



## EXPEDIÇÃO PELA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Anne Caroline Negrão<sup>a</sup>, Maria Cecília Rodrigues do Prado<sup>b</sup>, Daniel Andrés Rodriguez<sup>c</sup>, Felix Carriello<sup>d</sup>, Rochane de Oliveira Caram<sup>e</sup>, Javier Tomasella<sup>f</sup>

<sup>a</sup>INPE, e-mail: [annecnegrão@gmail.com](mailto:annecnegrão@gmail.com); <sup>b</sup>INPE, e-mail: [cecilia.prado@inpe.br](mailto:cecilia.prado@inpe.br); <sup>c</sup>INPE, e-mail: [daniel.andres@inpe.br](mailto:daniel.andres@inpe.br);  
<sup>d</sup>Universidade Federal Fluminense, e-mail: [felix.carriello@gmail.com](mailto:felix.carriello@gmail.com); <sup>e</sup>CEMADEN, e-mail: [rochane.caram@cemaden.gov.br](mailto:rochane.caram@cemaden.gov.br);  
<sup>f</sup>CEMADEN, e-mail: [javier.tomasella@cemaden.gov.br](mailto:javier.tomasella@cemaden.gov.br)

### Introdução

Modelos hidrológicos vêm se tornando ferramentas essenciais em diversos campos da gestão de bacias hidrográficas, como por exemplo, simulações de mudança de uso do solo, previsões de eventos extremos e projeções de mudanças climáticas. Entretanto, a restrita análise em escritório de dados, mapas e imagens nem sempre são acuradas ou detalhadas suficientemente. A caracterização *in loco* da bacia hidrográfica estudada agrega informações físicas das localidades e do entorno que explicam aspectos das séries históricas de vazão e cota registradas pelas estações fluviométricas o que auxilia a calibração de modelos hidrológicos e a interpretação de simulações e previsões.

Este trabalho apresenta informações obtidas durante a expedição pela Bacia do Rio Paraíba do Sul cujos objetivos foram: o reconhecimento dos diferentes tipos de uso do solo, entender a complexidade das usinas existentes e visitar seções de rio onde estão instaladas as estações fluviométricas (convencionais e automáticas) utilizadas na modelagem hidrológica. As informações obtidas serão utilizadas em trabalho que está em andamento cujo objetivo é realizar previsão por conjunto de alta resolução espacial de eventos extremos de inundação utilizando o Modelo Hidrológico Distribuído MHD-INPE (Rodríguez e Tomasella, 2015).

### Bacia de estudo

A Bacia do Rio Paraíba do Sul abrange uma área de 57000 km<sup>2</sup>, banhando os estados de São Paulo (23,7%), Minas Gerais (39,6%) e Rio de Janeiro (36,7%) onde deságua. O rio corre no sentido oeste-leste numa altitude média de 370 m, seus afluentes originam-se das serras da Mantiqueira e do Mar. O rio Paraíba do Sul nasce na confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna, tendo um percurso total de 1120 km, no sentido oeste para leste. Entre os afluentes mais importantes do Rio Paraíba do Sul, destacam-se os rios Jaguari, Paraibuna, Pirapetinga, Pomba e Muriaé pela margem esquerda, e os rios Bananal, Piraí, Piabanha e Dois Rios pela margem direita.

A bacia do rio Paraíba do Sul abrange a região de maior desenvolvimento econômico do país e tem sido palco para a implantação de uma série de aproveitamentos de usos múltiplos da água, visando à regularização de vazões, o controle de cheias, o abastecimento de água, a diluição de esgotos, a irrigação e o aumento da geração de energia elétrica. No trecho paulista da bacia, destacam-se os aproveitamentos de potência instalada das UHE Paraibuna/Paraitinga (86 MW), Santa Branca (58 MW) e Jaguari (27,6 MW). No trecho fluminense, a UHE de Funil (216 MW), a Usina Elevatória de Santa Cecília (33,6 MW), o AHE Anta/Simplício (333,7 MW) e a UHE Ilha Pombos (183 MW) são os principais aproveitamentos.

### Material e Métodos

O roteiro de viagem foi planejado com o auxílio do Google Earth Pro e do Google My Maps (Figura 1), onde foram traçadas as rotas de modo que o percurso estivesse o mais próximo possível do curso dos rios. Considerou-se no plano, visitas às estações fluviométricas utilizadas na modelagem hidrológica da bacia, o reconhecimento do uso do solo e a condição das áreas de cabeceira dos principais afluentes do rio Paraíba do Sul.

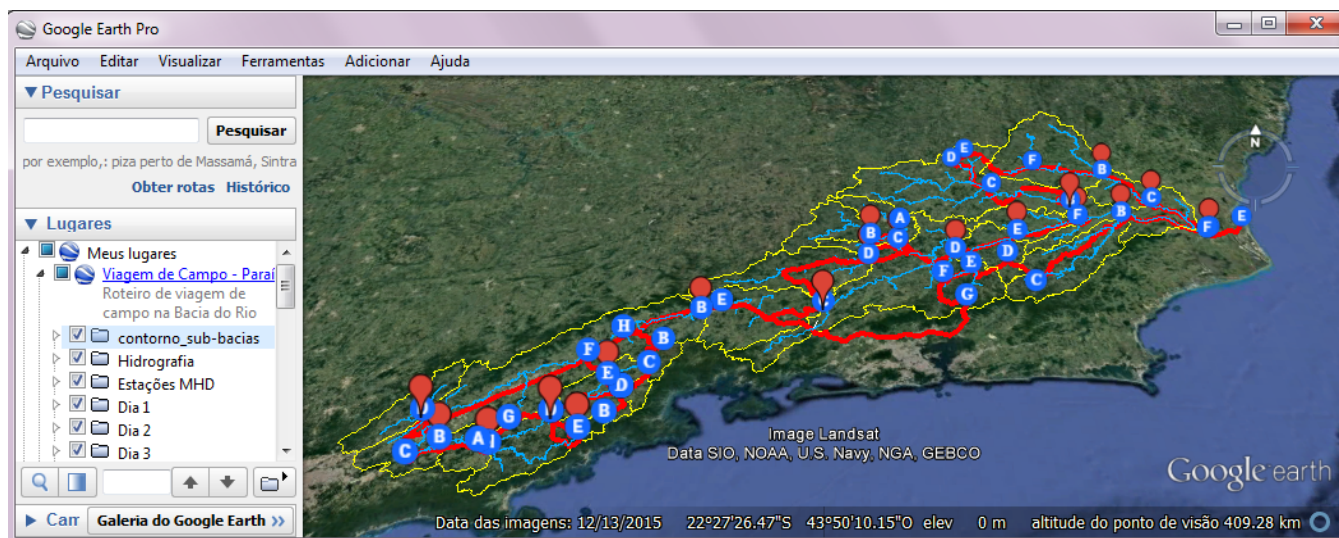


Figura 1 – Planejamento da rota da expedição utilizando Google Earth Pro e Google My Maps.

Uma base de dados contendo informações sobre a bacia foi preparada para auxiliar a definição do roteiro e a identificação de pontos de interesse durante a expedição de campo. A seguir uma lista das informações utilizadas:

- Hidrografia, delimitação da bacia, estações fluviométricas e rodovias, disponibilizados pela Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA);
- Modelo Numérico de Elevação SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução de 90 m, disponibilizado pela NASA (Farr *et al.*, 2007);
- Hidrografia e delimitações de sub-bacias processados pelo *software* TerraHidro (Abreu *et al.*, 2012) com base no Modelo Numérico de Elevação e considerando as estações fluviométricas selecionadas para modelagem (Tabela 1);
- Imagens do satélite Landsat 8, do ano 2016, compostas com bandas RGB 654;
- Mapas de vegetação e solo provenientes do projeto PROVEG-INPE (Sestini *et al.*, 2002) e do SOTERLAC (Dijkshoorn *et al.*, 2005), respectivamente;
- Rotas planejadas no Google My Maps.

Tabela 1 – Estações selecionadas para modelagem hidrológica em ordem de visita pela expedição.

Ordem de visita	Nome da estação	Código	Fonte	Rio
1	Estrada do Cunha	58030000	ANA	Paraitinga
2	São Luis do Paraitinga	58040000	ANA	Paraitinga
3	Ponte Alta 1	58060000	ANA	Paraibuna
4	Paraibuna	121	ONS	Paraíba do Sul
5	Santa Branca	122	ONS	Paraíba do Sul
6	Jaguari	120	ONS	Jaguari
7	Funil	123	ONS	Paraíba do Sul
8	Santa Ceclia	125	ONS	Paraíba do Sul
9	Manuel Duarte	58585000	ANA	Preto
10	Picada	197	ONS	do Peixe
11	Sobragi	198	ONS	Paraibuna
12	Simplicio	127	ONS	Paraíba do Sul
13	Ilha dos Pombos	130	ONS	Paraíba do Sul
14	Itacara	314	ONS	Paraíba do Sul
15	Santo Antônio de Pádua II	58790002	ANA	Pomba
16	Itaperuna	58940000	ANA	Muriaé
17	Cardoso Moreira	58960000	ANA	Muriaé
18	Campos	58974000	ANA	Paraíba do Sul
19	Dois Rios	58874000	ANA	Dois Rios

Para a navegação foi utilizado um GPS Garmin GPSmap 60CSX acoplado a um computador notebook Sony Vaio. Por meio do *software* Global Mapper 11, foi possível realizar a consulta da base de dados e traçar sobre os mapas o percurso percorrido, fazendo registros em pontos de interesse, como usinas, estações fluviométricas, cursos d'água, entre outros, e os diferentes usos do solo ao longo da bacia (Figura 2). Algumas fotos que foram tiradas durante a viagem tiveram suas coordenadas registradas por câmera com GPS. Um veículo 1.6 munido de GPS foi utilizado na viagem.

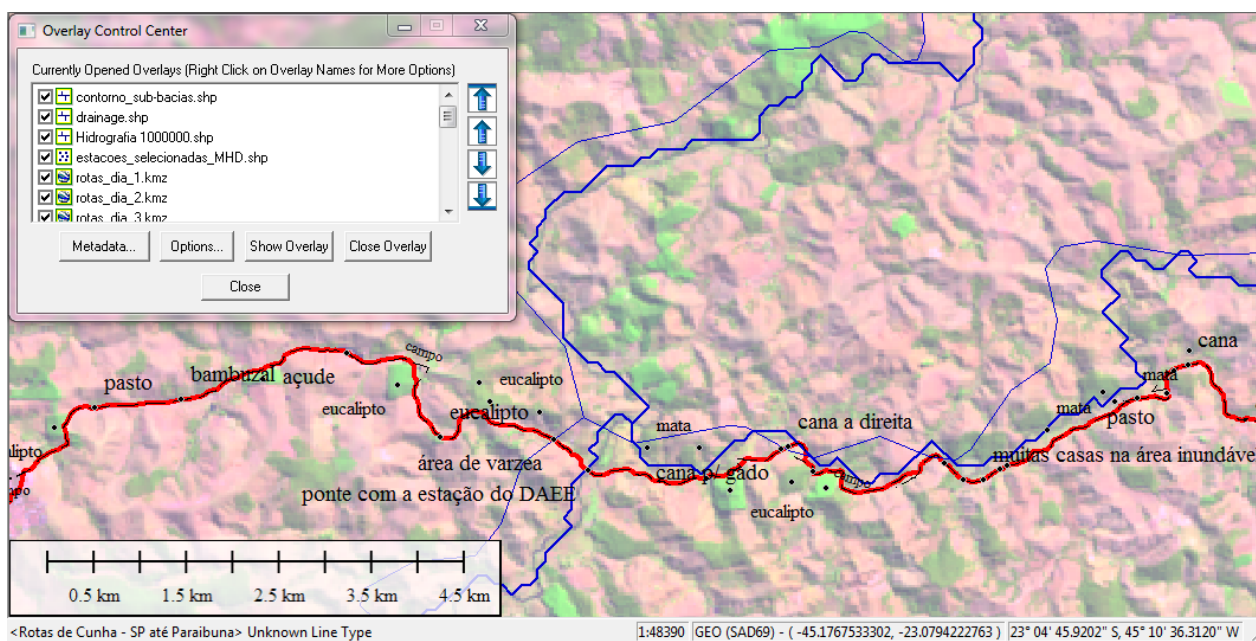


Figura 2 – Banco de dados utilizado no Global Mapper 11 com anotações realizadas durante a expedição.



## Resultados e Discussão

A viagem foi realizada em nove dias (do dia 8 ao dia 16 de agosto de 2016) com um total percorrido de 2650 km, teve início nas nascentes mais distantes do rio Paraitinga e Paraibuna na região da Serra do Mar paulista, seguiu até a foz acompanhando o rio Paraíba do Sul e seus afluentes da margem esquerda e retornou acompanhando os afluentes na margem direita (Figura 3).

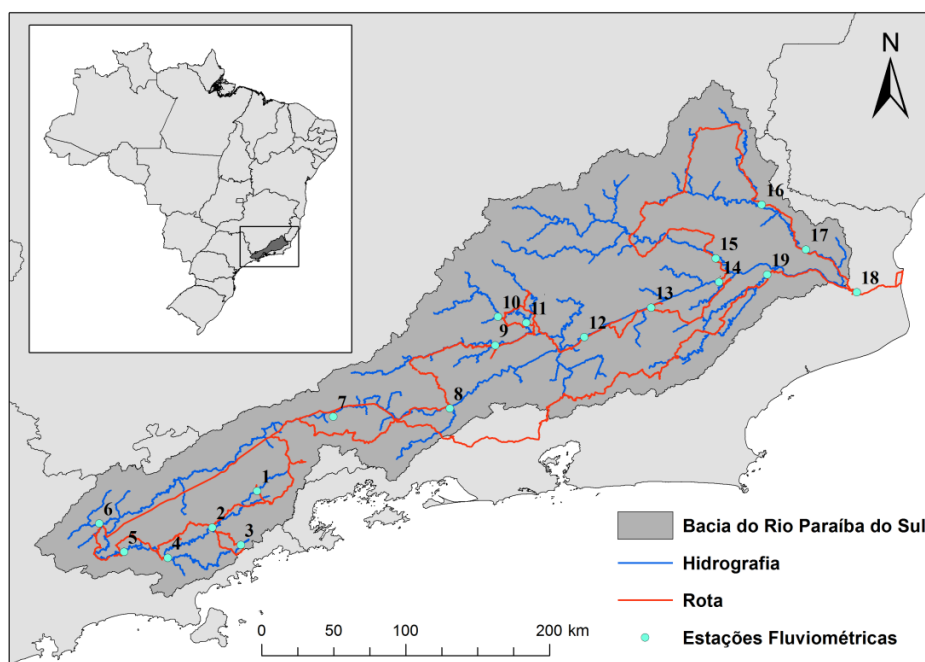


Figura 3 – Rota percorrida durante a expedição com as estações fluviométricas visitadas.

A área de nascentes do rio Paraitinga e Paraibuna apresenta relevo acidentado, característico da serra do Mar, e grandes áreas de mata nativa úmida e densa, preservadas pelo Parque Nacional Serra do Mar (Núcleos Cunha e Santa Virgínea). Entretanto, também foi observado grande exploração do solo em extensas áreas, inclusive em topos de morros, para a plantação de eucalipto, principalmente próximo do município de São Luís do Paraitinga, SP. Ambos os rios ganhavam volume rapidamente e tinham a mata ciliar preservada (Figura 4). As estações fluviométricas visitadas foram Estrada do Cunha, São Luís do Paraitinga e Ponte Alta I e apresentavam leito estável e boa localização, os sensores de nível utilizados eram por radar instalados em pontes. No município de São Luís do Paraitinga, SP, ainda foram encontrados resquícios da inundação da virada do ano de 2009 para 2010.



Figura 4 – Rio Paraitinga e Paraibuna, respectivamente, em pontos de monitoramento fluviométrico.

Durante a viagem foi possível observar a grande influência antrópica na bacia, especialmente no rio principal, através do barramento do rio para utilidades múltiplas. A primeira grande mudança da estrutura fluviométrica do rio Paraíba do Sul é na sua formação, o encontro dos rios Paraitinga e Paraibuna passou a ser no lago formado pela barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Paraibuna/Paraitinga. A obra teve um grande impacto tanto ambiental quanto social. A barragem forma o lago de maior área alagada e volume da bacia e os moradores da região, segundo relatos, sentem até hoje os tremores de terra causados pela acomodação geológica sofrida pelo enchimento e esvaziamento do reservatório.

Ainda na parte paulista da bacia, também foram visitadas a UHE Santa Branca, que apresentou águas bastante eutrofizadas no lago e a jusante da barragem, e a UHE Jaguarí. No trecho fluminense foram visitadas: UHE Funil, Usina Elevatória de Santa Cecília, UHE Picada, UHE Sobragi, UHE Anta/Simplicio e UHE Ilha dos Pombos.

As estações fluviométricas dessas barragens são controladas pelas empresas responsáveis pela operação (Tabela 2). Os dados são disponibilizados automaticamente para o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que é responsável pela simulação das vazões naturalizadas, que normalmente são utilizadas na modelagem hidrológica.

Tabela 2 – Informações sobre as usinas visitadas durante a expedição.

Nome	Rio	Operador	Potência instalada (MW)	Área do espelho d'água (km <sup>2</sup> )
UHE Paraibuna/Paraitinga	Paraibuna e Paraitinga	CESP	85	177
UHE Jaguari	Jaguari	CESP	27,6	56
UHE Santa Branca	Paraíba do Sul	Light	58	27,5
UHE Funil	Paraíba do Sul	FURNAS	216	40
UE Santa Cecília	Paraíba do Sul	Light	33,6	2,7
AHE Anta/Simplício	Paraíba do Sul	FURNAS	333,7	17,56
UHE Ilha dos Pombos	Paraíba do Sul	Light	183	4,26
UHE Picada	do Peixe	Votorantim	50	1,1
UHE Sobragi	Paraibuna	Votorantim	60	0,03

Devido à nova política de operação dos reservatórios (ANA, 2015), consequente da crise hídrica iniciada em 2013, as vazões defluentes das barragens encontravam-se a mínima possível na ocasião da viagem com o objetivo de enchimento dos reservatórios. Isso resultava em uma diminuição impressionante do volume do rio Paraíba do Sul a jusante das barragens, o que proporcionou a visualização de parte do fundo o leito do rio em diversos pontos.

A usina de maior pressão de operação é a de Santa Cecília (Figura 5), responsável pela transposição do rio para a vertente Atlântico interligando o Sistema Hidráulico Lajes-Gandu. Por não possuir grande capacidade de acumulação, a afluência para Santa Cecília é controlada pelas usinas de Paraibuna/Paraitinga, Jaguari e Santa Branca, que acabam deixando a geração de energia em segundo plano e visando o abastecimento de água para consumo humano através do Sistema Lajes-Gandu (ANA, 2015). O desvio para a vertente Atlântico é muito expressivo. Na ocasião da visita, a vazão afluente à usina de Santa Cecília era de 130 m<sup>3</sup>/s, desse montante apenas 35 m<sup>3</sup>/s, vazão definida como mínima, seguiam para jusante do rio Paraíba do Sul. O impacto é perceptível pela drástica redução do volume de água do rio Paraíba do Sul após Santa Cecília. Entretanto a rápida capacidade de recuperação de volume do rio devido à contribuição de seus afluentes ainda permite outros aproveitamentos à jusante, como por exemplo, o desvio Anta/Simplício e a UHE Ilha Pombos, esta, na ocasião da viagem, encontrava-se com o reservatório cheio (Figura 6).



Figura 5 – Barragem da Usina Elevatória Santa Cecília e a única comporta aberta na ocasião da visita.

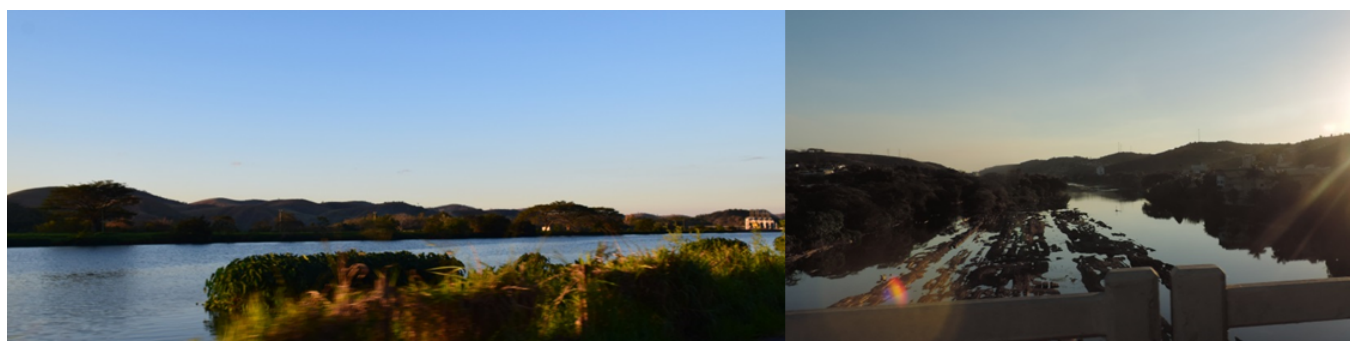


Figura 6 – UHE Ilha Pombos a montante e a jusante da barragem, respectivamente.

As áreas de cabeceiras da Bacia do Rio Paraíba do Sul sofrem menor interferência nas vazões naturais, entretanto, o solo é bastante explorado e a ocupação urbana próxima dos rios é expressiva. Percorrendo a sub-bacia formada pelo rio Paraibuna, afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, acompanhando o rio Preto e o rio do Peixe, pode-se observar rios encaixados de corredeiras rápidas, leito rochoso e contornados por vilarejos com vários pontos de extração de areia. A predominância do uso do solo era para pastagem, mas também se observou grandes áreas de floresta nativa, principalmente na proximidade do município de Juiz de Fora, MG, e algumas plantações de eucalipto e pinus. A estação Manuel Duarte, localizada no rio Preto, apresentou leito estável com bastante volume d'água, o sensor de nível utilizado é do tipo linígrafo (Figura 7). As estações Picada, no rio do Peixe, e Sobragi, no rio Paraibuna, também estão sujeitas à regularização de vazão e são controladas pelos operadores das usinas.





Figura 7 – Rio Preto, estação fluviométrica e seção monitorada em Manuel Duarte, respectivamente.

A sub-bacia formada pelo rio Pomba, um importante afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, apresenta solo raso com diversos pontos onde as rochas estão expostas, vegetação seca com áreas isoladas de mata nativa e plantações de eucalipto, e vários riachos praticamente secos. A estação visitada no rio Pomba foi a Santo Antônio de Padua II, localizada em uma seção larga e rasa sendo possível ver o fundo rochoso (Figura 8).



Figura 8 – Seção de monitoramento no rio Pomba.

Percorrendo a sub-bacia formada pelo rio Muriaé, afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, seguindo para a montante do rio da Glória, observou-se uma região de altas altitudes que apresentava rios rápidos com leito de pedras e formação de cachoeiras. O uso do solo predominante observado foi o cultivo de café. Já em altitudes menores, acompanhando o rio Carangola até seu encontro com o rio Muriaé, observou-se uma vegetação mais seca e rio mais lento e bastante poluído. As estações visitadas no rio Muriaé foram: Itaperuna e Cardoso Moreira, em ambas foram encontradas grande quantidade de macrófitas (Figura 9).



Figura 9 – rio Muriaé próximo das estações fluviométricas Itaperuna e Cardoso Moreira, respectivamente.

Na área de planícies da bacia, próxima a foz, o rio Paraíba do Sul apresentou-se largo e raso formando vários bancos de areia e ilhas. Observou-se na estação fluviométrica Itaocara um ponto de extração de areia bem próximo da seção monitorada o que pode estar comprometendo a representatividade de sua curva chave (Figura 10). A estação fluviométrica Campos está localizada no centro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ, em um trecho do rio retilíneo e sem ilhas (Figura 10). Já no litoral, foi possível observar as deposições de areia na região da foz do rio.



Figura 10 – Rio Paraíba do Sul próximo às estações Itaocara e Campos.

A sub-bacia formada pelo rio Dois Rios, afluente da margem direita do rio Paraíba do Sul, apresenta vegetação mais úmida, por estar localizada mais próxima da Serra do Mar, e maiores extensões de mata nativa. A estação fluviométrica Dois Rios ainda se encontra na parte plana da bacia, em região rural e a seção monitorada estava localizada entre duas curvas do rio, o que pode interferir na medição de nível e na estimativa da vazão nesse ponto. Apesar de a seção estar localizada a jusante do encontro de dois importantes afluentes da bacia, o rio Grande e o rio Negro, o volume de água estava abaixo do esperado. Na região serrana ainda foi possível observar marcas de deslizamentos e inundações nos municípios de Bom Jardim e Nova Friburgo, RJ, conseqüentes do Desastre da Região Serrana do Rio de Janeiro ocorrido em 2011. Foi interessante notar que as áreas que sofreram escorregamento eram áreas de mata nativa e não de ocupação urbana.

### Conclusões

A expedição permitiu ampliar a compreensão da dinâmica e da complexidade da Bacia do Rio Paraíba do Sul o que irá auxiliar a calibração de parâmetros de modelos hidrológicos e a interpretação de simulações e previsões. Além disso, o conhecimento *in loco* da área estudada adiciona maior propriedade na discussão de resultados.

Com o auxílio das imagens de satélite foi possível determinar os diferentes usos e coberturas de terra para caracterização das áreas percorridas, o que irá auxiliar a avaliação da classificação do uso do solo em trabalho posterior.

O complexo sistema hidráulico fortemente antrópico dificulta a representatividade por modelos hidrológicos da rede de drenagem do rio principal o que tornam inexpressivas as previsões de vazão a jusante dos grandes barramentos. Por outro lado, a previsão de vazão para as cabeceiras da bacia apresentam grande funcionalidade tanto para a avaliação de eventos extremos quanto para o planejamento da operação do sistema de reservatórios.

Também foi possível observar que a crise hídrica ainda é muito presente na bacia. A nova política de operação dos reservatórios pode estar interferindo na capacidade de recuperação e autodepuração do rio. Além disso, a grande exploração do solo em áreas de nascentes e topo de morros pode estar interferindo o aporte de água dos afluentes do rio Paraíba do Sul intensificando ainda mais a situação de seca.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio recebido através do projeto número 400071/2014-2.

### Referências Bibliográficas

Abreu, E.S.; Rosim, S.; Rennó, C.D.; Oliveira, J.R.F.; Jardim, A.C.; Ortiz, J.O.; Dutra, L.V.; 2012. TERRAHIDRO - A distributed hydrological system to delimit large basins. In: IGARSS 2012 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, p. 546-549.

ANA, Agência Nacional das Águas. Junho 2015. Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul. Versão 2.0. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/TransposicaoPBS/PlanodeAcoesComplementaresparaGestaodaCriseHidricanaPBSJun2015.pdf>>

Dijkshoorn J.A.; Huting J.R.M.; Tempel P.; 2005. Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen.

Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L.; Seal, D.; Shaffer, S.; Shimada, J.; Umland, J.; Werner, M.; Oskin, M.; Burbank, D.; Alsdorf, D.; 2007. The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, v.45, 2004. DOI: 10.2962/2005RG000183.

Rodriguez, D.A.; Tomasella, J. 2015. On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins. *Hydrological Sciences Journal*. DOI: 10.1080/02626667.2015.1051979.

Sestini, M.F. *et al.* 2002. Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. Projeto PROVEG-INPE. São José dos Campos, SP.