



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

## USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO SUBSÍDIO À ANÁLISE DE DANOS AMBIENTAIS E URBANOS

Geração dos mapas de potencial de impacto  
de inundação em caso de rompimento da  
UHE Santa Branca

Camila, SOUZA<sup>1</sup>; Luis Felipe, REGO<sup>2</sup>; Rafael, NUNES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, Light Energia S/A, Av. Marechal Floriano 168 – Centro - Rio de Janeiro – Brasil, camilasouza@id.uff.br, +55 21 999959597

<sup>2</sup> PhD em Recursos Naturais, PUC-RIO, R. Marquês de São Vicente, 225 – Gávea - Rio de Janeiro – Brasil, luizfelipeguaes@gmail.com, +55 21 993895597

<sup>3</sup> Msc. em Geografia, PUC-RIO, R. Marquês de São Vicente, 225 – Gávea - Rio de Janeiro – Brasil, rsngео@hotmail.com, + 55 21 994774049

### Resumo

Diante das intervenções humanas relacionadas aos barramentos de rios para inúmeros fins (controle hídrico, produção de energia, entre outras) verifica-se os riscos associados às populações que vivem a jusante destas áreas. O entendimento das possíveis consequências ambientais deste tipo de ocorrência promove a emergência de se avaliar as áreas impactadas, permitindo-se desta maneira a promoção de ações (estruturais ou estruturantes) que visem minimizar o efeito no caso de acidentes. Este estudo visa avaliar e correlacionar os impactos associados às inundações provenientes das rupturas dos barramentos de rios através de um estudo de caso (Reservatório de Santa Branca/SP), a partir de dados obtidos por modelagem hidrológica e de técnicas de geoprocessamento. Como resultado, torna-se possível avaliar não apenas as áreas impactadas pelo rompimento do barramento estudado, mas também avaliar as áreas que apresentariam maiores velocidades (acarretando riscos materiais à população) e também verificar as porções territoriais mais passíveis de sofrerem algum tipo de intervenção pública. As variáveis estudadas, com o intuito de minimizar os impactos, foram: arborização, pavimentação e boca de lobo. Estas, foram comparadas par a par através do método de tomada de decisões Analytic Hierarchy Process (AHP), e concluiu-se que a variável que mais ajuda a minimizar o impacto é a arborização. Devido a modelagem hidrológica foi possível encontrar uma vazão de pico de 77.8855,045 m<sup>3</sup>/s para um tempo de ruptura de 2,5h e verificar que a mancha de inundação abrange as seguintes cidades a jusante da barragem: Santa Branca, Guararema e Jacareí, atingindo o total aproximado de 32.590 habitantes.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; inundações; reservatórios; AHP; mapa potencial

**Tema:** Hidrologia, hidráulica fluvial e obras hidráulicas



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações sempre foram um grande problema hidrológico. Fatores como, a impermeabilização do solo, desmatamento, adensamento populacional desordenado, variações climáticas, entre outras, passaram a ser determinantes para definir a suscetibilidade de enchente. Atualmente, as cheias estão ocorrendo em grande escala no Brasil e no mundo, trazendo elevados prejuízos sociais e econômicos para as cidades.

Ward (1978) descreve as inundações como sendo uma das mais dramáticas interações entre homem e o seu ambiente, enfatizando tanto a força dos eventos naturais, como os esforços insuficientes para controlá-lo. E destaca que os próprios homens se expõem ao risco ao se instalar nas planícies de inundação ou locais suscetíveis a inundações. Mesmo tendo uma baixa probabilidade de eventos, porém, com efeitos devastadores, acendeu o interesse dos organismos responsáveis pela segurança e proteção civil a estudar e planejar soluções de mitigação dos seus efeitos. Saber conviver com as inundações através da mitigação dos seus impactos adversos é uma medida que deveria ser adotada pela sociedade civil e órgãos públicos, através de um planejamento urbano e ambiental interligados.

Um Programa de Ações Emergenciais (PAE), descrito detalhadamente na Lei Federal nº 12.334, de 2010 (BRASIL, 2010), prevê a evacuação da população ribeirinha instalada a jusante e minimização dos prejuízos associados no caso de ocorrência de ruptura de barragem localizada a montante; deve conter o mapa da planície de inundação, cuja execução baseia-se na previsão e cálculo de cotas máximas inundadas, velocidades e descargas resultantes da ruptura de uma barragem no vale a jusante.

O mapa de inundação é um dos instrumentos do Programa de Ações Emergenciais (PAE), que agiliza os procedimentos de evacuação a serem tomados caso ocorra uma inundação. Para a criação destes mapas, este trabalho utilizou de modelos matemáticos juntamente com as geotecnologias construindo uma modelagem hidrológica mais precisa da bacia hidrográfica.

Com isso, a tomada de decisões pode ser facilitada, minimizando os impactos decorrentes de uma grande tragédia, que seria, no caso estudado, a inundação oriunda do rompimento de uma barragem. As técnicas avançadas de modelagem hidrológica tornaram-se viáveis, porque agora a geração e manipulação de dados podem ser feitas com eficiência por meio de operações espaciais em um SIG (Sistema de Informação Geográfica), não só economizando tempo e esforço, como também, melhorando a precisão em relação aos métodos tradicionais. (USACE, 2010, p. 246)

Voltado para área de gestão de recursos hídricos e hidráulica fluvial, este artigo visa demonstrar os efeitos de rompimento da barragem de Santa Branca, localizada no estado de São Paulo, que é uma das barragens da Light Energia S/A. Esta análise se apoiará na confecção de mapas potencial de inundações visando mitigar e auxiliar na segurança da população instalada na área de influência da mesma. A barragem de Santa Branca está localizada no rio Paraíba do Sul – Santa Branca - SP. Esta represa junto com a de Funil (RJ), Jaguari (SP) e de Paraibuna (SP) abastecem cidade do Rio de Janeiro - Brasil.

Atualmente, devido à falta de uma melhor organização de gestão de recursos hídricos e planejamento da cidade, o município de Santa Branca passa por severos problemas quando ocorre uma cheia. Nas margens do rio Paraíba do Sul ocorreu um crescimento irregular de

casas a jusante da barragem causando maiores desastres em períodos com altos índices pluviométricos.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Modelagem Hidrológica**

Ultimamente, a integração entre modelos hidrológicos e o sistema de informação geográfica vem se fortalecendo ainda mais, principalmente, na criação de mapas de inundações. Já que, estas são duas importantes ferramentas para a integração e visualização dos dados de tipos e formatos diferentes. O programa utilizado para a modelagem hidrológica/hidráulica deste trabalho foi o HEC-RAS. Através dele foi criada uma mancha de inundação em caso do rompimento da barragem.

A versão utilizada para este trabalho foi a 5.0 e o modelo utilizado para a criação da mancha de inundação foi o modelo 2D, por ser um modelo mais fácil de se utilizar e por ser melhor aplicado para estudos específicos em trechos de rios como, por exemplo, em estudos de ruptura de barragem e projetos de estruturas hidráulicas onde pode ser observado a ocorrências de diferentes tipos de escoamento, variações relevantes na profundidade e velocidade, e outras características que impedem o uso das simplificações impostas para simulação em modelos 1D.

Para a utilização do modelo hidráulico em bidimensional é necessário um modelo digital de terreno. Com isso, foi utilizada uma foto aerofotogramétrica com um GSD (Ground Sample Distance) de 40 centímetros aliada a uma batimetria realizada com sistema ecobatímetro e DGPS.

Em relação à geração dos hidrogramas de ruptura, utilizou-se o módulo de “Dam Break” integrante do software HEC-RAS, que é aceito internacionalmente como um software adequado para esse propósito.

### **2.2 O método AHP**

A metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) foi criada por Thomas Saaty visando auxiliar na tomada de decisão e tem as seguintes virtudes: a) é aplicada a problemas com múltiplos atributos ou critérios hierarquicamente estruturados; b) analisa atributos quantitativos e qualitativos, incorporando a experiência e a preferência dos decisores; c) ordena a importância dos atributos e das alternativas; d) pode ser utilizada em situações complexas que exigem julgamentos subjetivos. É adequada para absorver e lidar com os julgamentos inconsistentes dos especialistas, sugerindo uma melhor avaliação do problema (Saaty, 1980; 1991).

Quando é estabelecido as prioridades da hierarquia, define-se seus valores através de comparações dois a dois dos critérios quanto a sua importância para critério ou objetivo. Na tabela 1, é possível ver os conceitos de pesos utilizados no AHP.

**Tabela 1** Escala Fundamental

Intensidade de Importância	Definição de Importância	Explicação
1	Mesma	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
2	Intermediário	
3	Pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
4	Intermediário	
5	Grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
6	Intermediário	
7	Muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra
8	Intermediário	
9	Absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza

**Fonte:** Saaty, 1991, p.68

Na comparação par a par, quando o tomador de decisão exprimir sua preferência por um critério “A”, como sendo o mais importante do que “B” para a realização de um critério imediatamente acima da hierarquia, estará atribuindo para o critério “A” peso 5. Na matriz de cálculo dos vetores, o peso recíproco de 1/5 será atribuído para o critério “B”.

O local onde está situada a área de estudo, já possui um histórico de ocupações em que alguns fatores influenciaram na ocorrência de inundações, sendo eles: ocupações irregulares, e loteamentos urbanos, o que pode ser entendido como alguns fatores que são responsáveis pela impermeabilização do solo, e como resultado a ocorrência de inundações.

No nosso objeto de estudo, a inundação iria ocorrer independente dessas ocupações irregulares, devido ao rompimento da barragem. Porém, o que se pretende apresentar nos mapas criados é como a presença ou ausência de estruturas como arborização, bueiros e pavimentação, afetou nas áreas mais atingidas pelo escoamento superficial.

Os dados a seguir foram retirados dos setores censitários do IBGE para o ano de 2010. Foi feita uma análise de multicritérios pelo método AHP para dar a importância devida a cada variável. A matriz de comparação pareada desenvolvida é apresentada conforme a Tabela 2.

**Tabela 2** Matriz de comparação dos fatores

Fatores	pav_rec	bue_rec	arb_rec	Pesos
pav_rec	1	3	5	0.6843
bue_rec	1/3	1	2	0.2296
arb_rec	1/5	1/2	1	0.122

De acordo com a matriz AHP gerada a melhor combinação é a pavimentação, esta é considerada fortemente mais importante do que a arborização, portanto, o valor 5 foi atribuído a posição correspondente da matriz. A posição transposta recebe automaticamente um valor recíproco, que, neste caso, é de 1/5, ou seja, 0,2.

Após a obtenção dos pesos de cada fator, atribui-se os valores conforme a Equação 1, para elaboração do mapa de potencial inundação.

$$PI = 0,6843 Pav + 0,2296 Bue + 0,122 Arb \quad (1)$$

Onde:

PI = mapa potencial de Inundação;

Pav = Pavimentação

Bue = Bueiro

Arb = Arborização

A álgebra de mapas foi realizada no software ArcGIS, com base na equação (1). Os pesos utilizados no processo foram mesmos obtidos no AHP para cada parâmetro. Como já dito anteriormente, do ponto de vista do AHP, o grau de consistência desejável de qualquer matriz de comparação é que seja inferior a 0,10. O grau de consistência encontrado foi de 0,0035.

### 2.3 Geotecnologias e suas aplicações

As geotecnologias são as principais ferramentas que podem ser utilizadas na gestão de riscos. Estas são representadas pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto, Aerofotogrametria e o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Com as geotecnologias é possível fazer a coleta e armazenamento de dados, devido a isso a análise de dados é feita em grande escala e com uma melhor visualização espacial.

O Sistema de informações Geográficas (SIG) utiliza técnicas matemáticas e computacionais para fazer uma melhor análise e ter assim uma melhor representação espacial dos seus dados. Ele oferece aos seus administradores uma ampla visão do seu projeto, com informações facilmente encontradas sobre um determinado assunto e inter-relacionadas com a sua localização geográfica.

Esta tecnologia vem sendo usada ultimamente, em larga escala, para tomadas de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, podendo ajudar os administradores públicos na gestão do espaço urbano. É importante ressaltar que um SIG é uma ferramenta que descreve as formas e a estrutura da paisagem em um ou vários momentos, cabendo ao analista geográfico a interpretação e a derivação das funções e dos processos subjacentes, permitindo o entendimento do conjunto expresso pelo espaço geográfico (GUANAES, 2007).

### 2.4 Mapas de potencial Inundações

O controle de cheias pode ser feito através de meios estruturais e não estruturais como alternativa para o fornecimento de proteção contra enchente e redução de riscos e importância de danos causados. As medidas estruturais são fundamentalmente construtivas e projetadas especificamente para o controle de enchente. As medidas não estruturais objetivam a melhor convivência da população com as enchentes e consistem em regulamentos que disciplinam os usos do solo, tipos de construção viáveis, seguros e sistemas de alerta.

Segundo TUCCI (2003), o zoneamento das áreas de inundação engloba as seguintes etapas:

- a) Determinação dos riscos das enchentes;
- b) Mapeamento das áreas de inundação; e,
- c) Zoneamento.

A base de dados necessária para mapear as áreas de inundação são os dados geométricos da bacia e dados sobre o escoamento (podendo estes dados serem obtidos de diversas formas, de acordo com o tempo e a disponibilidade econômica). Para evoluir com os mapas é necessário saber as vazões para o tempo de retorno, a partir de dados confiáveis e consistidos.

Os dados de vazão que são utilizados correspondem a dados obtidos por modelos hidrológicos, de acordo com o período de retorno a ser utilizado e da duração da precipitação. Em relação os dados de níveis de inundação, normalmente são obtidos através de modelos hidráulicos que, a partir de escoamento permanente ou não permanente e dados geométricos da área estudada, definem quais são os níveis de inundação para cada uma das vazões desejadas.

Normalmente, os mapas de inundações são formatados com ajuda de uma ferramenta de geoprocessamento que pode congrega um número grande de informações, além dos níveis, tais como: vegetação, hidrografia, etc.

### **3. ESTUDO DE CASO – RESERVATÓRIO DE SANTA BRANCA**

#### **3.1 Área de Caracterização**

A cidade de Santa Branca está situada no Vale do Paraíba, a 91 km da capital São Paulo (SP). Fundada em 22 de maio de 1832, a cidade ainda preserva parte de sua arquitetura, especialmente no centro da cidade e nas fazendas mais antigas. A cidade está a uma altitude de 800m e segundo o censo de IBGE (2010), possui 13.770 habitantes.

Ela é cortada pelo rio Paraíba do Sul e abriga a represa de Santa Branca, objeto de estudo, que é operada pela Light Energia com a finalidade de produção de energia e de controle do nível de águas do rio. Segundo IBGE (2010), a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul localiza-se entre os paralelos 20º e 24º de latitude sul e os meridianos 41º e 47º de longitude oeste, drenando aproximadamente 55.500 km<sup>2</sup> em áreas pertencentes aos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

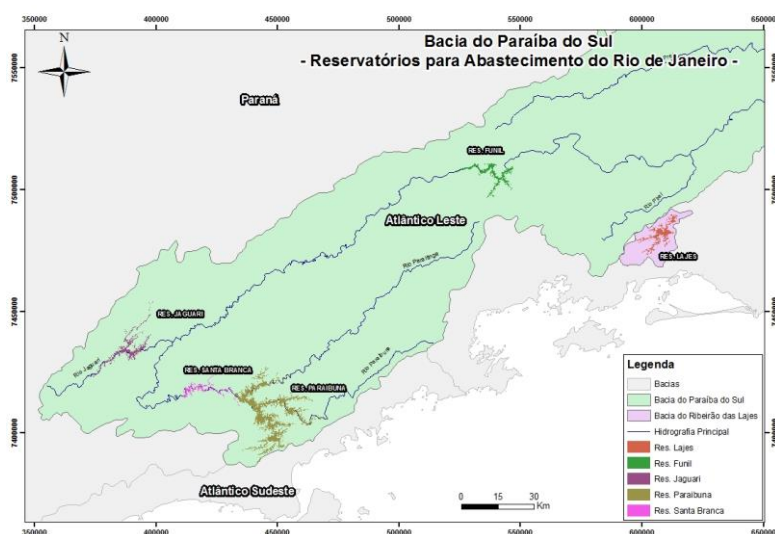
A Bacia do Paraíba do Sul é uma das bacias mais industrializadas do Brasil. Ela faz parte do sistema da Light Energia e abrange inúmeros municípios que dependem essencialmente dos recursos hídricos disponíveis com as devidas regularizações impostas pelos reservatórios das usinas hidrelétricas existentes. O Ribeirão das Lajes junto com o rio Piraí, formam o sistema Guandu, que serve como manancial para abastecimento público da maior parte da população do estado do Rio de Janeiro.

A população total da bacia, segundo a contagem do IBGE de 2010, é de 6,5 milhões de habitantes, 87% dos quais vivem nas áreas urbanas. Geograficamente, a represa de Santa Branca situa-se no limite político-administrativo dos municípios de Santa Branca, Jacareí, Jambeiro, Paraibuna (Figura 1).



Estes municípios totalizam uma população de aproximadamente 214.734 habitantes, com destaque para o município de Jacareí com mais de 96% desse total.

O reservatório de Santa Branca faz parte do complexo de usinas hidroelétricas pertencente à Light Energia S/A. O reservatório situado nas cabeceiras da bacia, sendo a segunda usina na bacia do rio Paraíba do Sul. A Usina teve o seu reservatório construído em 1959, com a finalidade de regularização das vazões do rio Paraíba do Sul para a transposição em Santa Cecília. No entanto, em 1999 iniciou-se o seu aproveitamento hidrelétrico com a implantação da Usina Hidrelétrica de Santa Branca, que incorporou ao parque gerador da companhia 57MW de potência instalada. A represa de Santa Branca possui atualmente um volume útil de 307,30 hm<sup>3</sup> na cota 622,00m e na sua cota máxima maximorum que é 623,40m possui o volume de 469,84 hm<sup>3</sup>.



**Figura 1** Bacia do Paraíba do Sul

**Fonte:** Autor próprio

#### 4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 4.1 Mapas de Potencial de Inundações

Através da modelagem hidrológica foi gerada a mancha de inundação e esta foi sobreposta no mapa da região da barragem de Santa Branca. É possível perceber que em caso de rompimento da barragem as cidades que serão afetadas são: Santa Branca, Guararema e Jacareí.

Para encontrar a mancha de inundação no HEC-RAS, foi considerado um evento de cheia extremo e, para tal, foi utilizada uma vazão com tempo de retorno de 1000 anos. O colapso da estrutura ocorre no momento do pico de vazão, de 77855,045 m<sup>3</sup>/s em um tempo de ruptura de 2,5h.

Os mapas produzidos foram feitos através de dados disponibilizados pelo censo do IBGE (2010) para contabilização de domicílios, pavimentação, saneamento e arborização na região. Primeiramente, foi feito um buffer de 3km para delimitar a área de influência da mancha de inundação. Depois, os dados foram reclassificados de 1 a 5, sendo 1 o pior caso e 5 o melhor.

Na figura 3-A é possível perceber que a região por onde a inundação atinge, tem acima de 60% de área arborizada. Isso ajudará a segurar a cheia no rompimento, diminuindo os impactos na região.

Porém, alguns impactos vêm junto com a arborização, impactos estes como: entupimento de calhas e rede de drenagem pela queda das folhas, interferência na iluminação, entre outros, aumentando assim os custos com manutenção. Por isso, deve-se fazer uma coleta de resíduos de varrição (galhos e folhas) e poda eficientes na região, ajudando assim em um melhor funcionamento do sistema de drenagem.

Ademais, a água tem três caminhos a seguir: evaporação, infiltração e escoamento superficial. Quando as chuvas são muito intensas e a umidade é elevada, praticamente não há evaporação e, com a impermeabilização dos solos (com asfaltos e calçadas), o escoamento superficial tende a aumentar intensificando o poder das enchentes.

A figura 3-B mostra que as cidades de Guararema e Jacareí já estão bem evoluídas na parte de pavimentação de rua, estando estas acima de 60% pavimentadas. Como a impermeabilização é um agravante para o escoamento superficial, isso acaba acelerando o pico de uma cheia. Como mitigação, seria necessário que a cidade colocasse pavimentação permeável, facilitando a infiltração na área.

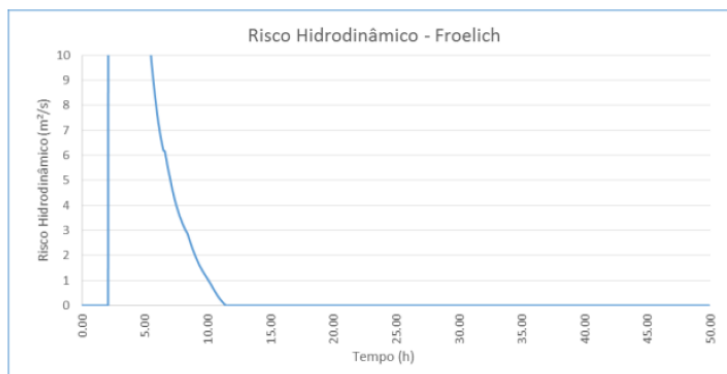
O problema da pavimentação das ruas e a cimentação de quintais e calçadas poderia ser amenizado se ocorresse uma correta instalação de sistemas de drenagem, que são meios para ajudar a conter ou a escoar o curso das enxurradas por meio de “bueiros”, “piscinões” ou dutos para levar o excesso de água para outra localidade. Porém, geralmente esses sistemas são ineficientes e mal construídos.

A figura 3-C demonstra que a quantidade de bueiros existente na região é pouca, ficando boa parte abaixo de 60%. Além disso, como boa parte desses bueiros, provavelmente, não tem uma manutenção adequada, seria necessário fazer um estudo de coleta de resíduos da cidade. Com isso, evitaria que grande parte dos resíduos sólidos sejam carregados em período de cheia dificultando ainda mais a drenagem.

Através da modelagem hidrológica (baseado no HEC-RAS) foi possível gerar um raster com os dados contidos no hidrograma de ruptura da barragem. Com isso, foi criado o mapa de arrastamento, figura 3-D, que nada mais é que o Risco hidrodinâmico. Segundo Balbi (2008), a capacidade da cheia de provocar danos a pessoas, animais ou bens materiais é relevante e tal ameaça pode ser conferida ao Risco Hidrodinâmico que compreende o produto da profundidade da inundação (m) e a velocidade do fluxo (m/s).

O hidrograma abaixo, figura 2, mostra o comportamento da onda a distância de 10km a jusante da barragem. Foi verificado um alto valor nesta combinação, considerando que, de acordo com a tabela 3, valores acima de 7 tem potencial para destruir edificações (os picos chegam a 100~150 m<sup>2</sup>/s).





**Figura 2** Risco Hidrodinâmico - método Froelich

**Fonte:**Light

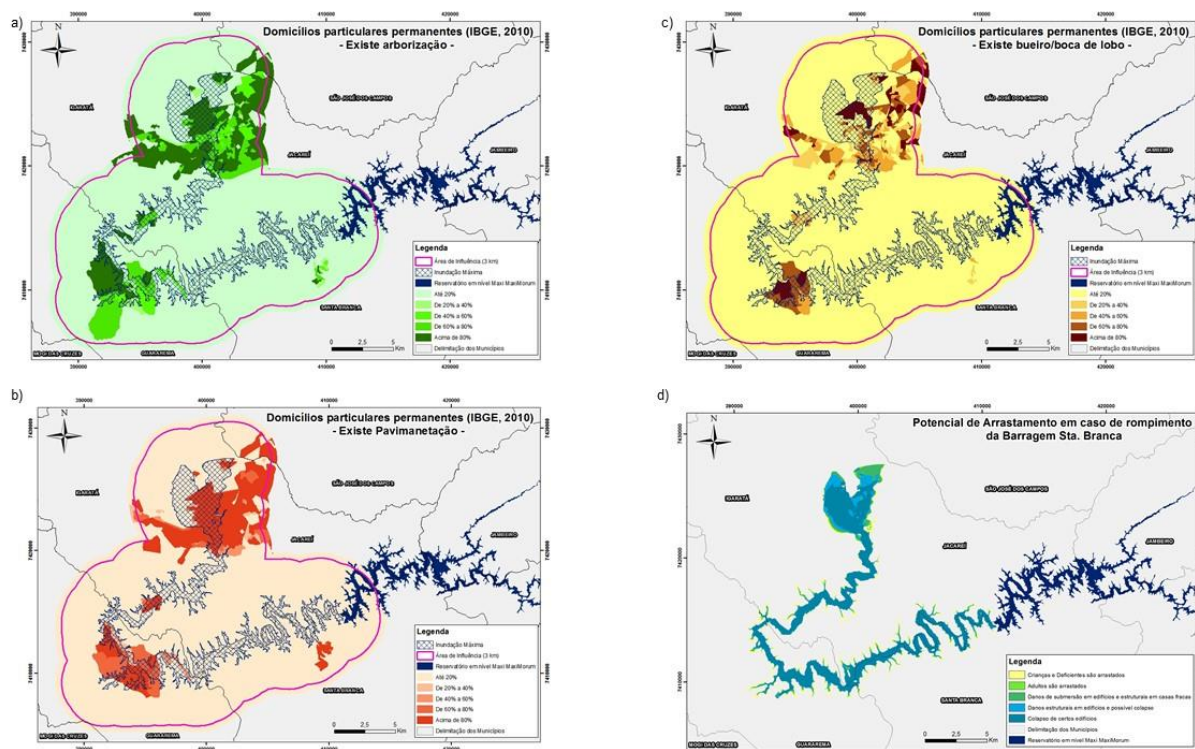
Na figura 3-D é apresentado o mapa de risco hidrodinâmico no instante final do tempo em potencial de alerta à zona de auto salvamento, para o trecho em questão. É possível perceber que existe uma grande possibilidade de o rompimento da barragem causar danos severos em quase todas as áreas que a cheia irá percorrer. De acordo, com o parâmetro da tabela 3, na maior parte da área chegará a ter colapso de edifícios.

**Tabela 3** Definição das consequências do risco hidrodinâmico

Parâmetro $HxV$ ( $m^2/s$ )	Consequências
<0.5	Crianças e deficiente são arrastados
0.5 até 1	Adultos são arrastados
1 até 3	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas fracas
3 até 7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7	Colapso de certos edifícios

**Fonte:** Balbi, 2008 apud SYNAVEN et al., 2000

**Fonte:** Autor Próprio

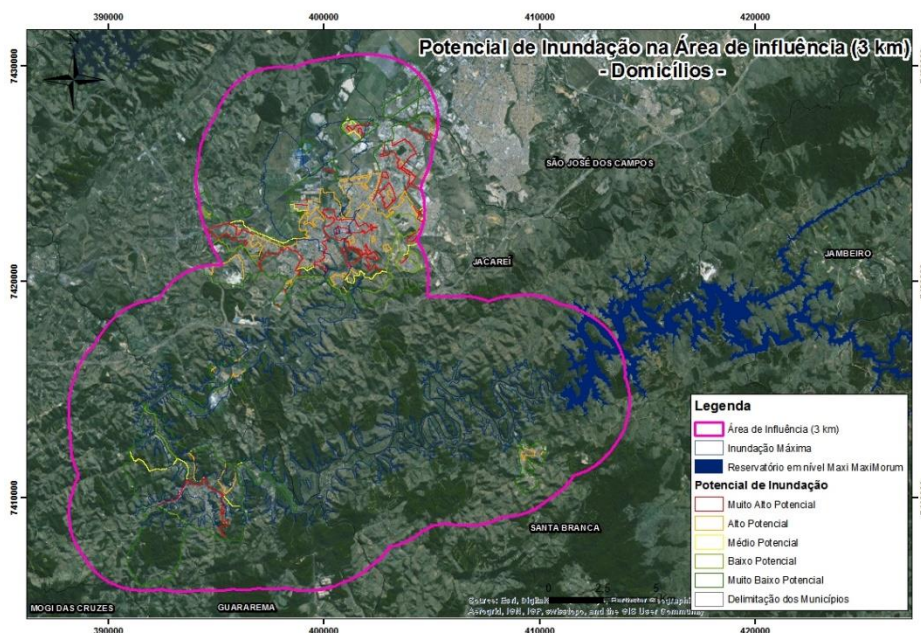


**Figura 3** Domicílios particulares permanentes: a) existe arborização;b) existe pavimentação; c) existe bueiro;d) potencial de arrastamento

O mapa de potencial de Inundação é o produto final dessa dissertação, ele foi desenvolvido através do algoritmo encontrado pelo método AHP unindo as variáveis de domicílios permanentes com pavimentação, arborização e bueiros, de acordo com IBGE 2010. Foi feito um buffer de 3 km da mancha de inundação e as variáveis citadas, foram reclassificadas de 1 a 5, tabela 4, sendo a classificação 1 com (Muito Baixo Potencial) como o melhor cenário e a classificação 5 (Muito Alto Potencial) como o pior cenário, ou seja, um grande aglomerado de domicílios.

**Tabela 4** Tabela Reclassificação

Porcentagem	Pavimentado	Bueiro	Arborização
Até 20	1	5	5
De 20 a 40	2	4	4
De 40 a 60	3	3	3
De 60 a 80	4	2	2
De 80 a 100	5	1	1



**Figura 4** Mapa de Potencial de Inundação

**Fonte:**Autor próprio

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho foi realizado com o intuito de identificar os pontos críticos provocados pela onda de cheia nos municípios de Guararema, Jacareí e Santa Branca. Com base nos resultados obtidos e apresentados, foi possível realizar uma análise e chegar a conclusões de quais seriam alguns dos efeitos de um rompimento da barragem nos moldes projetados. A simulação retratou como seria o comportamento da inundação a jusante da barragem se viesse a ocorrer o seu rompimento, considerando o volume de água liberado no caso do reservatório em seu nível máximo.

De acordo com os resultados apresentados no item 4, é possível concluir que é inevitável a destruição de algumas áreas caso ocorra o rompimento da barragem, ao total serão, aproximadamente, 32.590 habitantes atingidos. As variáveis estudadas, não acabariam com a destruição causada por uma cheia de grande porte, como é a cheia por rompimento de barragem. Porém, essas variáveis seriam úteis para aumentar o tempo de ruptura, já que no caso da UHE Santa Branca o tempo para a vazão de pico de 77.855,045 m<sup>3</sup>/s foi de apenas 2,5h.

Se medidas estruturais fossem melhoradas/construídas na região está destruição poderia ser amenizada. A melhoria da drenagem de uma cidade se dá com: a arborização, construção de bueiros adequados, a utilização de uma pavimentação infiltrável e em alguns casos a construção de reservatórios de retenção para segurar uma grande cheia é necessário.

Ademais, através dos resultados obtidos no estudo realizado foi possível concluir que o método AHP, aliado a técnicas de geoprocessamento se torna uma ferramenta bastante útil, facilitando a estruturação de problemas, e a modelagem matemática, além de auxiliar em processos de decisão complexos. Grande parte dos problemas relacionados com inundações, podem ser trabalhados através do SIG escolhido, e através dele processar, armazenar e editar uma grande quantidade de dados espaciais, com agilidade e de forma econômica.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBI, Diego A.F. (2008). **Metodologia para a Elaboração de Planos de Ação Emergencial para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de caso: Barragem de Peti-MG.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

BRASIL. **Política Nacional de Segurança de Barragens. Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm)>. Acesso em: novembro de 2016.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=330400&search=%7Cpirai>> Acesso em 11 de janeiro de 2017.

**LIGHT ENERGIA S/A.** Dados internos da empresa. Rio de Janeiro, 2016.

GUANAES, LUIZ FELIPE. **Paisagem, Espaço e Sustentabilidade: Uma perspectiva multidimensional da Geografia.** Editora PUC, Rio de Janeiro, 2007, 83p.

SAATY, T.L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process.** New York: McGraw-Hill.

SAATY, T.L. (1991). **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo, Editora Makron.

TUCCI, C.E.M., **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: UFRGS, 2003.

US Army Corps of Engineers-USACE. **HECgeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS Using ArcGIS - User's Manual. Hydrologic.** Engineering Center, Davis, CA, USA. 2009b. 246 p. Disponível em: < <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/>>. Acesso em: 26 de dezembro 2016.

WARD, R. **Floods: A Geographical Perspective.** 1. ed. New York: John Wiley & Sons. 1978. 244 p.