRM a oportunidade de contribuir diretamente com a pesquisa produzida para missões espaciais em desenvolvimento, em especial, com a participação da CPRM no time científico de desenvolvimento do satélite SWOT (NASA/CNES). Atualmente a CPRM 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.

6.4 South American Water from Space

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o *Institut de Recherche pour Le Développement* (IRD) da França promovem, em parceria com a agência espacial francesa - *Centre National d'Études Spatiales* (CNES) e parceiros, a série de conferências *South America Water from Space*. Em destaque em novembro de 2019, realizou-se em Manaus a segunda versão do evento, sendo a primeira edição realizada no Chile em 2018. Nesse evento tivemos a presença de 90

pesquisadores de vários países do globo, sendo apresentados mais de 60 trabalhos de pesquisa em hidrologia espacial. Em 2020 iniciou-se as tratativas para a realização da terceira edição desta série, que estava prevista para acontecer em outubro de 2021, na cidade de Foz do Iguaçu, no entanto, devido a não melhora da situação pandêmica global o evento foi adiado para abril de 2022.



Figura 17 – Apresentação do Embaixador da França no Brasil, Michel Miraillet, durante o evento organizado pela CPRM, South America Water from Space II , <https://hydrologyfromspace.org/>.

7. ORGÃOS PARCEIROS

O projeto recebe apoio e apoia diversas instituições ligadas ao monitoramento, pesquisa e gestão de recursos hídricos, tais como ANA - Agência Nacional de Águas; SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia, INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais; LEGOS - Laboratório de Estudos em Geofísica e Oceanografia Espacial (Toulouse/ França); GET - Laboratório de Geociências e Ambiente (Toulouse / França); GRGS - Grupo de Pesquisa em Geodésia Espacial (Toulouse / França); CNES - Centro Nacional de Estudos Espaciais da França; IRD; ORE-

Hybame com universidades, dentre as quais destacamos a UFAM - Universidade Federal do Amazonas, UEA - Universidade do Estado do Amazonas , UNB - Universidade de Brasília, IPH/ UFRGS – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UPS – Université Toulouse III Paul Sabatier(Toulouse/ França) UFPE – Universidade Federal de Pernambuco e UFRJ - Universidade do Rio de Janeiro.

8. RESULTADOS E PRODUTOS EM 2021

Considerando a cooperação técnica com o IRD, os produtos gerados como resultado do projeto Dinâmica Fluvial podem ser assim listados:

- Cotas fluviométricas a partir das estações convencionais e de sensoriamento remoto na área de estudo;
- Medição de vazão líquida e sólida nos pontos de amostragem do projeto;
- Correlação dos dados de vazão sólida e sensoriamento remoto nos locais de estudo;
- Nivelamento das estações fluviométricas da rede de estudo a uma referência global;
- Análise dos dados das estações GPS em conjunto com outras técnicas de geodésia espacial a fim de manter o controle geodésico e possíveis movimentos de massa ou da crosta terrestre nos locais das estações;
- Variações da profundidade e da declividade da linha de água dos rios no trecho do estudo;
- Capacitação dos técnicos envolvidos no projeto para produção, análise e pesquisa sobre dados de sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento hidrológico;
- Publicação dos estudos realizados em revistas e congressos especializados em nível nacional e internacional.

8.1 Ações realizadas em 2021.

Devido ao contexto global de situação pandemia pelo COVID-19, realizou-se pela pesquisa em altimetria espacial apenas uma campanha de campo no mês de novembro de 2021. Através de embarcação, esta campanha percorreu o baixo

curso do rio Amazonas, entre o trecho entre Santarém e Macapá. As medições tiveram como foco parte do projeto do time científico “SWOT for South América”, no seu sub-projeto “Hydrodynamics of the Amazon estuary”, que busca a calibração e validação de dados de satélite no seu uso para o monitoramento de possíveis impactos de mudanças climáticas que possam ocorrer na parte estuarina do rio Amazonas, onde alterações nas elevações do oceano e das vazões do rio Amazonas impactam diretamente as cheias que ocorrem na região de estudo. Nessa campanha tiveram presentes Daniel Moreira (CPRM/ERJ), Leandro Santos (CPRM/Belém), Fabien Durand (IRD-UnB), Mauro Rodrigues (CPRM/Belém), Ricardo Duarte de Oliveira (CPRM/ERJ), Alice Fassoni (IRD-UnB), André de Andrade (UFJVM-Unai), Ayan Fleischmann (Instituto Mamirauá), Julien Jouanno (IRD-Toulouse).



Figura 18 - Participantes da campanha de campo CPRM/IRD Nov-2021.

Durante a campanha de campo foram coletados dados de perfis de linha de água através de receptores GPS e radares que foram instalados na embarcação conforme a figura 19.



Figura 19 - Receptor GPS e Sensor Radar instalado na embarcação.

Adicionalmente foram coletados dados de batimetria do percurso navegado entre Santarém e Macapá, os dados foram coletados através de ecobatímetros Garmim que foram instalados na embarcação conforme a figura 20.



Figura 20 - Telas dos ecobatímetros instalados na embarcação fluvial utilizada para campanha.

Tanto os receptores gps como 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.

- No tocante ao desenvolvimento da pesquisa de hidrologia por satélites, foram publicados em parcerias do projeto 5 (cinco) artigos em revistas indexadas. Sendo estes:

1. SOUZA, V. A. S.; MOREIRA, D. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; RUDKE, A. P.; ANDRADE, C. D.; SILVA, F. P.. Potencial uso das informações de chuvas obtidas por sensoriamento remoto na análise não paramétrica de eventos extremos na bacia do rio Madeira. REVISTA DAE, v. 69, p. 110-123, 2021.

2. SIKORA DE SOUZA, VINICIUS ALEXANDRE; MOREIRA, D. M. ; ROTUNNO FILHO, OTTO CORRÊA ; RUDKE, ANDERSON PAULO ; ANDRADE, C. D. ; ARAUJO, L. M. N. . Spatio-temporal analysis of remotely sensed rainfall datasets retrieved for the transboundary basin of the Madeira River in Amazonia. ATMOSFERA, v. 35, p. 39-66, 2021.

3. ABDALLA, SALEH ABDEH KOLAHCHI, ABDOLNABI ADUSUMILLI, SUSHEEL AICH BHOWMICK, ..., MOREIRA et al.; Altimetry for the future: Building on 25 years of progress. ADVANCES IN SPACE RESEARCH, v. 1, p. 1-52, 2021.

4. FASSONI-ANDRADE, ALICE CÉSAR ; DURAND, FABIEN ; MOREIRA, DANIEL ; AZEVEDO, ALBERTO ; DOS SANTOS, VALDENIRA FERREIRA ; FUNI, CLAUDIA ; LARAQUE, ALAIN . Comprehensive bathymetry and intertidal topography of the Amazon estuary. Earth System Science Data, v. 13, p. 2275-2291, 2021.

5. MARTINS, LUANA KESSIA LUCAS ALVES; MAILLARD, PHILIPPE ; PINTO, EBER JOSÉ DE ANDRADE ; MOREIRA, DANIEL MEDEIROS . Quality analysis of water level series obtained by altimetric radar satellite along the São Francisco River. REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 26, p. 1-11, 2021.

Também em parcerias foram apresentados os seguintes trabalhos no XXIV SBRH Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, realizado em novembro de 2021 na cidade de Belo Horizonte – MG:

1 - ANÁLISE DE DADOS DE SATÉLITES PARA A CONCEPÇÃO DE PROJETOS AMBIENTAIS NA REGIÃO AMAZÔNICA por VINICIUS ALEXANDRE SIKORA DE SOUZA, OTTO CORREA ROTUNNO FILHO, DANIEL MEDEIROS MOREIRA, ANDERSON PAULO RUDKE, CLAUDIA DAZA

2- APLICAÇÃO DO MODELO ARIMA SAZONAL PARA A PREVISÃO DE VAZÃO MÉDIA MENSAL NA BACIA DO SÃO JOÃO/RJ por RAISA CRISTINA RODRIGUES ALVES, DANIEL MEDEIROS MOREIRA, OTTO CORREA ROTUNNO FILHO

3- AVALIAÇÃO DO PERFIL ATMOSFÉRICO UTILIZANDO RADIOSSONDAGENS E PRODUTOS DE SATÉLITE MODIS SOBRE A CIDADE DO RIO DE JANEIRO por LOUISE CAROLINE CARVALHO DOS SANTOS, OTTO CORREA ROTUNNO FILHO, DANIEL MEDEIROS MOREIRA

4- AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA BACIA DO RIO MADEIRA por VINICIUS ALEXANDRE SIKORA DE SOUZA, OTTO CORREA ROTUNNO FILHO, DANIEL MEDEIROS MOREIRA

5- OBTENÇÃO DE REFERÊNCIAS ALTIMÉTRICAS GLOBAIS DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS EM DESATIVAÇÃO por JOANA ANGÉLICA CAVALCANTI PINHEIRO, FERNANDA ALINE PETRY, DANIEL CARVALHO DE DEUS, DANIEL MEDEIROS MOREIRA

Adicionalmente foram apresentados os seguintes resumos em congressos internacionais:

1-MOREIRA, D. M.; ADRIEN, P. ; CALMANT, S. ; PAPA, F. ; RIO, R. A. ; SILVA, J. S. ; PAIVA, R. C. D. ; FLEISHMANN, A. ; FASSONI-ANDRADE, ALICE CÉSAR ; DURAND, F. ; ROTUNNO FILHO, O. C. ; CRÉTAUX, J.-F. ; TOMASELLA, J. ; COSTI, A. C. Z. ; MAILLARD, P. ; FRAPPART, F. . SOUTH AMERICA WATER FROM SPACE: REMOTE SENSING APPLICATIONS AND PERSPECTIVES IN HYDROLOGY. In: IX CONVENCION DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2021, 2021, Cuba. IX CONVENCION DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2021, 2021. v. 1. p. 1.

2-Papa F., F. Frappart, J. Tomasella, D. Moreira, A. S. Fleischmann, R. Paiva, C. Prigent, F. Aires, A. Guntner, S. Calmant, A. Paris, R. Tshimanga, B. Kitambo, G. Ramilien, M. Becker, From surface to groundwater: the variability of water storage changes over the Amazon and Congo tropical river basins from multi-

satellite observations, Fourth Space for Hydrology Workshop, Rome, online June 2021.

De forma online o analista Daniel Moreira também apresentou o trabalho intitulado “Ciências relacionadas ao SWOT no Brasil e validação do SWOT” no evento Spatial Hydrology Workshop organizado pelo IRD, FUNCEME e UFC nos dias 24-25 de Novembro de 2021. Adicionalmente foram dedicados tempo a revisão de artigos para revistas como a RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos e a WRR – Water Resources Research (AGU).

Parte do projeto também envolve a coorientação acadêmica em universidades parcerias de trabalhos que envolvem a pesquisa em hidrologia por satélites. Essa iniciativa é vista como forma de uma melhor integração da CPRM com instituições acadêmicas, fomentando a pesquisa e compartilhando conhecimento no nome do Serviço Geológico do Brasil. Nesse sentido no ano de 2021 foram concluídos os seguintes trabalhos acadêmicos que tiveram coorientação do analista Daniel Moreira:

1-Juliana Simões Pinto. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À CONTABILIDADE HÍDRICA E AMBIENTAL EM REGIÕES DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

2-RAFAELA BEZERRA DE OLIVEIRA. UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS E DADOS LIDAR PARA A DETERMINAÇÃO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ - PE. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

3-Francisco de Seixas Junior. Variabilidade Espaço-Temporal da Chuva Estimada por Satélite na Bacia do Rio Paraíba do Sul. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

4-Mark Bermanzon. AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MOSAICO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE MARAPENDI POR MEIO DO SENSORIAMENTO REMOTO. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

5-ARTHUR MOREIRA DE ABREU. MODELAGEM NUMÉRICA E SENSORIAMENTO REMOTO: UM ESTUDO PARA A CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E ESTIMATIVA DE VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAGUAI. 2021. Dissertação Mestrado Profissional em Recursos Hídricos ProfÁgua - UERJ.

Ainda no ano de 2021, como resultado desta importante cooperação entre CPRM e IRD, dos treinamentos em sensoriamento remoto realizados e dos resultados satisfatórios publicados em artigos científicos, o Projeto Dinâmica Fluvial pode colaborar, com sua expertise, com o a projeto institucional de alertas hidrológicos da CPRM, fornecendo apoio operacional a partir de dados de satélite como informação complementar de suporte.

Neste contexto, diariamente são produzidos cerca de 1000 (mil) mapas com informações de chuva em mais de 100 áreas de drenagem de interesse para os 17 sistemas de alertas operados pela CPRM. Essas 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. Em destaque para 2021 foi implementado o modelo de previsão sazonal MSWX (Multi-Source Weather) que é um modelo de previsão sazonal para os próximos 7 meses. Essas informações podem ser utilizadas em grandes bacias para ajudar a análise de possíveis secas ou cheias extremas previstas pelo modelo. Na figura 21 temos um resultado da previsão do modelo para os próximos meses na bacia do rio Paraguai.

Anomalia de chuva prevista média (51 membros) do MSWX (SEAS5) para ALERTA_CPRM_PARAGUAI - sem_código

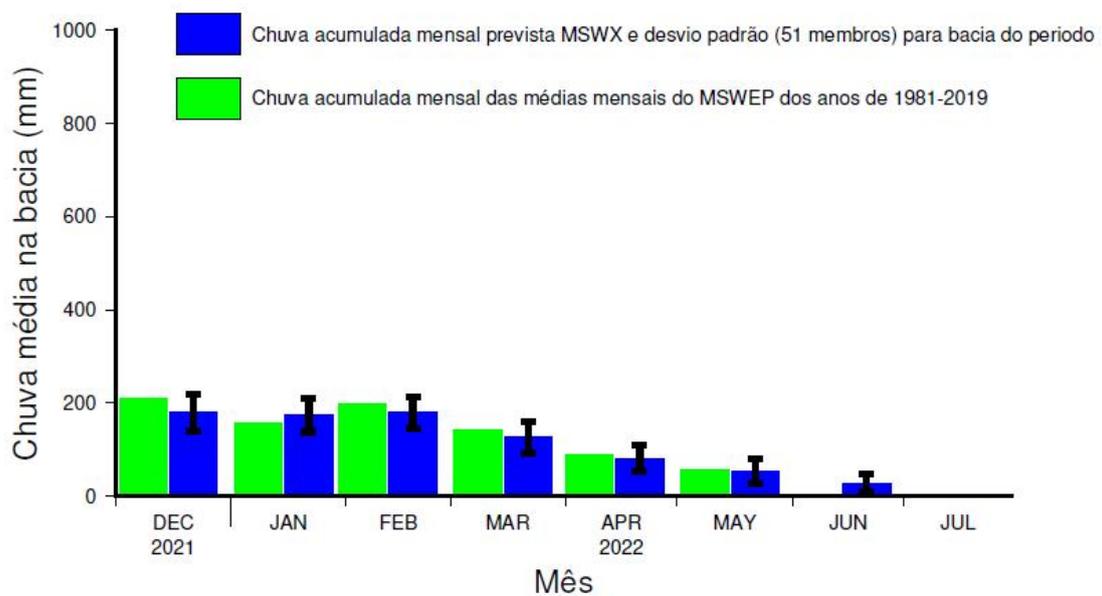
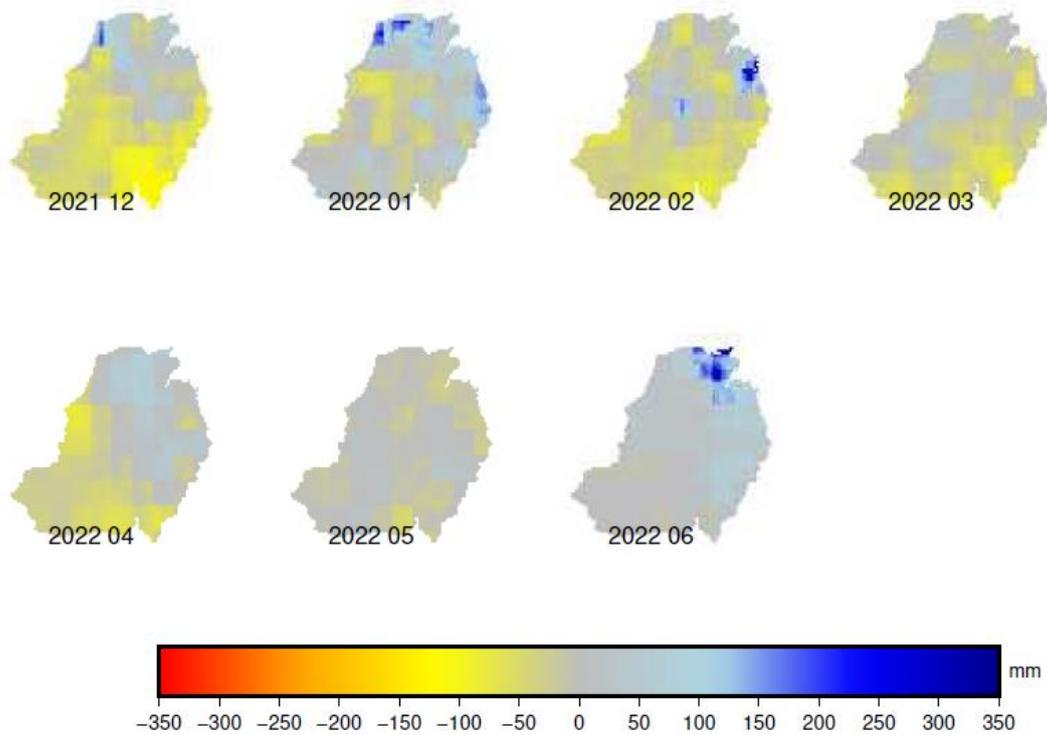


Figura 21 - Previsão de Chuva do MSWX para o alerta do rio Paraguary nos próximos 7 meses.

9. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA 2022

A cooperação entre CPRM e IRD, realizada no decorrer dos últimos anos, mostrou-se extremamente benéfica para ambas às instituições, trazendo especialmente para a CPRM as seguintes contribuições:

- Os técnicos envolvidos puderam se capacitar em tecnologias que serão fundamentais no futuro do monitoramento hidrológico. A CPRM recebeu duas (2) bolsas do programa BEST (IRD), o que possibilitou o estágio científico dos engenheiros Daniel Medeiros Moreira (2011) e Andre Santos (2014). A partir dessas bolsas foram realizados estágios de aperfeiçoamento em Toulouse na França. Os estágios foram realizados em laboratórios associados ao CNES (Agência Espacial Francesa) e com suporte e orientação de pesquisadores do IRD; Em especial para o ano de 2022 foi concedida uma bolsa de pós-doc para até 3 anos para o analista Daniel Moreira aprimorar a pesquisa em hidrologia por satélites, o analista ficará lotado no laboratório GET- Toulouse realizando pesquisa no uso de satélites para hidrologia em especial para a preparação da missão SWOT.
- Foram defendidas Seis (6) dissertações de mestrado por técnicos da CPRM no tema de pesquisa de cooperação com o IRD, sendo esses técnicos Daniel Medeiros Moreira, Ana Carolina Costi, Andre Santos, Bernardo Oliveira, Fábio Araujo e Arthur Abreu;
- Um (1) Doutorado defendido na pesquisa em cooperação com IRD pelo técnico Daniel Moreira, a qual obteve duplo doutoramento na COPPE-UFRJ e na UPS-Toulouse;
- Um doutorado em andamento pelo técnico Andre Santos, na sua pesquisa em medição por sedimentos por satélite;
- Técnicos da CPRM depois de formados começaram a exercer atividade de orientação acadêmica, orientando teses e dissertações de pesquisadores da CPRM e pesquisadores externos na temática de hidrologia por satélites;
- Mais de 100 trabalhos científicos foram publicados/apresentados em revistas/conferências/simpósios durante a cooperação entre

CPRM-IRD, elevando o nível científico da CPRM na pesquisa global de hidrologia por satélites;

- A CPRM faz parte atualmente do time de pesquisa no desenvolvimento de missões espaciais ligadas a hidrologia, o que caracteriza um enorme avanço do nível de usuário, das mais modernas tecnologias, para uma atuação de colaboração em nível de desenvolvimento tecnológico restrito a um seleto grupo de pesquisadores.

Entende-se que os benefícios gerados ao IRD estão relacionados às ações da CPRM através da excelência na execução de atividades de campo, coletas e produções de informações únicas nas bacias hidrográficas em território brasileiro, que associado aos esforços de aprendizado, em especial no desenvolvimento posterior das pesquisas, possibilitaram enriquecimento do conhecimento científico tanto na tecnologia de hidrologia por satélites quanto no conhecimento hidrológico da bacia Amazônica. Esses resultados elevaram o reconhecimento científico de ambas as instituições na pesquisa realizada em parceria.

Essa parceria também colaborou com o desenvolvimento de outros trabalhos de pesquisa que foram defendidos através de dissertações e teses em universidades do Brasil (IPH-UFRGS, UFPE COPPE-UFRJ, UEA, UFAM) e da França, principalmente a Université Paul Sabatier - UPS de Toulouse. Foram registradas a colaboração direta com 6 teses de doutorado e mais de 10 dissertações de mestrado de pesquisadores externos a CPRM defendidas nas universidades parceiras citadas.

Como recomendações finais ao projeto desenvolvido, tendo em vista o sucesso da cooperação, são altamente recomendadas à renovação do acordo de cooperação internacional entre CPRM e IRD, a manutenção e se possível a ampliação de todo suporte financeiro e técnico provido pela CPRM durante os anos da cooperação existente e o aumento do quadro de técnicos envolvidos na pesquisa. Além disso, novos técnicos poderiam expandir a pesquisa já produzida e ampliar temas de estudo para novas áreas onde há carência de pesquisa na CPRM.

Para 2022 é esperado novos avanços na pesquisa, sendo os principais destaques:

- Realização do evento *South America Water from Space III* na cidade de Foz do Iguaçu, a CPRM organiza o evento em parceria com IRD, Itaipu, CNES (Agência Espacial Francesa) e IPH, tendo a expectativa que esse evento seja superior ao realizado em Manaus 2019 com mais de 100 pesquisadores presentes, colocando novamente a CPRM em destaque na pesquisa de hidrologia por satélites e estimulando a pesquisa por outras instituições nacionais a exemplo de Itaipu-Binacional.

- Lançamento do Satélite SWOT em Novembro de 2022, a CPRM lidera conjuntamente com o IRD a pesquisa na América do Sul intitulada “SWOT for South America”. Através dessa pesquisa realizada pelo time científico da missão SWOT é esperada uma grande inovação no uso de dados de satélite para hidrologia. A CPRM atuará diretamente na calibração e validação dos dados pós-lançamento da missão e estará desenvolvendo junto com parceiros as primeiras pesquisas e aplicações hidrológicas pós-lançamento do satélite.

- Através da realização de pós-doc. o analista Daniel Moreira terá mais oportunidades de interação com pesquisadores internacionais na temática de hidrologia por satélites e participará de forma mais ativa do lançamento da missão SWOT. Espera-se que através de sua estadia na França o mesmo consiga estender as oportunidades para novos engenheiros da CPRM que tenham interesse na temática de hidrologia por satélites, no intercâmbio com instituições internacionais.

- Para o ano de 2022 é esperado que com a melhora da pandemia as campanhas de campo sejam retomadas, sendo programadas ao menos duas novas campanhas de campo com foco na validação de satélites para hidrologia, bem como apoio a monitoramento e previsão de eventos extremos.

- Em termos de equipe técnica é esperada uma grande evolução no projeto com o término do doutoramento do pesquisador Andre Santos, bem como com o maior desenvolvimento em pesquisa com a integração da pesquisadora Joana Pinheiro e do analista Jefferson Melo em novas temáticas a serem implementadas no projeto Dinâmica Fluvial.

10. 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, GEHTE-MA, GEHTE-RE e GEHTE-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 pela CPRM 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 pela CPRM, o que colaborou muito para o desenvolvimento destes estudos. O nosso agradecimento às equipes responsáveis e unidades regionais envolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

MOREIRA, D. M. **Geodésia aplicada ao monitoramento hidrológico da bacia Amazônica**. 2016. 1 CD-ROM. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, J. S. da. **Altimetria espacial aplicada aos estudos de processos hídricos em zonas úmidas da bacia Amazônica**. 2010. 279 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

ROSMORDUC, V.; BENVENISTE, J.; LAURET, O.; MAHEU, C.; MILAGRO, M.; PICOT, N. Radar altimetry tutorial. *In*: BENVENISTE, J.; PICOT, N. (ed.). **Radar altimetry tutorial**. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.altimetry.info>.

VALS TOOL: virtual altimetry station - version 0.5.7. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels_test.php.