



**Simulação do Rompimento Hipotético da
Barragem de Juturnaíba, Localizada no Estado do Rio de Janeiro**
Simulation of the Hypothetical Rupture of the Juturnaiba Dam, Located in Rio de Janeiro State

Luana da Fonseca Santos;
Leonardo Tristão Chargel & Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Rua Passo da Pátria, 156, sala 133, 24210-240, Niterói, RJ, Brasil

E-mails: lucnasantos@id.uff.br; leonardotristao@id.uff.br; dahora@ym.uff.br

Recebido em: 29/05/2019 Aprovado em: 10/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_299_310

Resumo

Para avaliar o comportamento da onda de cheia ao longo do vale de jusante da barragem de Juturnaíba, bem como o alcance da mancha de inundação e da profundidade e velocidade máximas da lâmina d'água, buscou-se simular matematicamente o rompimento hipotético da barragem a partir do *software* HEC-RAS 5.0.5 e do modelo digital de elevação da área em estudo, na escala 1:25.000. A partir dos resultados dos cenários simulados, observou-se que a mancha de inundação se espalhou ao longo da planície do rio São João, com um alcance de 30 quilômetros, e, ainda que com velocidade pouco expressiva em parte de seu trajeto, a lâmina d'água atingiu áreas rurais de assentamentos, fazendas e agroindústrias e áreas urbanas dos municípios de Casimiro de Abreu, Cabo Frio e Rio das Ostras, além de áreas ambientalmente protegidas como a Rebio Poço das Antas e a APA São João/Mico-Leão-Dourado. Ressalta-se que apesar do caráter preliminar do estudo e da simulação realizada, em virtude das simplificações adotadas, os resultados encontrados podem auxiliar na composição de cenários e servir como ponto de partida para a elaboração do Plano de Ação Emergencial da barragem, bem como auxiliar as Defesas Cíveis, dos municípios envolvidos à região do entorno do barramento, no planejamento de ações de emergência.

Palavras-chave: onda de cheia, Plano de Ação Emergencial, Defesa Civil

Abstract

In order to evaluate the behavior of the flood wave along the downstream valley of the Juturnaiba dam, as well as the extent of the floodplain and the maximum depth and speed of the water level, the hypothetical rupture of the dam was simulated using HEC-RAS 5.0.5 software and digital elevation model in 1:25,000 scale. The results for the simulated scenarios showed that the floodplain spilled along the plain of the São João River, with a range of 30 kilometers, and, although with little expressive speed, the water depth affected rural areas of settlements, farms and agroindustries and urban areas of the municipalities Casimiro de Abreu, Cabo Frio and Rio das Ostras, as well as environmentally protected areas such as Rebio Poço das Antas and APA São João/Mico-Leão-Dourado. It should be noted that despite the preliminary nature of the study and the simulation performed, due to the simplifications adopted, the results found may help in the composition of scenarios and serve as a starting point for the elaboration of the Emergency Action Plan of the dam, as well as to help the Civil Defenses of the municipalities possibly affected in the planning of emergency actions.

Keywords: flood wave, Emergency Action Plan, Civil Defense

1 Introdução

As barragens de acumulação desempenham relevante papel nos múltiplos usos da água, entretanto, a possibilidade de falha na estrutura está ligada historicamente a consequências catastróficas, dado o aumento significativo da vazão, velocidade e profundidade do escoamento ao longo da planície de inundação (Neto, 2016).

Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Neste contexto, foi instituída, em 2010, a Lei 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e torna obrigatória a elaboração do Plano de Ação Emergencial (PAE) nos casos em que a barragem possua alto Dano Potencial Associado (DPA), podendo também ser exigido em função da categoria de risco no qual a mesma se encontra (Brasil, 2010).

Para elaboração do PAE, é indispensável a modelagem hidrodinâmica da onda de cheia causada pelo rompimento hipotético da barragem e a delimitação das áreas que poderão ser inundadas ao longo do vale de jusante, preferencialmente, sobre cartografia 1:25.000 (ANA, 2016).

Entretanto, dada a severidade dos eventos de rupturas de barragens, a calibração dos modelos torna-se complexa, visto que devem ser estabelecidas condições para o fluxo hídrico para além de áreas normalmente inundadas (Morris, 2000). Além disso, há que se considerar parâmetros de difícil estimativa, principalmente, os relacionados às dimensões, ao tempo de desenvolvimento e ao local onde a brecha será instalada (USACE, 2014).

Com base no exposto, dada a relevância do tema segurança de barragens, buscou-se avaliar o alcance da onda de cheia causada pelo rompimento hipotético da barragem de Juturnaiba, inserida na bacia hidrográfica do rio São João. A escolha deste empreendimento deve-se ao fato de que o seu reservatório se destaca como o maior de acumulação de água para abastecimento humano do estado do Rio de Janeiro (Rocha & Miranda Neto, 2018). De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações

sobre Saneamento (SNIS), as águas são captadas por duas concessionárias, Águas de Juturnaiba e Prolagos, que atendem a uma demanda no entorno de 630 mil habitantes (SNIS, 2016).

O presente estudo buscou estimar os parâmetros necessários ao rompimento propondo uma análise do comportamento da lâmina d'água ao longo da planície de inundação em extensão aproximada de 30 km até a foz do rio São João. Para tanto, a composição do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi definida com apoio do *software* ArcGis 10.2, utilizando base topográfica na escala 1:25.000, enquanto que o *software* HEC-RAS 5.0.5 embasou a modelagem hidrodinâmica.

2 Fundamentação Teórica

Tendo como marco regulatório a promulgação da Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, o Brasil passou a dispor de uma legislação específica voltada ao enquadramento e regularização de barragens destinadas à disposição de rejeitos, à acumulação de resíduos industriais, bem como à acumulação de água independente do uso associado (BRASIL, 2010).

Visando a regulamentação de ações de segurança a serem adotadas, bem como compilar informações que auxiliem no gerenciamento da segurança de barragens pelos governos, a PNSB atribui ao órgão fiscalizador a responsabilidade de exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações de segurança, de reportar à ANA qualquer não conformidade que implique em risco imediato à segurança e, ainda, de implantar e manter o cadastro atualizado da situação das barragens localizadas sob sua jurisdição. Enquanto que, ao empreendedor atribui a responsabilidade de manutenção das condições de segurança, a elaboração e atualização do Plano de Segurança de Barragem (PSB) e, quando solicitado, o PAE (Brasil, 2010). Este último estabelece as ações a serem executadas em caso de acidentes ou incidentes que aumentem o risco associado, contemplando os mecanismos de alerta às comunidades potencialmente afetadas do vale de jusante (ANA, 2016).

Vale ressaltar que as barragens contempladas no âmbito da Lei 12.334 são aquelas que possuem

ao menos uma das características que se seguem: i) capacidade do reservatório igual ou superior a 3.000.000 m³; ii) altura do maciço igual ou maior que 15 m, contada do ponto mais baixo da fundação à crista; iii) armazenamento de resíduos perigosos; iv) categoria de DPA médio ou alto levando em consideração fatores ambientais, econômicos e sociais, bem como o risco potencial de perda de vidas humanas (Brasil, 2010).

O mapeamento das zonas inundáveis e o conhecimento da altura e velocidade de propagação da onda em cada trecho e do seu tempo de chegada permitem delimitar zonas de risco (ANA, 2016). Para tanto, os modelos hidrodinâmicos são capazes de simular o escoamento no vale a jusante ocasionado pelo rompimento de uma barragem. Lauriano (2009) destaca que em vales nos quais o escoamento segue a mesma direção imposta pelo leito principal do curso d'água, devido às suas características topográficas e de ocupação, pode ser utilizada a simulação unidimensional do fenômeno físico. Entretanto, o autor menciona que, em se tratando de locais com amplas planícies de inundação e maior densidade urbana, a simulação bidimensional torna-se necessária pela impossibilidade de definição de um único eixo de escoamento. Dos modelos hidrodinâmicos disponíveis, ANA (2016) recomenda o uso do DAMBRK ou do HEC-RAS.

O DAMBRK é um modelo unidimensional e os seus principais resultados são perfis da cheia, tempo de chegada das ondas de cheia em diferentes seções e hidrogramas em seções pré-determinadas (Collischonn & Tucci, 1997).

Já o HEC-RAS é um *software* que permite a simulação hidráulica de fluxo, nos regimes permanente e não permanente, transporte de sedimento, computação de leito móvel, modelagem da temperatura d'água e a modelagem generalizada da qualidade da água, transporte e destino de nutrientes e rompimento de barragens, sendo capaz de representar pontes, travessias e galerias (USACE, 2014). De acordo com Rubis (2006), além de gratuito, o *software* torna-se atrativo por funcionar em ambiente Windows e permitir a integração com plataformas externas. No pacote do *software* é disponibilizado

o aplicativo HEC-GeoRAS, que permite importar informações geométricas de *softwares* de SIG, para simulação e retorno de resultados, de modo a viabilizar a elaboração de mapas de inundação e de risco.

Para o processamento matemático, o *software* HEC-RAS demanda a definição de uma malha computacional composta por células triangulares, quadráticas, retangulares ou ainda com polígonos de 5 a 8 faces. A direção e o movimento do escoamento entre células são baseados no perfil da face entre as células tendo os detalhes do terreno como base (Neto, 2016).

Assim, torna-se necessária a inserção do Modelo Digital de Elevação (MDE) através da interface RAS Mapper para viabilizar a leitura do terreno e modelagem do escoamento. Essa plataforma possibilita, ainda, a visualização geoespacial dos resultados bem como a análise dos mesmos em conjunto com a base de dados geométricos, permitindo identificar as eventuais falhas e deficiências do modelo, e propor melhorias iterativas (Neto, 2016).

Constituído essencialmente a partir de dados cartográficos, o MDE consiste na digitalização e posterior interpolação dos dados topográficos para estimativa, ponto a ponto, da elevação do terreno ao longo de uma grade utilizada para armazenamento sistemático. Tal grade pode ser constituída por uma rede regular retangular (GRID) ou por uma rede irregular triangular (TIN), ambas formadas a partir da utilização de algoritmos de interpolação (Fernandes & Menezes, 2005). Os autores ainda destacam que apesar de análises realizadas por diferentes estudos quando ao melhor método para confecção de um MDE, não há consenso sobre o tema já que a seleção do modelo mais adequado está associada ao tipo de terreno que se queira representar, a intenção quanto ao seu uso e a disponibilidade dos dados utilizados para a sua confecção.

3 Caracterização da Região em Estudo

Localizada na Região Hidrográfica Lagos São João (RH-VI), na porção sudeste do Estado do Rio de Janeiro, a bacia hidrográfica do rio São João abrange parcialmente o território dos municípios de

Araruama, Cabo Frio, Cachoeira de Macacu, Casimiro de Abreu, Rio Bonito, Rio das Ostras, São Pedro da Aldeia e Silva Jardim, como mostra a Figura 1. A região possui significativa porção contida em unidades de conservação compostas pelas Reservas Biológicas (Rebio) Poço das Antas e União, a Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado, e, ainda, o Parque Estadual dos Três Picos (CILSJ, 2003).

Com relação à ocupação do vale de jusante, em ambas as margens do rio São João, é possível observar as áreas do Assentamento Sebastião Lan I e Acampamento Sebastião Lan II, onde estão instaladas 35 e 76 famílias, respectivamente (EMBRAPA, 2010 e INCRA, 2016). Pela margem direita, em área do município de Araruama, localiza-se o quilombola Sobara, onde moram cerca de 130 famílias afrodescendentes que subsistem da agricultura (SEC, 2018). Na foz do rio São João, localizam-se o 2º distrito de Casimiro de Abreu, denominado Barra de São João,

com população de 13.000 habitantes e o 2º distrito de Cabo Frio, denominado Tamoios, com população de 46.000 habitantes (IBGE, 2018).

Segundo Cunha (1995), a barragem de Juturnaíba foi construída visando o complemento do abastecimento domiciliar e industrial da região, o fornecimento de água para irrigação de áreas situadas a jusante e o controle das cheias nos trechos do baixo São João.

Com suas ombreiras direita e esquerda enraizadas no Morro do Madureira e no Morro das Crioulas, respectivamente, bem como nas ilhas de mesmo nome, a barragem de terra, situada na cota 12,0 m possui trechos distintos ao longo da sua extensão dadas as condições diferenciadas de fundação ao longo do eixo (Rocha & Miranda Neto, 2018).

O reservatório possui um vertedouro do tipo labirinto com 163,5 m de largura divididos em 4 elementos, comprimento desenvolvido de 710 m e

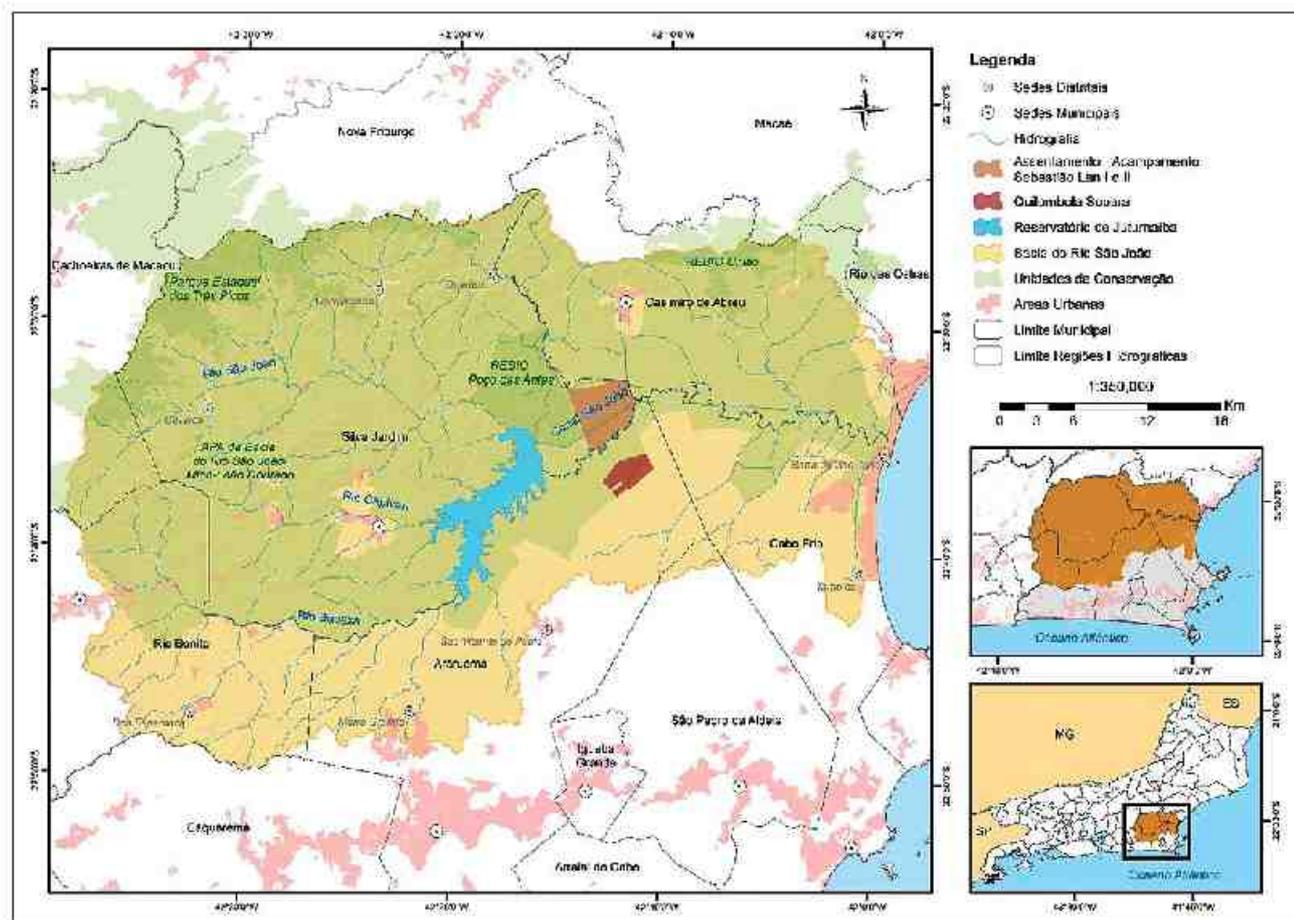


Figura 1 Bacia hidrográfica do rio São João (adaptado de CILSJ, 2003).

cota de operação a partir de 8,4 m. Além de tomadas d'água laterais controladas por stop-logs que garantem a manutenção do estirão de jusante e levam aos canais de irrigação, foi construída a jusante do vertedouro uma ponte de concreto de 180 m para conexão entre as cristas da barragem (Rocha & Miranda Neto, 2018). Noronha (2009) salienta que, de acordo com o levantamento topobatimétrico realizado em abril de 2008, o volume máximo do reservatório é de 78,51 hm³ e que o mesmo se encontra associado à cota 11,10 m.

Atualmente, a Concessionária Prolagos S/A possui responsabilidade sobre a manutenção e operação do reservatório de Juturnaíba, conforme contrato firmado em 1998 (PROLAGOS, 2018). Entretanto, Rocha & Miranda Neto (2018) mencionam que o empreendimento está em condições precárias de manutenção, com destaque ao colapso da estrutura do canal de restituição situado no lado direito do vertedouro, bem como a presença de vegetação na área destinada ao canal complementar e, ainda, má vedação das adufas que permitem a passagem de água mesmo fechadas. Ressaltam-se ainda danos nas estruturas hidráulicas localizadas do lado esquerdo do vertedouro, onde foram verificadas rachaduras nas paredes do canal de restituição e a falta de gradeamento para contenção de sedimentos nas comportas. Os autores salientam a presença de ilhas de vegetação flutuantes no vertedouro bem como a jusante do mesmo, indicando assoreamento e sobrecarga da estrutura.

4 Metodologia

A delimitação da bacia do rio São João foi gerada a partir do *software* ArcMap 10.2. A base de dados cartográfica, elaborada no âmbito do Projeto

RJ25, possui escala 1:25.000 (IBGE, 2016). Foi utilizado o sistema de referência planimétrica SIRGAS 2000 e o sistema de projeção UTM 23S.

Visando a definição de hipóteses que compoariam o cenário de ruptura no qual seria realizada a modelagem hidrodinâmica, foram adotadas algumas premissas que nortearam o estudo.

O rompimento hipotético da barragem foi simulado pela formação de brecha causada por erosão interna da estrutura, método de falha também denominado por *piping*. Esta escolha deveu-se ao fato de que Rocha & Miranda Neto (2018) inferiram que o risco de galgamento da barragem, pela passagem da onda de cheia decamilar pelo vertedouro, sem considerar as obstruções causadas pelas ilhas de vegetação, é remoto.

A escolha do local onde se desenvolveria a brecha, foi embasada em Cruz (1983) que menciona a ausência de uniformidade das condições de fundação no Trecho III, que se estende da ilha do Madureira até o leito original rio São João, como ilustrado na Figura 2. Este trecho foi dividido em dois sub-trechos, respectivamente, III-1 e III-2. De acordo com o autor, o Trecho III-1 possui fundação em areia e é o único, entre a ombreira direita e a ilha do Madureira, que não possui instrumentação. Além disso, considerou-se que a região próxima da saída do dreno de pé do talude de jusante (Saída 4) seria mais suscetível a problemas de erosão. Sendo assim, optou-se por posicionar a brecha no Trecho III-1, entre as estacas 100 e 110.

Para o cômputo da modelagem foi adotado o nível d'água inicial na cota 8,4 m, crista do vertedouro, e tempo total de simulação de 30 dias para

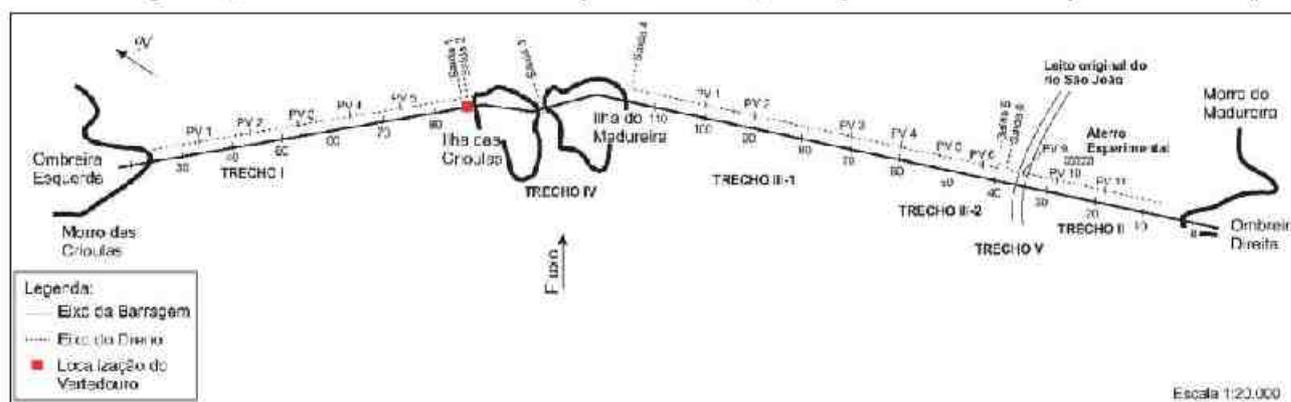


Figura 2 Localização da brecha de ruptura (adaptado de Rocha & Miranda Neto, 2018)

modelagem da onda de cheia ao longo da planície de jusante. Não foram contabilizadas as variações do coeficiente de Manning em função do terreno, adotando-se o valor de 0,03 em toda a extensão a jusante do reservatório. Também não foram consideradas as variações e influências dos níveis de maré, de modo que o escoamento não enfrentou resistência na foz do rio São João, adotada como único exutório no modelo.

No que diz respeito ao mecanismo de ruptura, Neto (2016) menciona que o *piping* é simulado a partir de uma expansão radial ao redor do ponto definido como inicial à brecha até que o alargamento atinja a crista da barragem, ponto no qual ocorrerá a transição para a forma trapezoidal. Os parâmetros geométricos da brecha incluem a altura da mesma (H_b), sua largura média (B_{ave}), a largura da base (B_b), bem como a largura máxima (B_t) e o fator de inclinação lateral (Z), como ilustrado na Figura 3.

As dimensões da brecha e o tempo de formação da mesma devem ser estimados a partir de equações de regressão e uma vez escolhida formulação, a mesma deve ser mantida para todos os parâmetros da brecha (USACE, 2014).

No presente estudo, das equações disponibilizadas no HEC-RAS, adotou-se a formulação proposta por Von Thun & Gillette, uma vez que dos 57 casos de barragens analisados, com altura variando entre 3,66 a 92,96 m, 75% estavam relacionados a alturas inferiores a 15 m (USACE, 2014). Além disso, como o método propõe a adoção do fator Z variando entre 0,5H:1V a 0,33H:1V, adotou-se a relação 0,5H:1V que resultou em uma altura (H_b) de

6,5 m; largura máxima (B_t) igual 68,65 m; largura inferior (B_b) igual 62,15 m; e com tempo de formação de aproximadamente 3,5 horas.

Cabe destacar que Neto (2016) recomenda associar ao MDE, os arquivos referentes à geometria do reservatório e à malha computacional, com suas respectivas propriedades hidráulicas, de modo que as relações entre elevação e volume possam ser desenvolvidas para cada face da célula. O autor ainda salienta que tal pré-processamento viabiliza a representação das informações contidas no MDE mesmo com a utilização de células maiores para a construção da malha computacional.

Após as simulações, os resultados referentes à elevação da mancha de inundação e a velocidade alcançada pelo escoamento foram exportados no formato GeoTIFF para que pudessem ser visualizados no *software* ArcMap 10.2.

5 Resultados e Discussão

Apesar do caráter preliminar do estudo e das simplificações adotadas, a mancha de inundação, bem como os valores máximos alcançados pela altura da coluna d'água durante a modelagem, encontram-se apresentados na Figura 4. Estendendo-se ao longo dos aproximados 30 km da planície, a mancha possui área total de, aproximadamente, 101 km². Ao longo do vale de jusante, foi possível observar que dentre os locais possivelmente atingidos, destacam-se: a periferia da sede do município de Casimiro de Abreu, os distritos de Tamoios e Barra de São João, bairros limítrofes do litoral entre as áreas urbanas dos

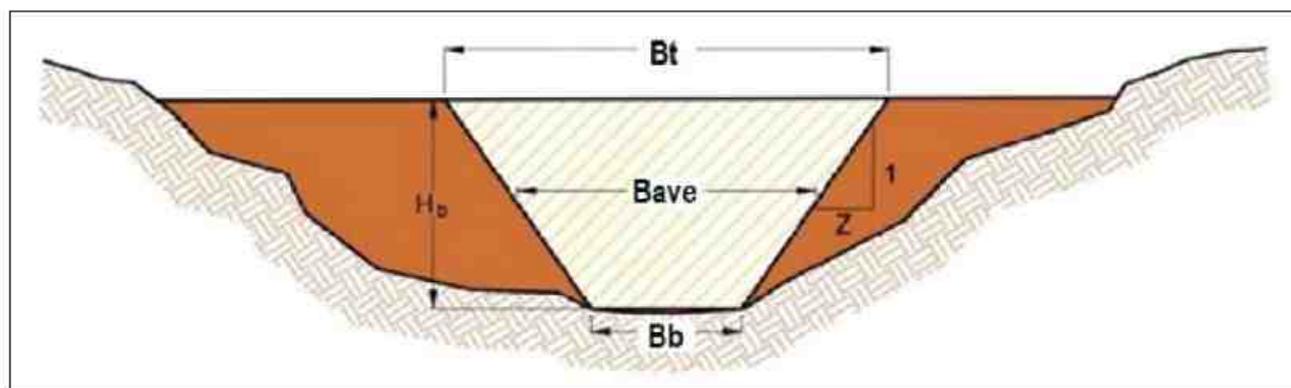


Figura 3 Parâmetros da brecha de ruptura (extraído de Neto, 2016).

municípios de Rio das Ostras e Casimiro de Abreu, o Assentamento Sebastião Lan I, o Acampamento Sebastião Lan II, e, fazendas e agroindústrias localizadas às margens do rio São João. Possivelmente, o quilombola Sobara não seria atingido. Com relação às áreas de interesse ambiental, a Rebio Poço das Antas e a APA da Bacia do Rio São João/Mico-Leão Dourado seriam afetadas. De acordo com as simulações, a mancha de inundação atingiria a região costeira a partir do terceiro dia.

A partir da Figura 4, pode-se perceber que houve um predomínio de valores no intervalo de 0,3 a 0,6 m de coluna d'água na mancha de inundação, com locais específicos onde a mesma atingiu valores superiores a 1,2 m, como por exemplo, a jusante da brecha de ruptura. Também foram observadas variações significativas na espessura da coluna d'água nas áreas urbanas, chegando a 1,0 m.

Os valores máximos de velocidade alcançados pela lâmina d'água estão ilustrados na Figura 5.

Nota-se que houve um predomínio dos valores da faixa de até 0,3 m/s, entretanto, ressalta-se a ocorrência de valores de 2,1 m/s, logo a jusante da brecha de ruptura no momento em que ela alcançou as suas dimensões máximas, e, neste instante, foi observada a maior vazão defluente e igual a 427,8 m³/s. O hidrograma de saída está apresentado na Figura 6.

Os cenários encontrados para as 6, 12 e 24 horas encontram-se nas Figuras 7 a 9.

Na Figura 7, verifica-se que nas primeiras 6 horas, a velocidade máxima atingida pela onda de cheia é de aproximadamente 2,1 m/s em pontos localizados nas áreas de maior fluxo, a jusante da brecha, enquanto que a mancha se espalha, predominantemente, com velocidades variando entre 0,2 a 0,6 m/s. Nesse cenário, foram encontrados valores de 1,2 m de lâmina d'água, a jusante da brecha, e valores variando entre 0,1 a 1,0 m ao longo do vale de jusante, em uma área alagada de 6,7 km².



Figura 4 Espessuras máximas (m) alcançadas pela mancha de inundação

Simulação do Rompimento Hipotético da Barragem de Juturnaiba, Localizada no Estado do Rio de Janeiro

Luana da Fonseca Santos; Leonardo Tristão Chargel & Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora



Figura 5 Velocidades máximas (m/s) alcançadas pela mancha de inundação

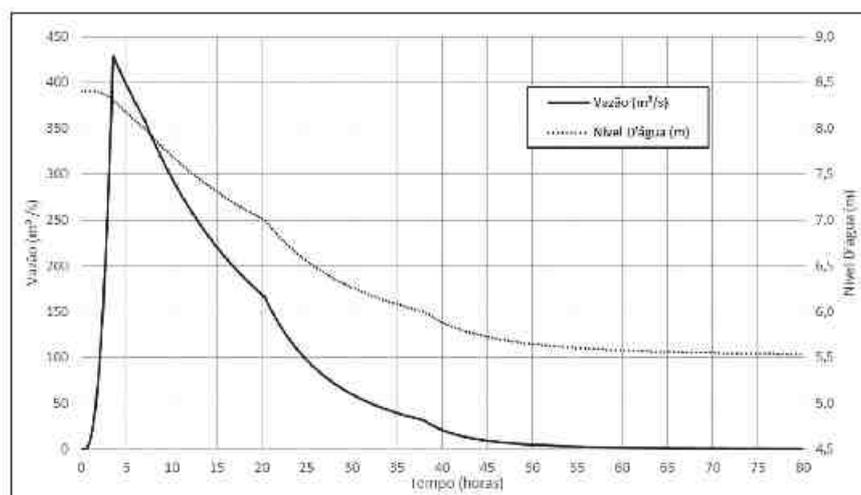


Figura 6 Hidrograma na seção da brecha e variação do nível d'água no reservatório em função do tempo

Após 75 horas de simulação, não há mais variação significativa no nível d'água do reservatório com sua estabilização no entorno da cota 5,5 m, conseqüentemente, o volume final do reservatório alcança 0,1 hm³. De acordo com Cunha (1995), o volume

de água previsto após a construção da barragem de Juturnaiba era de 100 hm³, portanto o volume corresponde a, aproximadamente, 0,1% do volume total, podendo-se considerar que a simulação conduz ao esvaziamento do reservatório.

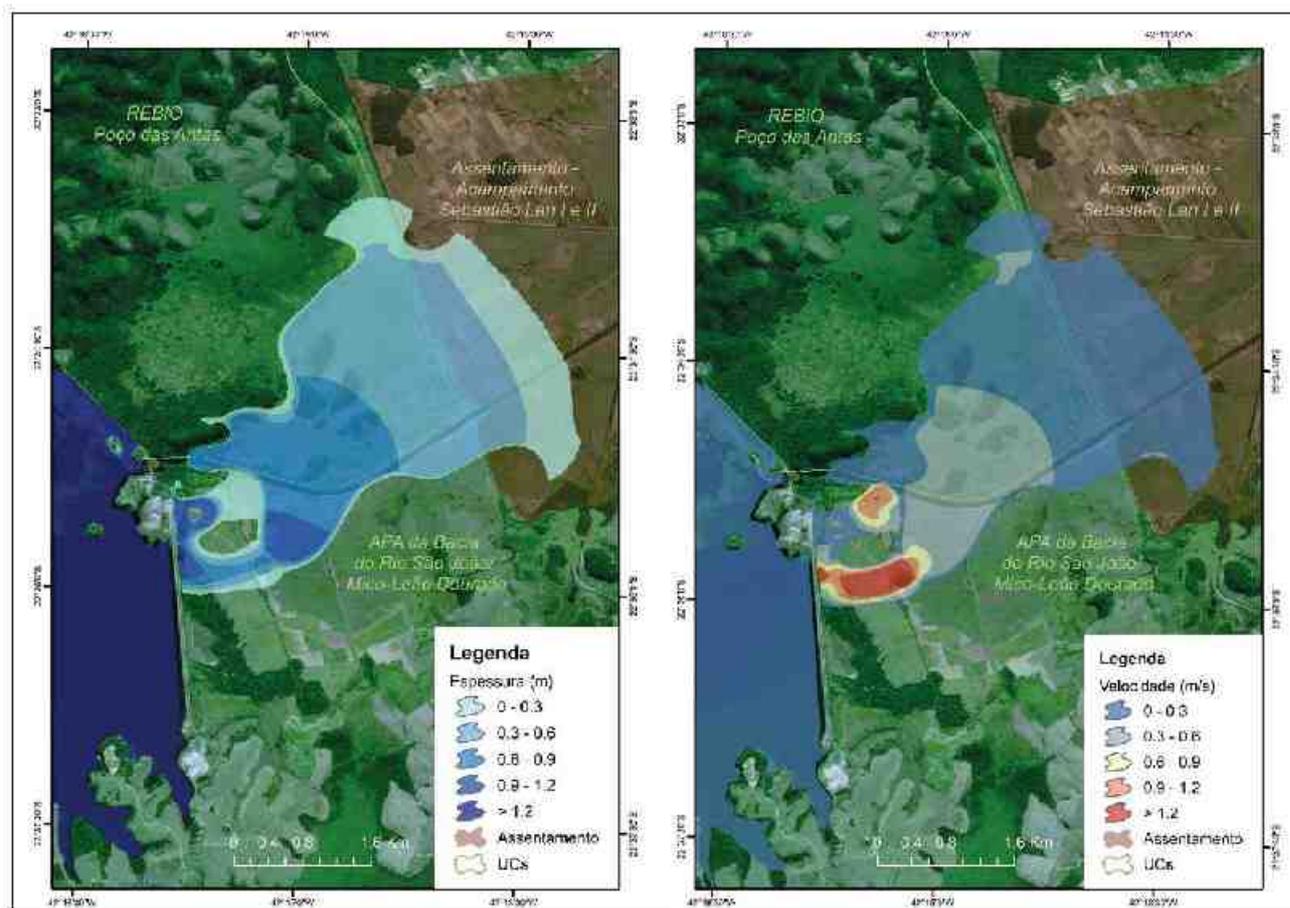


Figura 7 Cenário de rompimento após as primeiras 6 horas.

Na Figura 8, observa-se a perda de energia causada pelo espriamento do volume d'água, de modo que a velocidade de avanço é de, aproximadamente, 0,2 m/s. Percebe-se também que a coluna de água passa a ter valores, predominantemente, no intervalo de 0,3 a 0,9 m. Nesta configuração, a mancha atinge uma área de 23,4 km².

De acordo com os resultados do modelo, passadas as primeiras 24 horas, o reservatório ficou abaixo da metade do seu volume, como mostrado na Figura 9. Percebe-se um predomínio da lâmina d'água no intervalo de 0,3 a 0,6 m, com velocidade predominante de 0,1 m/s, e área alagada de, aproximadamente, 42,5 km².

Cabe destacar, com relação às simulações efetuadas, a observação de algumas não conformidades no comportamento da mancha de inundação, possivelmente motivadas pelo modelo não contemplar,

com detalhes, o traçado do estirão do rio São João. Isso se deu pela dificuldade da representação altimétrica da planície do vale de jusante com a hidrografia, em virtude da extensão dos trechos retificados do rio São João e seus afluentes. Vale ressaltar que a escala cartográfica utilizada, 1:25.000, é a mesma recomendada por ANA (2016) para elaboração de mapa de inundação que, por sua vez, é previsto como um item do PAE. Entretanto, apesar de tal indicação, verificou-se que a mesma não possui a precisão necessária ao cômputo do modelo.

6 Conclusões e Recomendações

Entende-se que um estudo de modelagem hidrodinâmica deve ser o mais fidedigno à realidade, dada a importância da utilização dos resultados para previsões, estimativas e definição de ações a serem tomadas.

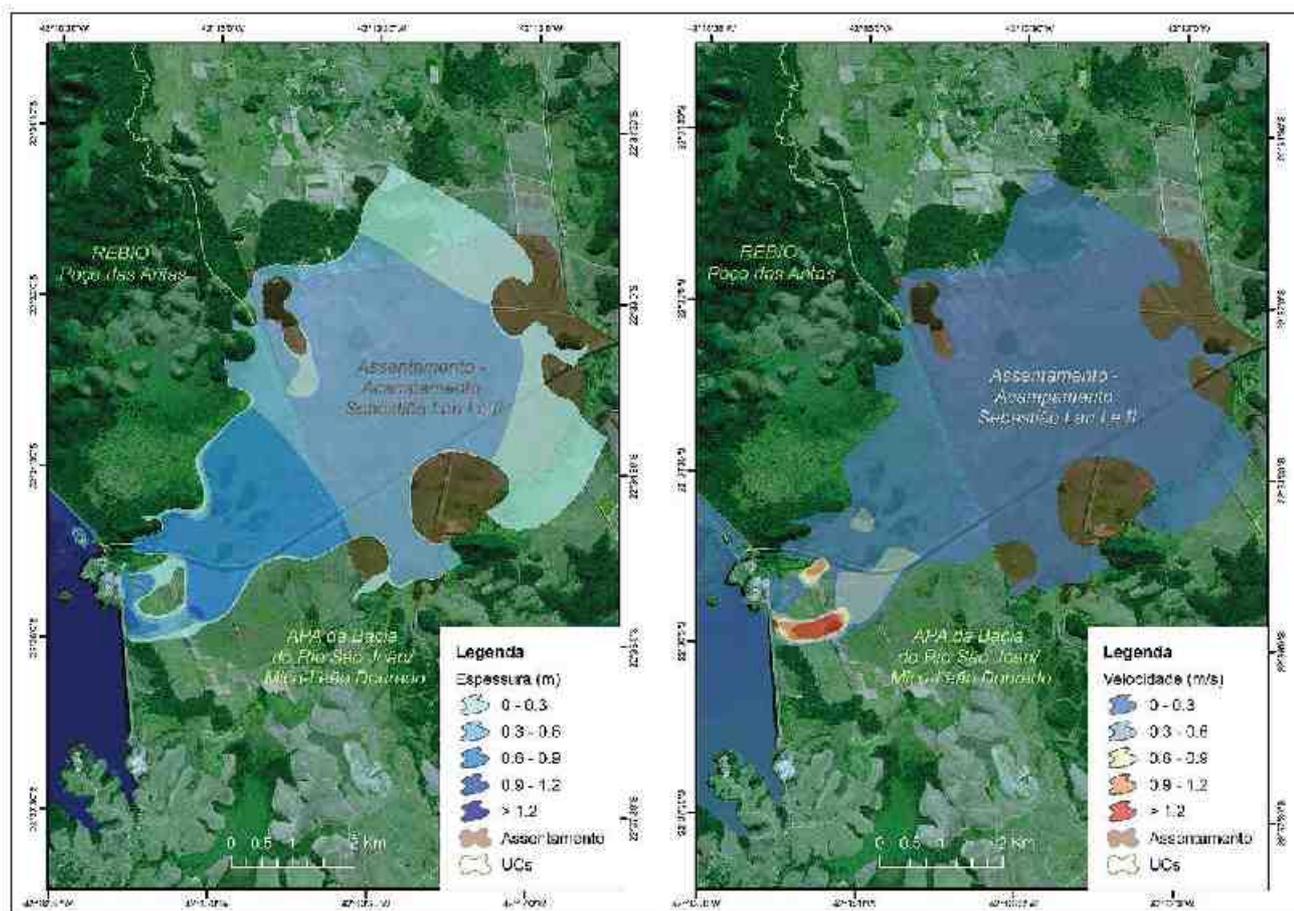


Figura 8 Cenário de rompimento após as primeiras 12 horas.

Porém, em se tratando de um estudo de ruptura hipotética, a validação dos resultados só pode ser verificada, caso sejam reproduzidos os parâmetros utilizados em um modelo físico de escala reduzida. Assim sendo, apesar do caráter preliminar do estudo e da simulação realizada, em virtude das simplificações adotadas, os resultados são relevantes quanto a abrangência espacial da área a ser afetada do vale de jusante da barragem de Juturnaíba, e podem embasar a composição dos cenários do PAE, bem como auxiliar o planejamento de ações de emergência das Defesas Cíveis municipais da região do entorno ao barramento.

Quanto as áreas possivelmente afetadas pela mancha de inundação, destacam-se as zonas urbanas dos municípios de Casimiro de Abreu, Rio das Ostras e Cabo Frio, as áreas rurais de assentamentos, fazendas e agroindústrias, bem como a REBIO

Poços das Antas e a APA da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado. Além disso, há que se considerar que um possível rompimento da barragem irá ocasionar um colapso imediato no abastecimento de água da região, afetando, diretamente, cerca de 630 mil habitantes.

Salienta-se que apesar do estudo ter sido desenvolvido na escala recomendada, a mesma não é adequada para representar as pequenas variações altimétricas das regiões de baixada, podendo conduzir a erros significativos na modelagem hidrodinâmica. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos futuros que utilizem escalas mais detalhadas e precisas ao cômputo do modelo, bem como a utilização da base hidrográfica na composição do MDE de modo a reduzir as inconsistências observadas.

Além disso, sugere-se o estudo da variação do coeficiente de Manning, em função da rugosidade

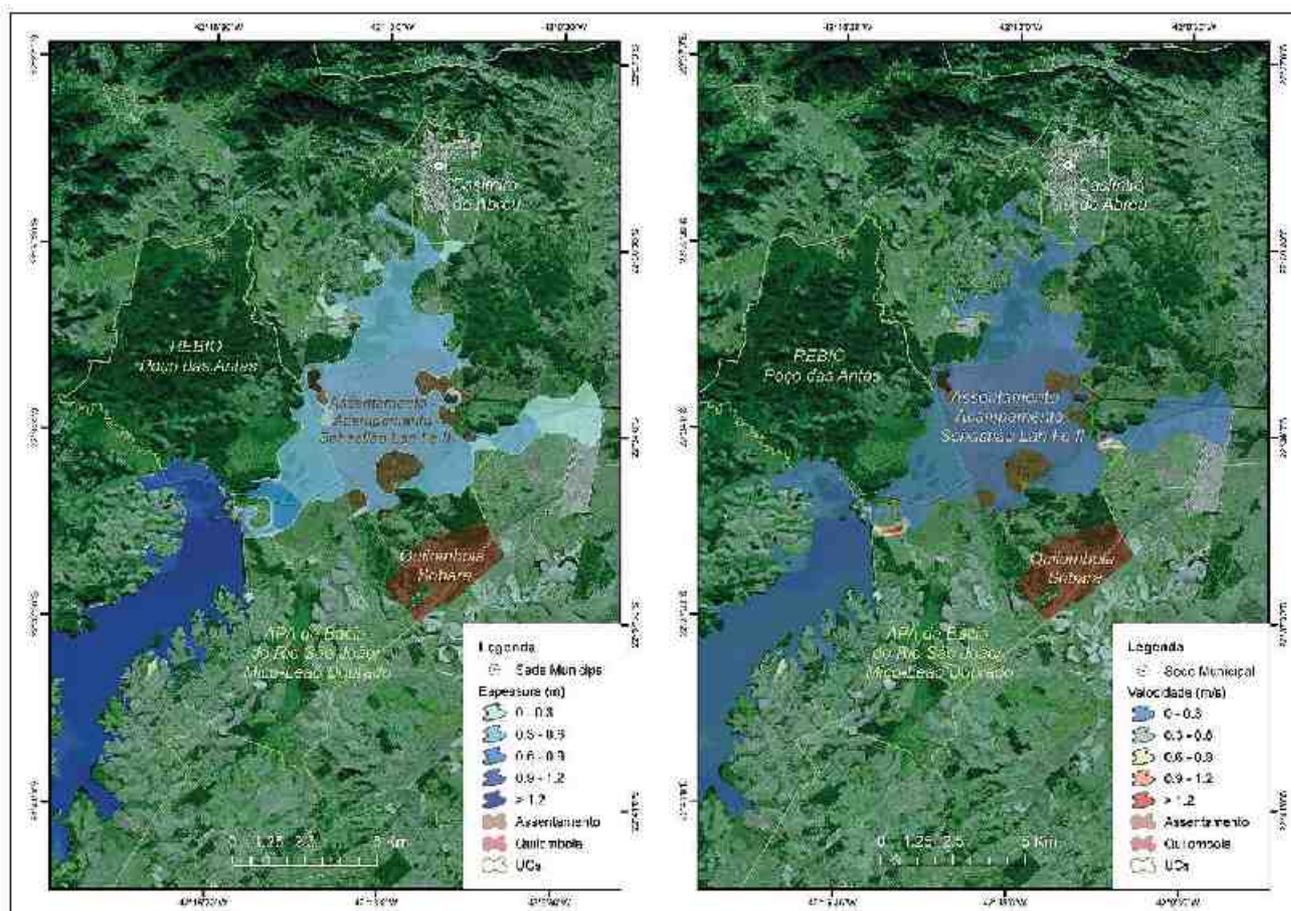


Figura 9 Cenário de rompimento após as primeiras 24 horas.

do terreno, de modo a representar a influência dessa variação na velocidade do escoamento e na composição da mancha de inundação.

7 Referências

- ANA. 2016. Agência Nacional de Águas. *Guia de orientação e formulários do Plano de Ação de Emergência - PAE*. Relatório, vol. IV. Brasília. 129 p.
- BRASIL. 2010. Lei 12.334. Política Nacional de Segurança de Barragens. Presidência da República. *Diário Oficial da União*, nº 181, 21 set., Seção 1. Brasília, p. 1-3.
- CILSJ. 2003. Consórcio Intermunicipal Lagos São João. *Bacias Hidrográficas dos rios São João e das Ostras: águas, terras e conservação ambiental*. Relatório, 192p. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.oads.org.br/files/109.pdf>> Acesso em: 19 nov 2018.
- Collischonn, W. & Tucci, C.E.M. 1997. Análise do rompimento hipotético da barragem de Ernestina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(2): 191-206.
- Cruz, P.T. 1983. *A Barragem de Juturnaiba – Breve história com ilustrações*. Relatório Rio de Janeiro 53 p. (Cópia autenticada do Acervo do Arquivo Nacional).
- Cunha, S.B. 1995. *Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro-Brasil)*. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa 415 p.
- EMBRAPA. 2010. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Aptidão agrícola de adequação de uso das terras do assentamento-acampamento Sebastião Lobo I e II*. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 34 p.
- Fernandes, M.C. & Menezes, P.M.L. 2005. Avaliação de métodos de geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real: um estudo de caso no maciço da Tijuca-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Anais, Goiânia, p. 16-21.
- IBGE. 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estado do Rio de Janeiro - 1:25.000: Base Cartográfica Contínua da Unidade da Federação do Rio de Janeiro na escala de 1:25.000*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/novoportal/cartas-enapas/bases-cartograficas-continuas/15807-estados.html?edicao=16037>>. Acesso em dez 2018.
- IBGE. 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico - Tabela 1378 - População residente, por situação do domicílio, sexo e idade, segundo a condição no domicílio e compartilhamento da responsabili-*

- dade pelo domicílio. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1378>> Acesso em: 19 nov. 2018.
- INCRA. 2016. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Incra/RJ se reúne com agricultores para discutir regularização no PDS Sebastião Lan II*. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/noticias/incrarj-se-reune-com-agricultores-para-discutir-regularizacao-no-pds-sebastiao-lan-ii>> Acesso em: 19 nov. 2018.
- Lauriano, A. W. 2009. *Estudo de ruptura da Barragem de Finil: Comparação entre modelos FLDWAV e HEC-RAS*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 193 p.
- Morris, M. W. 2000. *CADAM - Concerted Action on Dam-break Modelling - Report SR 571*. HR. Wallingford. England. 46 p.
- Neto, L. V. 2016. *Estudo de ruptura da Barragem da Pampulha, em Belo Horizonte: Retroanálise da brecha do acidente de 1954 e ruptura hipotética nas condições atuais*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 304 p.
- Noronha, G. C. 2009. *Avaliação hídrica do Lago de Juturnaíba como alternativa de abastecimento de água do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - COMPERJ*. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) – Laboratório de Tecnologia, Gestão em Negócios e Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 64 p.
- PROLAGOS. 2018. Concessionária de Serviços Públicos de Água e Esgoto. *Contrato de Concessão*. Disponível em: <<http://www.prolagos.com.br/arquivos/contrato-concessao-prolagos.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- Rocha, M. A. G. H. & Miranda Neto, M. I. 2018. Classification of the Juturnaíba Dam: Potential Risk and Damage. *Journal of Water Resource and Protection*, 10: 1-19.
- Rubis, A. M. 2006. *Clasificación de presas y evaluación del riesgo con programa HEC-RAS*. 2006. Tesina (Engenharia hidráulica, marítima i sanitària. Embassaments i preses) - Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 92 p.
- SEC. 2018. Secretaria de Estado de Cultura. *Quilombo de Sobara - Patrimônio Imaterial - Aracama*. Disponível em: <<http://mapadecultura.rj.gov.br/manchete/quilombo-de-sobara-1>>. Acesso em: 19 nov. 2018.
- SNIS. 2016. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016*. Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 17 nov. 2018.
- USACE. 2014. U.S. Army Corps of Engineers. *Using HEC-RAS for Dam Break Studies*. Training Document. Davis, California. 74 p.