

Monitoramento Remoto de Águas Superficiais

1. IDENTIFICAÇÃO

1.1. Instituição Executora

Título: Análise e monitoramento da pequena açudagem utilizando sensoriamento remoto no Semiárido do Brasil

Instituição
Executora: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)

Presidente: Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins

Contatos: (85) 3101-1088
presidencia@funceme.br
www.funceme.br

1.2. Equipe

Direção: Marielle Gosset

Instituição: L'Institut de recherche pour le développement (IRD)
Contatos: marielle.gosset@ird.fr

Coordenação: Rafael Reis Alencar Oliveira

Instituição: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Contatos: (85) 3101-1092
rafael.reis@funceme.br

2. INTRODUÇÃO

Os novos paradigmas para gerenciamento de recursos hídricos incluem uma base de dados sustentada pela pesquisa científica, a fim de gerar informações necessárias à tomada de decisões pelos gestores, e interação contínua e permanente entre gerentes e pesquisadores da área básica, se tornando vital para a implantação de políticas públicas (Tundisi, 2003).

Em se tratando de países ou regiões com as dimensões que tem o Brasil, o monitoramento dos recursos hídricos para a consolidação de um banco de informações necessárias ao gerenciamento se torna ainda mais complexo. No entanto, o acompanhamento sistemático dos corpos d'águas por meio do monitoramento é imprescindível, pois assegura informações sobre a qualidade e quantidade de água necessária para verificar a adequação nos diversos usos (Zeh et al., 2015).

Os recursos hídricos podem ser monitorados em diferentes escalas (global, regional e local) usando três abordagens: em medições in situ, modelagem e observações de sensoriamento remoto (Jorgensen et al., 2005; Harding e Warnars, 2011).

Em todos os casos, o monitoramento desses recursos de superfície requer conhecimento da extensão das águas superficiais e do volume de água (Hall et al., 2011; Duan e Bastiaanssen, 2013), que dependendo da área de abrangência da área de interesse, inviabiliza a obtenção desses dados em campo, pois demandaria enorme logística, tempo e recursos econômicos.

As missões de observação da Terra por satélite foram desenvolvidas para fornecer imagens da superfície em várias resoluções espaciais, temporais e espectrais, que têm sido usado para mapear o uso da terra e a dinâmica da cobertura da terra ao longo do últimas décadas, superando as dificuldades de um monitoramento sistemático (Kümmerle et al., 2013; Klein et al., 2014).

Desde o início da década de 1990, a altimetria por radar forneceu informações valiosas sobre os níveis de água em rios, lagos e reservatórios (Birkett, 1995; Cretaux e Birkett, 2006; Calmant et al., 2008). Além disso, imagens de satélite podem ser usadas para desenvolver contornos de água e, se usadas em combinação com dados de altimetria de radar, permitem a estimativa de

variações de armazenamento de água interanuais e sazonais de lagos e reservatórios (Gao et al., 2012; Song et al., 2013; Arsen et al., 2014).

Em Gao et al. (2012), por exemplo, a altimetria de radar combinada com imagens MODIS foram usadas para calcular variações de armazenamento em 34 grandes reservatórios globalmente. Já Lopes & Araújo (2019) testaram no Nordeste do Brasil uma combinação de imagens de satélite e levantamentos batimétricos no estudo dessa relação área-volume, enquanto Zhang et al. (2016) utilizaram modelos digitais de elevação derivados de imagens de radar de abertura sintética (SAR) e Toledo et al. (2014) fez uso da classificação supervisionada de máxima verossimilhança.

Atualmente várias missões de satélites estão operando, inclusive com altimetria, que permitem calcular as variações do nível de água sobre lagos e rios e mapear superfícies: Geosat, T / P, JASON-1, JASON-2, GFO, ENVISAT, ERS-1, ERS-2, HY-2A e SARAL / AltiKa, e estão sendo planejadas futuras missões novas missões especificamente para hidrologia, como o lançamento do satélite SWOT, que trará uma ampla cobertura espacial e um grande avanço na resolução da altimetria, permitindo monitorar níveis e volumes de água em pequenos corpos d'água em todo o mundo (Grippa et al., 2019). Este será o principal sensor orbital utilizado nesse projeto.

2.1. Missão SWOT

O SWOT (*Surface Water Ocean Topography*) reúne cientistas americanos, franceses e outros parceiros internacionais para desenvolver esta missão de satélite com o objetivo de fazer o primeiro levantamento global da água da superfície da Terra, observar os detalhes da topografia da superfície do oceano e medir como os corpos d'água mudam ao longo do tempo (Nasa, 2022).

O SWOT está previsto para ser lançado em dezembro de 2022 e aproximadamente nos primeiros seis meses, estará em uma fase de checagem com "amostragem rápida", ou seja, operando em uma órbita limitada a poucas regiões do mundo com revisita de 1 dia. A figura 1.a apresenta em vermelho a trajetória e as regiões cobertas por essa órbita de amostragem rápida no Brasil e na América do Sul, enquanto a 1.b e 1.c em detalhe sobre o Ceará e da região hidrográfica do Sertão de Crateús.

Este período inicial tem como objetivo a calibração e validação, enquanto também permitirá o estudo de fenômenos com rápida mudança, como a variação do volume da pequena açudagem. Membros da comunidade internacional de cientistas podem participar desta fase criando programas para implantar estações de coleta *in situ* nas regiões cobertas por essa órbita de amostragem rápida. E no Brasil apenas dois sites foram contemplados para participar dessa fase: os reservatórios do Ceará e o rio Amazonas.

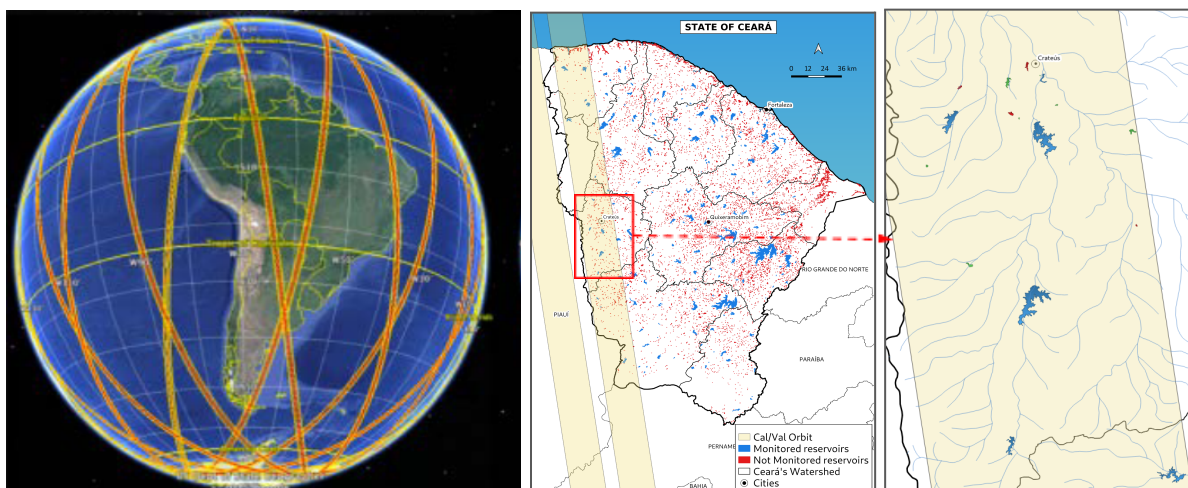


Figura 1. Órbita de amostragem rápida durante a primeira fase do Swot no Brasil (a), no Ceará (b) e na região da bacia hidrográfica do Crateús (c). Fonte: Autor, 2022.

Isso fornecerá aos “Primeiros Usuários” ou “*Early Adopters*” (EAs) uma série global de dados do satélite com campanhas em escala fina, bem como dados baseados em terra para comparação com os dados diários de altura da superfície dos rios e lagos, com antecedência de até um ano do restante da comunidade científica.

Os EAs (*Early Adopters*) são definidos como aqueles grupos que terão uma necessidade potencial ou claramente definida de dados ou informações de água de superfície e que normalmente aplicam seus próprios recursos (ou seja, financiamento, pessoal, instalações) para demonstrar a utilidade de dados SWOT para seu uso, sistema ou modelo, com atribuição também de fornecer métricas de pesquisa de seus *sites* para serem integrados à missão SWOT. E através da iniciativa desse projeto, a Funceme foi recentemente incluída como membro do EAs. A figura 3 mostra a distribuição dos EAs no mundo, bem como seus novos e futuros participantes.

A Fase de Operação ou “Coleta de Dados Científicos”, com duração nominal de três anos, terá uma órbita repetida de 21 dias, sem sincronização

com o sol e faixa de varredura de 120 km de largura, resultando em cobertura da grande maioria dos corpos d'água do mundo e medições sobrepostas na maior parte do globo em um tempo médio de revisita de até 11 dias.



Figura 2. Comunidade de “Primeiros Usuários” (EAs) dos dados da missão Swot no mundo. Fonte: NASA, 2022.

3. JUSTIFICATIVA

Atualmente o desenvolvimento estratégico do Estado do Ceará depende majoritariamente da água armazenada nesses reservatórios superficiais. São 155 reservatórios gerenciados e monitorados pelo Estado, porém estudos prévios elaborados pela Funceme indicam a existência de outras milhares de pequenas estruturas que foram sendo construídas sem planejamento ao longo do território cearense (Funceme, 2017).

A evolução dos volumes monitorados durante a recente seca prolongada indica que o regime de chuvas não está sendo suficiente para a recarga desses mananciais estratégicos. Além dos baixos índices pluviométricos, o barramento excessivo dos rios pode estar comprometendo essa recarga.

Nesse sentido, a identificação e o conhecimento da dinâmica dessas estruturas no contexto da produção de reservas hídricas ganham fundamental importância para a gestão integrada dos recursos hídricos do Estado do Ceará, sendo, portanto, o foco desse projeto de compreensão da dinâmica dos reservatórios.

A Funceme iniciou o monitoramento dos açudes e a avaliação de sua extensão máxima utilizando técnicas de sensoriamento remoto óptico. No entanto, essas técnicas têm uma grande limitação, pois a cobertura de nuvens encontra-se mascarando as superfícies da água, especialmente durante a estação chuvosa, quando as águas estão em seu nível mais alto.

Devido a esta limitação, a extensão da água estimada carece de precisão e a evolução intra-sazonal é mal documentada. Utilizando a capacidade de observação oferecida pela missão SWOT, a qual deverá permitir monitorar níveis e volumes de água em pequenos corpos d'água, otimizando nossa compreensão do comportamento hidrológico e do papel dos açudes cearenses.

4. COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

Este projeto reúne um consórcio franco-brasileiro com expertises complementares:

A equipe da FUNCEME em Fortaleza será a principal beneficiária dos novos produtos e métodos desenvolvidos durante este projeto. Essa equipe conjunta FUNCEME/UFC reúne técnicos, estudantes e pesquisadores especializados no domínio dos recursos hídricos, na região do Ceará. A FUNCEME é responsável pelo fornecimento de produtos hidrológicos e meteorológicos operacionais para avaliar o estado atual e futuro dos recursos e risco sobre o estado do Ceará.

Além de sua expertise em hidrologia e meteorologia para a região cearense, a equipe da FUNCEME trará para o projeto um rico banco de dados de observações *in situ* para validar os novos produtos.

A equipe francesa OMP (Observatoire Midi-Pyrénées em Toulouse) dos laboratórios GET e LEGOS em Toulouse, reúne especialistas em sensoriamento remoto do ciclo da água, dos institutos operacionais (CNES) e de pesquisa (IRD/CNRS/UT). O laboratório OMP LEGOS está liderando a equipe científica da nova missão SWOT e o chefe do laboratório, J.-F. Creteaux, é membro do presente projeto. A OMP também está coordenando vários programas CNES e ESA (Agência Espacial Européia) no domínio de sensoriamento remoto para observação da Terra e programas de superfície terrestre COPERNICUS. A

Universidade de Toulouse foi recentemente premiada com a 5ª posição na classificação Shangai para Sensoriamento Remoto e também é a melhor classificada para Recursos Hídricos.

Essa equipe trará sua expertise em sensoriamento remoto do ciclo da água e hidrologia e ajudará a desenvolver a utilização de dados de observação da Terra, especialmente os Sentinelas COPERNICUS e o futuro SWOT, na FUNCEME. Isso será feito por meio do envolvimento de pesquisadores e especialistas no fornecimento e análise de dados para a região-alvo, e também por meio da capacitação.

5. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste projeto será, portanto, concentrar os esforços na consolidação de uma base dados dos reservatórios cearenses, que combine o levantamento em campo e a potencialidade dos sensores orbitais, na produção de informações consistentes desses corpos d'água superficiais, principalmente da pequena açudagem, que possam subsidiar a implementação de um sistema de monitoramento remoto no Ceará e servir de contrapartida para a missão SWOT.

5.1. Objetivos Específicos

- Realizar levantamento batimétrico, planialtimétrico e nivelamento absoluto de precisão dos reservatórios não monitorados (pequena açudagem);
- Consolidar um Banco de Dados (BD) dos reservatórios do Ceará, tanto os monitorados pela Cogerh como os não monitorados;
- Ajustar uma metodologia multi-satélite para mapear a área superficial e estimar o volume de água dos reservatórios; e
- Desenvolver uma ferramenta de monitoramento para acompanhar a dinâmica e a evolução hidrológica dos reservatórios da área de interesse.

6. ÁREA DE ESTUDO

6.1. Reservatórios de Interesse para a Primeira Fase

Considerando que a única região no Ceará contemplada na primeira fase do projeto é a bacia hidrográfica de Crateús, onde ocorrerão visitas diárias para checagem do SWOT e coleta de informações, então foram pré-selecionados dezenove reservatórios de acordo com critérios e atributos referentes tanto a logística de monitoramento quanto de capacidade de observação pelo sensor orbital SWOT. A figura 5 ilustra os reservatórios pré-selecionados.

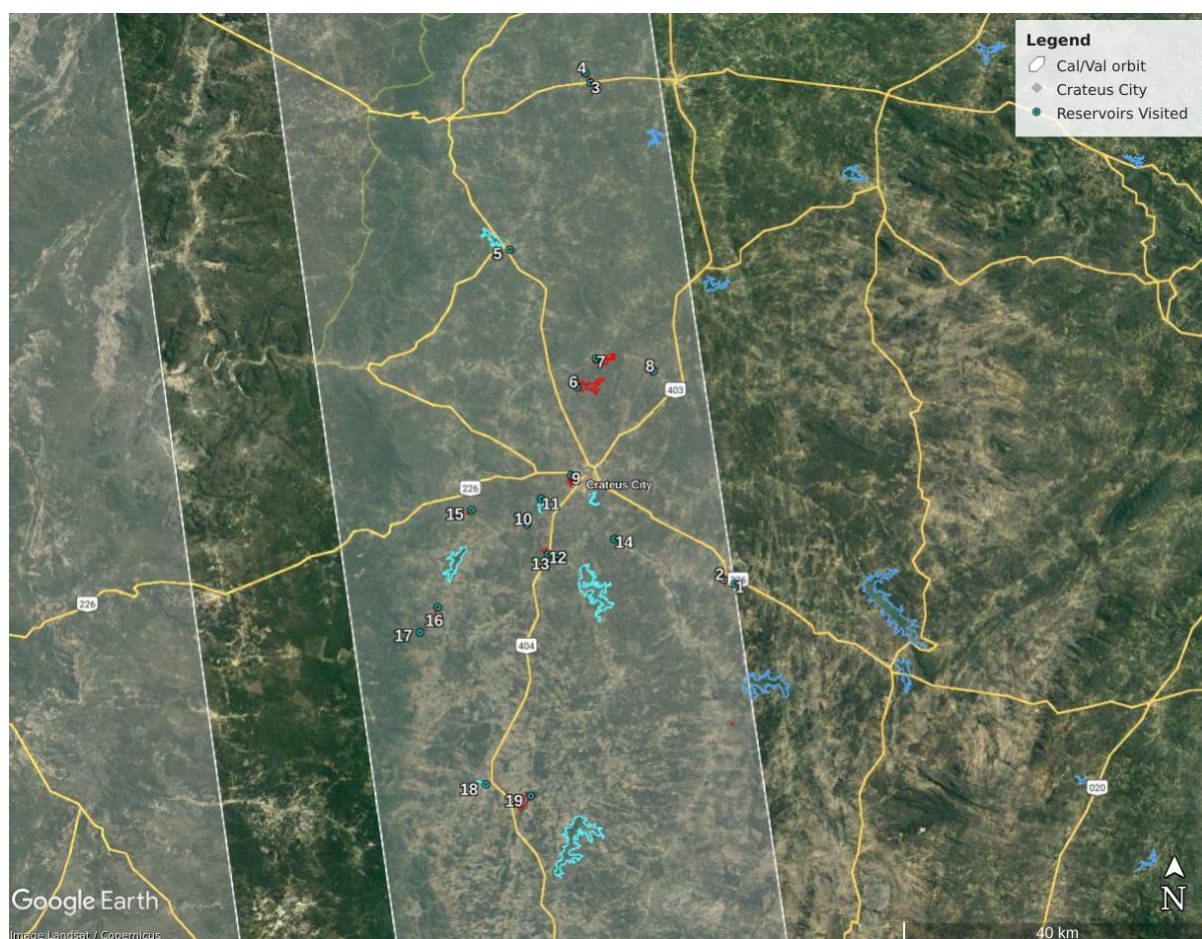


Figura 5. Reservatórios visitados para monitoramento durante a primeira fase do SWOT. Fonte: Autor, 2022.

Em visita técnica de campo à região foram definidos oito (08) reservatórios prioritários para levantamento de campo. A tabela abaixo resume os reservatórios e suas respectivas áreas da bacia hidráulica e de entorno, considerando um *buffer* de 200m a partir da área máxima de espelho d'água,

obtida por sensoriamento remoto entre os anos de 2008 a 2020 (Funceme, 2017).

6.1.1. Levantamento Quantitativo por Reservatório

Considerando que para cada reservatório será realizado todos os serviços descritos, foram consideradas suas respectivas áreas de bacia hidráulica e a área de abrangência externa (200m da área máxima) para estimar os quantitativos dos serviços a serem realizados. A tabela 01 abaixo apresenta este descritivo por reservatório.

Tabela 1. Levantamento dos quantitativos dos serviços a serem realizados.

N.	Not Monitored	ID_Funceme	Area (ha)	Area (ha) Buffer 200m	Bacia Hidrografica (ha)	Long*	Lat*
2	Marcel Prefeito	3063	39.0	154.86	1322.07	-40.504661	-5.295841
3	Aç. Violeta	6340	14.2	74.72	455.42	-40.661755	-4.709638
7	Aç. Palmares	4887	146.1	385.57	24266.857	-40.654604	-5.037270
9	Aç. Governo	3910	33.0	148.87	948.087	-40.683655	-5.174448
12	Aç. Convento	1456	30.1	108.61	421.277	-40.710324	-5.266774
14	Faz. Deserto	2818	5.7	48.30	100.076	-40.632334	-5.248883
16	Aç. Carrapateira	2456	23.4	98.4	2517.171	-40.839509	-5.328665
19	Aç. Vargem do Morro	1428	130.1	279.41	15586.584	-40.729511	-5.547345

Lat/Long - Projeção e Datum WGS84

6.2. Reservatórios de Interesse para a Segunda Fase

Considerando que na fase operacional do satélite será realizada uma varredura de todo o estado do Ceará, com revisita a cada 21 dias, nesta fase serão incorporados outros reservatórios e de maior porte, como os monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (Cogerh).

O objetivo é ampliar o conjunto amostral dos reservatórios com diferentes tamanhos e características, subsidiando melhores análises para a implementação de um sistema de monitoramento remoto. Os reservatórios para segunda serão escolhidos após aquisição dos primeiros resultados do monitoramento do SWOT.

7. MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento de informações hidrológicas da bacia hidrográfica não é atividade simples, sendo em muitos lugares do Brasil bastante crítica, pois ainda não há homogeneidade no banco de dados, havendo ausência de informações distribuídas tanto no tempo como no espaço. Nesse sentido, uma série de serviços e atividades de campo serão necessários para a consolidação das informações de nível, área e volume consistentes desses corpos d'água superficiais.

7.1. Levantamento de dados de nível

Para caracterização da dinâmica dos reservatórios utilizaremos dados de monitoramento de nível dos 155 reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh) - séries de nível e volumes, que serão obtidas no Portal Hidro da ANA (<http://hidro.ce.gov.br>); bem como dados de nível dos outros reservatórios de interesse, obtidos por meio de monitoramento em campo por sensores de pressão e/ou régua linimétrica a serem instalados.

Para tanto, em todos os reservatórios deverá ser executado ou contrato o serviço de instalação de réguas e o nivelamento absoluto das réguas ou medidas de nível dos sensores de pressão.

7.1.1. Instalação de estações de monitoramento de nível

O método convencional de se obter a cota de um reservatório, já utilizado pela Cogerh e a ser implementado na pequena açudagem sem informação, é a instalação de réguas graduadas verticais na água, denominadas de réguas linimétricas, para fazer a leitura diária do nível. As réguas possuem geralmente 1 metro e são distribuídas seguindo um desnível vertical de 1 metro.

Para se garantir a continuidade dos dados e integridade das medições, toda estação deve estar amarrada a uma referência de nível (RN) instalado em uma porção firme do terreno próximo às réguas a fim de possibilitar a verificação de sua cota, ou até mesmo a recuperação de uma estação destruída (ANA, 2012).

As RNs constituem-se de marcos em chapas metálicas numeradas, com indicação do desnível em relação à cota-zero, fixadas em base de concreto e de caráter permanente.

O método alternativo será a instalação de blocos de concreto equipados com sensores de pressão a serem submergidos dentro dos reservatórios, com capacidade e autonomia para gravar uma extensa série de dados de variação de nível, a serem periodicamente obtidos em visitas de campo. A figura 3 ilustra os dois métodos de obtenção do nível dos reservatórios.

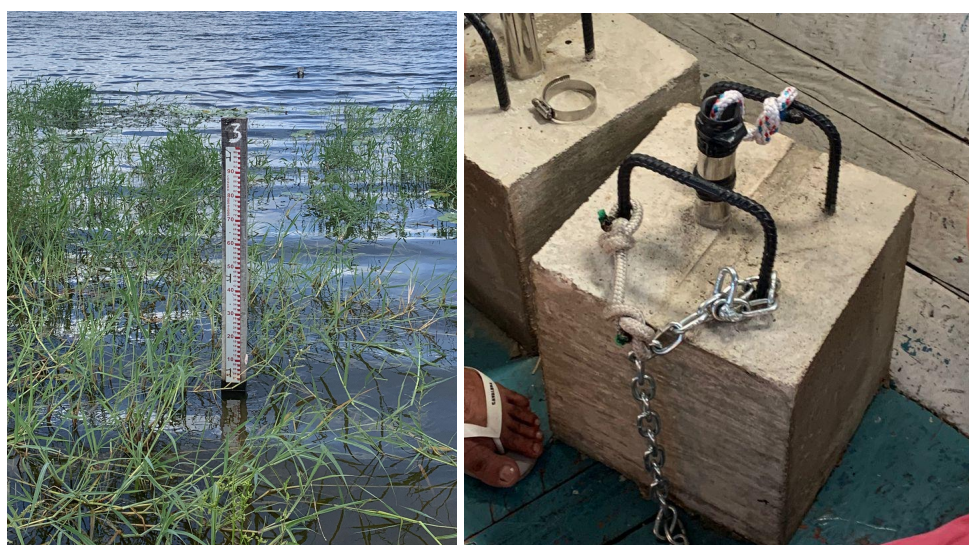


Figura 3. Método convencional de monitoramento de nível por réguas limimétricas e por alternativo por sensores de pressão instalados em blocos submersíveis. Fonte: Autor, 2022.

Para o pleno funcionamento do sistema de monitoramento do projeto de maneira confiável, espera-se que em cada reservatório seja instalado um RN e um conjunto de réguas, pelo menos, para o monitoramento da variação diária dos níveis.

7.1.2. Nivelamento Absoluto (NA)

A qualidade dos registros de cotas ou nível de água em um determinado reservatório depende sobretudo de que as réguas ou medidas de nível direto do espelho d'água estejam niveladas a algum datum (nivelamento absoluto), dessa maneira é possível a associação de dados de qualidade para diferentes estações em uma mesma bacia hidrográfica (Tucci, 2012) ou para serem comparadas com o monitoramento do SWOT, no processo de validação das informações.

Nesse método de posicionamento as coordenadas são determinadas por apenas um receptor e a posição do ponto é obtida em tempo real ou pós-processada (Dal Poz, 2005; Alves et al., 2013). Nesse sentido, o processamento deve ser feito por levantamento por a partir de medidas de satélites GPS (*Global Position System*) em campo (Figura 4).

Para o pleno funcionamento do sistema de monitoramento do projeto de maneira confiável, espera-se que em cada reservatório seja realizado um nivelamento absoluto para georeferenciamento dos RN instalados no local e sirva de base comparação com os dados obtidos pelo SWOT, bem como do nível da água (NA) no momento dos trabalhos de campo, para correlacionar com as leituras das réguas e futuramente do SWOT.



Figura 4. Trabalhos de campo para nivelamento absoluto do nível dos reservatórios.
Fonte: Autor, 2022.

7.2. Levantamento da área da bacia hidráulica por sensoriamento remoto

Esta etapa compreende o mapeamento da área de superfície de corpos d'água na área de estudo a partir de sensoriamento remoto, seja por mapeamento automático utilizando sensores orbitais e índices de extração, como também a obtenção dos espelhos por imageamento por VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado).

7.2.1. Mapeamento automático

Para o mapeamento automático de corpos hídricos, diversos métodos foram desenvolvidos tendo como base imagens multiespectrais [Du et al., 2016].

Dentre os métodos mais utilizados, Jiang et al. (2014) destacam os classificadores supervisionados, não supervisionados e os índices espectrais de água. Os índices espectrais de água têm sido amplamente utilizados devido à precisão na detecção de corpos hídricos a baixo custo computacional [Jiang et al., 2014; Du et al., 2016]. Os principais índices utilizados são o NDWI (Normalized Difference Water Index) e o MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), os quais realçam feições de água de forma eficaz na maioria dos casos.

No entanto, dependendo da dinâmica de uso e cobertura da terra da área de estudo, esses índices podem apresentar erros de comissão e omissão, devido à confusão espectral com alvos escuros na imagem, necessitando, portanto, de ajustes metodológicos e testes na área de interesse. Pretende-se também, buscar possíveis combinações de sensores que permitam mapeamento sem a preocupação de cobertura de nuvens.

No que se refere à pequena açudagem, a Funceme está consolidando o mapeamento destas infra-estruturas a partir do projeto MAPÁGUA (Mapeamento Automático de Corpos Hídricos) que por meio do processamento de imagens de multi-satélites, visa identificar a quantidade e área máxima de espelhos d'água possível – e esta base servirá identificação e referência ao processo de validação das informações (Funceme, 2021).

5.3.1 Mapeamento por VANTs (MAV) - Área

O levantamento de áreas por fotogrametria é uma metodologia de aquisição e processamento de imagens fotográficas que visa a determinação de formas, coordenadas e características geométricas a fim de gerar modelos virtuais tridimensionais. A fotogrametria por VANTS (Veículos Aéreos Não Tripulados) é, portanto, um mecanismo da mensuração do campo de geodésia, utilizando sensoriamento remoto.

Os dados gerados a partir de levantamentos com VANTS podem captar informações verticais e horizontais com precisão mínima e máxima de 0,022 m à 0,004m. A coleta de dados permite a reconstrução tridimensional automatizada do objeto de estudo, que no caso representará o volume da área não inundada dos reservatórios monitorados, complementando as estimativas de volume.

Para o pleno funcionamento do sistema de monitoramento do projeto de maneira confiável, espera-se que em cada reservatório seja realizado um

mapeamento da área da bacia hidráulica do reservatório, que servirá para comparação de áreas superficiais obtidas pelo SWOT.

7.3. Avaliação da Capacidade de Armazenamento dos Reservatórios

Esta atividade serve de base para a avaliação da capacidade de armazenamento dos pequenos reservatórios no estado do Ceará. Serão utilizados Modelos Digitais de Elevação (MDE) produzidos pelos Mapeamentos por VANTs, com excelente resolução espacial, dados de altimetria dos reservatórios para avaliar o nível e a variação dos volumes dos reservatórios e, por fim, os dados de batimetria para estimar a capacidade máxima de armazenamento dos reservatórios.

A performance da abordagem adotada deve ser avaliada para diferentes reservatórios utilizando como referência várias bases de dados de campo disponíveis ou a serem obtidos (por exemplo, DGPS dados e medições batimétricas).

7.3.1. Levantamento Batimétrico (LB)

A batimetria trata do conjunto dos princípios, métodos e convenções usados para determinar a medida do contorno, da dimensão relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, represas e canais. Os levantamentos batimétricos têm por objetivo efetuar medições de profundidades que estejam associadas a uma posição da embarcação na superfície da água.

Compreende assim uma abordagem planimétrica (X,Y) que fornece a posição da embarcação onde está a estação, e a obtenção das profundidades. As coordenadas (X,Y) são frequentemente obtidas por DGPS, irradiação, interseção à vante (conforme a situação), e as profundidades por sondagem.

Alguns fatores importantes a serem definidos num levantamento batimétrico: a) planejamento das linhas de sondagem, com verificação do espaçamento entre as mesmas (recomendação de 50m), que é função da ordem do levantamento pretendido (precisão) e da profundidade in loco; b) as linhas de sondagem devem ter orientação transversal à direção predominante das linhas isobatimétricas; c) as linhas de sondagem devem ser dispostas de forma regular, e podem ser paralelas, circulares, radiais, em zigue-zague ou aleatórias.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSEN, A.; CRÉTAUX, J. F.; BERGE-NGUYEB, M.; DEL RIO, R. A. Remote sensing-derived bathymetry of Lake Poopó. *Remote Sensing*, v.6, p.407-420, 2014. <https://doi.org/10.3390/rs6010407>
- BIRKETT, S. Contribution of TOPEX/Poseidon to the global monitoring of climatically sensitive lakes. *J. Geophys. Res.*, 100 (C12), pp. 25179-25204. 1995
- CALMANT, S.; SEYLER, F.; CRÉTAUX, J.-F. Monitoring continental surface waters by satellite altimetry. *Surveys in Geophysics*. 29, 247-269. 2008.
- CRÉTAUX, J.-F.; BIRKETT, C. Lake studies from satellite radar altimetry. *C. R. Geoscience* 338. 2006
- DU, Y., ZHANG, Y., LING, F., WANG, Q., LI, W., LI, X. Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sens.* 8, 354. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>. 2016.
- DUAN, Z.; BASTIAANSEN, W. G. M. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. *Remote sensing of environment*, 134, p.403-416, 2013.
- Funceme, 2017: Mapeamento realizado pela Área de Meio Ambiente da FUNCEME, com detalhes compatíveis com a escala cartográfica de 1:100.000, elaborado nos anos de 2017 e 2018. http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/5-Mapa_CE_Espelhos-dagua_2017_A2.pdf
- GAO, H.; BIRKETT, C.; LETTENMAIER, D.P. Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing. *Water Resour Res* 48 (9):W09504. doi:10.1029/2012WR012063, 2012.
- GRIPPA, M.; ROUZIES, C.; BIANCAMARIA, S.; BLUMSTEIN, D.; CRETAUX, J.; GAL, L.; ROBERT, E.; GOSSET, M.; KERGOAT, L. Potential of SWOT for monitoring water volumes in Sahelian ponds and lakes. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2541-2549, 12 (7), 2019.

JIANG, H.; FENG, M.; ZHU, Y.; LU, N.; HUANG, J.; XIAO, T. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 5067-5089, 6 (6), 2014.

LOPES, J. W. B.; ARAÚJO, J. C. de. Simplified method for the assessment of siltation in semiarid reservoirs using satellite imagery. *Water*, v.11, p.1-18, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11050998>

NASA. National Aeronautics and Space Administration. *SWOT Mission: Overview*. 2022. Disponível em: <https://swot.jpl.nasa.gov/mission/overview/>. Acessado em: 13.jul.22.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. SWOT Mission: SWOT Applications is Preparing for Launch. *Spring 2022 Newsletter*. 2022.

TOLEDO, C. E.; ARAÚJO, J. C. de; TOLEDO, C. L. A. The use of remote-sensing techniques to monitor dense reservoir networks in the Brazilian semiarid region. *International Journal of Remote Sensing*, v.35, p.3683-3699, 2014. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.915593>

TUNDISI, JG., 2003. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: Rima Artes e Textos. 248 p. vol. 1.

ZEH, K. K. et al. Análise de dados históricos de qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirai em Joinville-SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIROS DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2015, Brasília. Anais... Brasília, DF: ABRH, 2015, p. 1-8.

ZHANG, S.; FOERSTER, S.; MEDEIROS, P.; ARAÚJO, J. C. de; MOTAGH, M.; WASKE, B. Bathymetric survey of water reservoirs in north-eastern Brazil based on TanDEM-X satellite data. *Science of the Total Environment*, v.571, p.575-593, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.024>