



## **XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES EM RESPOSTA A DIFERENTES PRECIPITAÇÕES PARA O TRECHO URBANO DO RIO TRACUNHAÉM NO MUNICÍPIO DE NAZARÉ DA MATA/PE**

*Edinilson de Castro Ferreira<sup>1</sup>; Gastão Cerquinho da Fonseca Neto<sup>2</sup> & Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>3</sup>*

**RESUMO** – A modelagem hidráulica computacional de rios em áreas urbanas vem tornando-se uma ferramenta de grande importância na determinação de áreas de risco de inundação nas cidades, a fim de dar suporte aos planos de ordenamento e organização do município. No presente texto é feita uma avaliação das áreas sujeitas a inundação para diferentes tempos de retorno (10, 50 e 100 anos) classificando-as como áreas de alto, médio e baixo risco de inundação no rio Tracunhaém no município de Nazaré da Mata/PE. A modelagem hidrológica foi realizada com auxílio de ferramentas de geoprocessamento (*ArcMap 10.1*) para a delimitação da bacia de contribuição e com o software *ABC 6*. Para a modelagem hidráulica do rio utilizou-se o software *HEC-RAS 5.0* e o *HEC-GeoRAS*. Com auxílio do *HEC-RAS* foi simulada uma possível obra de dragagem na calha principal do rio, que para efeito de controle de inundação na região, não apresentou bons resultados o que reforça a necessidade do zoneamento e desocupação das áreas de alto risco no processo de planejamento urbano.

**ABSTRACT**– The computational hydraulic modeling of rivers in urban areas is becoming a very important tool of flood risk areas determination in cities in order to support the development plans and municipal organization. This text is made an assessment of flood-prone areas for different return periods (10, 50 and 100 years) classifying them as high areas, medium and low flood risk in Tracunhaém river in the Nazaré da Mata/PE city. Hydrological modeling was performed using geoprocessing tools (*ArcMap 10.1*), for the delimitation of the contribution basin, and *ABC 6* software. For hydraulic modeling of river used the *HEC-RAS 5.0* software and the *HEC-GeoRAS*. With the help of *HEC-RAS* was simulated a possible work of dredging the main channel of the river, to flood control effect in the region, did not show good results which reinforces the need for zoning and evacuation of high-risk areas in the process urban planning.

**Palavras-Chave** – Inundações urbanas, modelagem hidráulica e hidrológica.

1) Mestrando UFPE - CTG. Av. Prof Moraes Rego, 1235- Cidade Universitária, Recife - PE, 81 2126-8200, edinilsoncastro@hotmail.com

2) Graduando UFPE - CTG. Av. Prof Moraes Rego, 1235- Cidade Universitária, Recife - PE, 81 2126-8200, gastaocerquinho@gmail.com

3) Professor da UPE e da UFPE. Av. Prof Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, jcabral@ufpe.br

## INTRODUÇÃO

Nazaré da Mata é um município localizado na Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco. Em 2011, após chuvas intensas, o rio Tracunhaém que atravessa a cidade teve uma cheia que o fez transbordar sua calha e gerou alagamentos em vários pontos da cidade. O trecho urbano do rio Tracunhaém que passa por Nazaré da Mata tem aproximadamente 1.520m e em toda sua extensão os moradores ribeirinhos tiveram suas casas invadidas, representando perdas materiais e danos à infra-estrutura da cidade. Estima-se, a partir de dados fluviométricos do local, que o tempo de retorno desse evento foi próximo de 100 anos. Há registros de fortes cheias também em outros anos, mas que segundo moradores da região não causaram tal estrago.

O presente artigo visa delimitar as áreas de risco de inundação em Nazaré da Mata através da análise de propagação de vazão do trecho urbano do rio Tracunhaém e avaliar o benefício de uma dragagem, que aprofundaria o leito do rio em 2 metros.

## ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Goiana está localizada na região da Zona da Mata Setentrional do Estado de Pernambuco-Brasil, possui uma área total de aproximadamente 2.847 km<sup>2</sup> correspondendo a cerca 2,90% do estado. A rede hidrográfica da bacia tem como cursos d'água principais os rios Capibaribe-Mirim, Siriji, Tracunhaém e Goiana. A área específica do estudo corresponde a um trecho do rio Tracunhaém que atravessa o perímetro urbano de Nazaré da Mata/PE. A sub-bacia que contribui para esse trecho possui uma área de 692 km<sup>2</sup>, que corresponde a 24,3% da bacia do Rio Goiana. O rio Tracunhaém possui uma extensão total de cerca de 127 km e tem como afluentes principais os rios Orobó, Ribeiro, Acaú e riachos Pagé e Paissandu.

No alto e médio curso do rio Goiana, regiões mais próximas ao sertão, o clima é quente e seco, com período chuvoso de fevereiro a junho. No sub-médio, a estação chuvosa se estende de março a julho. Já o baixo curso, localizado na zona da mata e região litorânea, apresenta um clima quente e úmido com média pluviométrica acima de 1000mm anuais, com período chuvoso de março a agosto.

Tabela 1- Meses mais chuvosos por região da bacia

|              | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Alto e médio |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Sub-médio    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Baixo        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

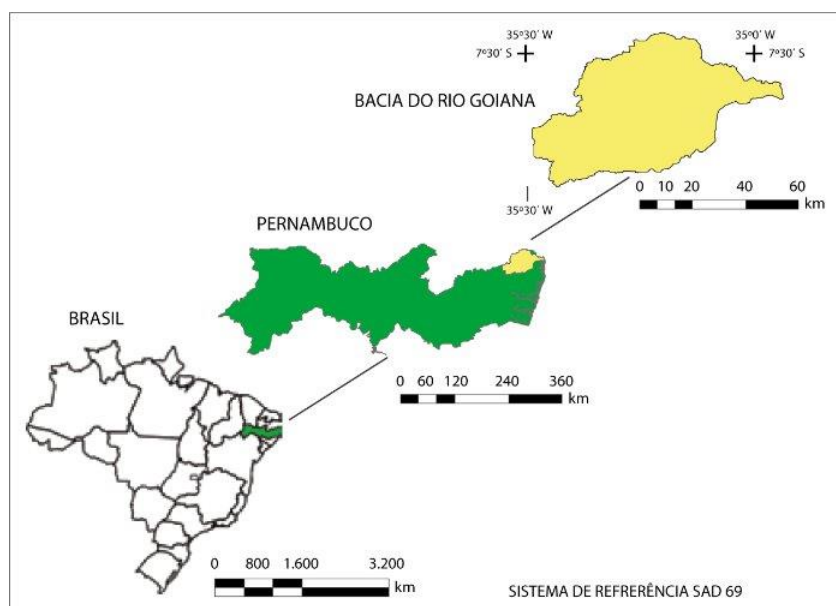


Figura 1- Localização da Bacia do Rio Goiana

A cidade de Nazaré da Mata está localizada na região inferior da bacia e possui uma população estimada em 32.064 habitantes (IBGE). O trecho do rio Tracunhaém que corta a área urbana da cidade possui uma extensão de cerca de 1.520 metros. Nesse trecho o rio apresenta-se, na maior parte do ano, com uma vazão baixa, tendo eventos de cheia mais frequentes nos meses de maio e junho.

## METODOLOGIA

A metodologia foi composta por duas partes principais. Em um primeiro momento, realizou-se a modelagem hidrológica da sub-bacia em estudo. Com auxílio do programa *ArcMap 10.1* e dados de SRTM foi possível delimitar e discretizar a bacia. As informações obtidas, apoiadas por imagens de satélite da região forneceram suporte ao uso do programa *ABC 6* (Análise de Bacias Complexas), onde foi aplicado o método chuva-vazão do SCS (Soil Conservation Service) com posterior obtenção do hidrograma e vazão máxima na seção. A segunda etapa consiste na modelagem hidráulica através do software *HEC-RAS*, que fornece a propagação de onda com uso das equações de Saint-Venant, cujo dado de entrada principal é a geometria das seções transversais e respectivos coeficientes de Manning. Para melhor representação geométrica foram utilizadas curvas-de-nível, obtidas por levantamentos topográficos na região de estudo, com tratamento e desenho pelo programa *AutoCad Civil 3D*, posteriormente exportado para o *HEC-RAS*. Antes de realizar a exportação para o *HEC-RAS*, no *AutoCad Civil 3D* foi feito o alinhamento do rio e obtenção das seções transversais do rio de vinte em vinte metros (Figura 5). Afim de simular uma obra de dragagem no rio, foi acrescentado curvas de nível em cotas mais baixas na calha principal do rio.

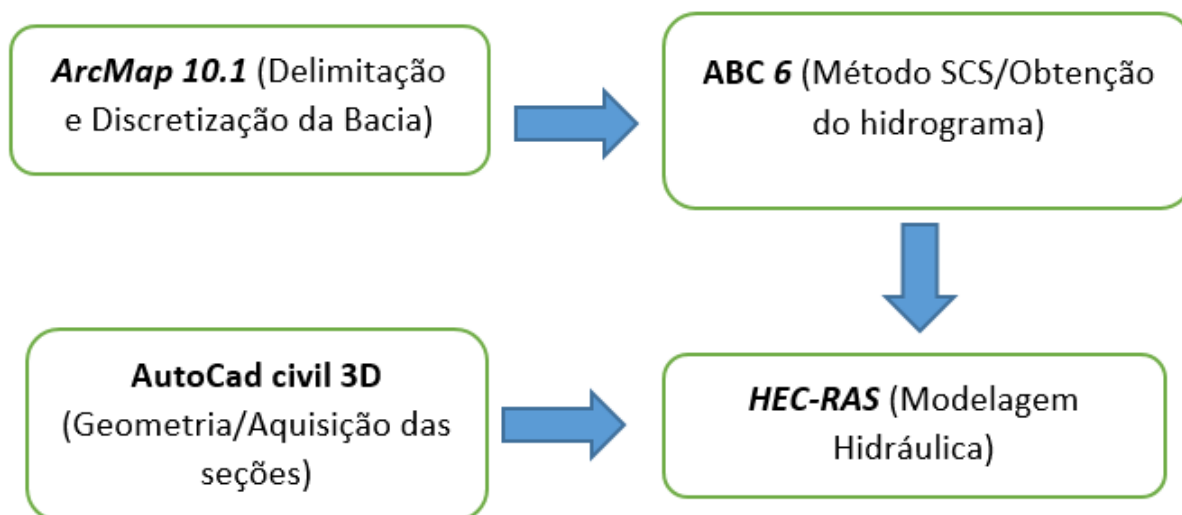


Figura 2 - Fluxograma das etapas do estudo

Inicialmente foi realizada a delimitação da bacia de contribuição da área de estudo, tendo como exutório um ponto a montante do trecho em estudo, para tal foi escolhida a ponte de acesso de Nazaré da Mata. Para realizar a delimitação da bacia, através de técnicas de geoprocessamento no software *ArcMap 10.1*, é necessário um Modelo Digital do Terreno (MDT), o qual foi usado o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 30 metros. Além da delimitação da bacia, no *ArcMap* foi feita a discretização da bacia em pequenas sub-bacias (figura 3) e a aquisição dos dados geométrico como: área, comprimentos dos cursos d'água e declividade.

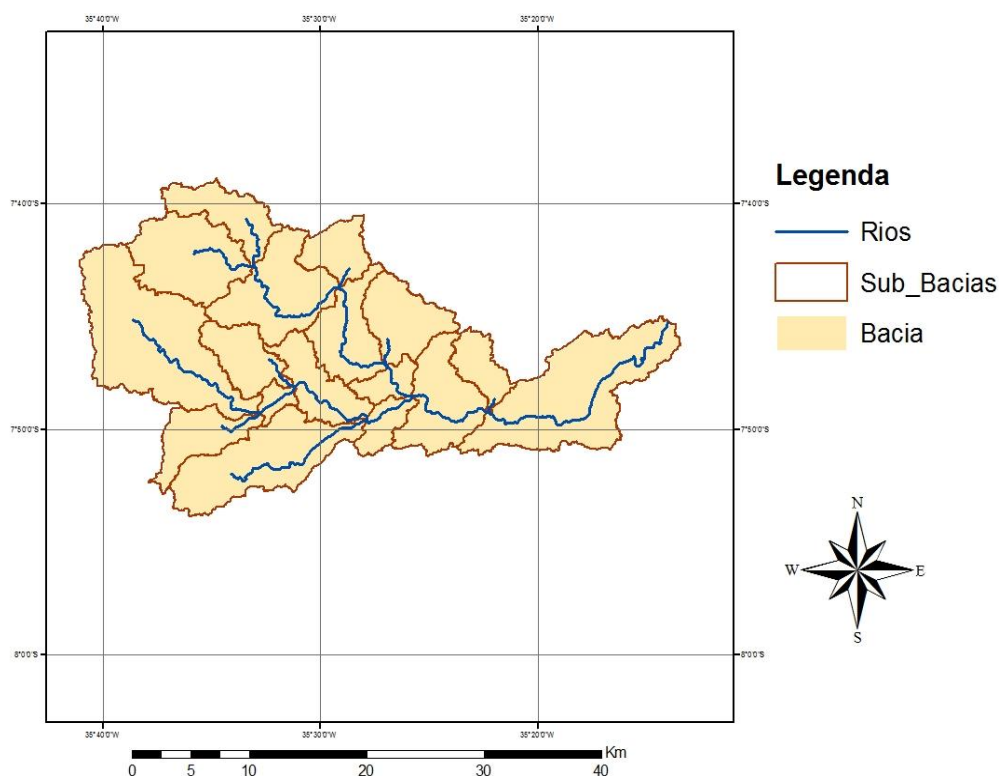


Figura 3 - Sub-bacias

O método SCS utilizado na estimativa do escoamento superficial, engloba informações relativa a precipitação e ao componente solo-vegetação, considerando o tipo, o uso, a umidade inicial e a condição hidrológica do solo (NRCS, 2007). O método baseia-se na determinação da parte da precipitação que gera escoamento superficial, a precipitação efetiva (Walter e Rutinéia, 2008). De acordo com o método, a lâmina escoada durante uma chuva é dada por:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}, \text{ quando } P > Ia \text{ e } Q = 0 \text{ quando } P \leq 0 \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Onde **Q** é a lâmina escoada ou volume escoado dividido pela área da bacia (mm); **P** é a precipitação durante o evento (mm); **Ia** é uma estimativa das perdas iniciais da água, dado por **Ia** = **S/5**; e **S** é um parâmetro que depende da capacidade de infiltração e armazenamento do solo.

Os valores do CN (*Número de Curva*) podem ser encontrados nas tabelas fornecidas pela NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) que é função do uso e cobertura do solo, classificação hidrológica e condição antecedente de umidade. Os tipos de solo da bacia foram encontrados nos mapas de solo da EMBRAPA (Figura 4) e foram classificados de acordo com a classificação proposta por Sartori (2010) para classificação hidrológica dos solos brasileiro. Para o mapeamento de uso e ocupação do solo da bacia foram utilizadas imagens do *Google Earth* (figura 5) e imagens de satélite do Landsat 8 de 26/4/2014.

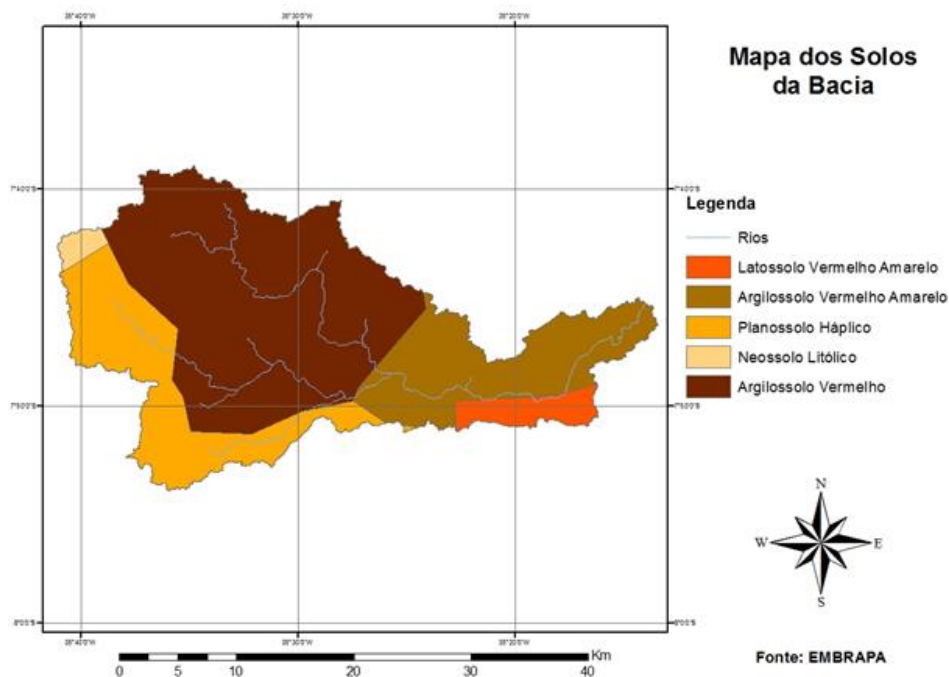


Figura 4 - Mapeamento dos tipos de solo da bacia

Para cada sub-bacia foram levantados dados de entrada para aplicação do modelo no software ABC 6 (*Análise de Bacia Complexa*), de acordo com o quadro abaixo, exemplo da sub-bacia 9.

Tabela 2 - Exemplo dos dados de entrada das sub-bacias

| SUB-BACIA 09                         |                                      |           |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| <b>Tipo do Solo</b>                  | Planossolo Háplico/Argiloso Vermelho |           |
| <b>Grupo Hidrológico</b>             | D                                    |           |
| <b>Condição de umidade</b>           | Condição II                          |           |
| <b>Área (A)</b>                      | 28,26 Km <sup>2</sup>                |           |
| <b>Extensão do rio principal (L)</b> | 4,185 Km                             |           |
| <b>Desnível (Δh)</b>                 | 120,75 m                             |           |
| <b>CLASSE</b>                        | <b>ÁREA (Km<sup>2</sup>)</b>         | <b>CN</b> |
| Floresta                             | 3,71                                 | 76        |
| Área Urbanizada                      | 0,82                                 | 86        |
| Agricultura/Pastagem                 | 12,85                                | 83        |
| Corpo d'água                         | 0                                    | -         |
| Solo exposto                         | 10,88                                | 91        |
|                                      |                                      | <b>85</b> |

O tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial (Plínio, 2013). O tempo de concentração foi calculado pela fórmula de Kirpich I, recomendada para bacias com área maior que 2,5 km<sup>2</sup>.

$$t_c = 0,0196 \cdot \left( \frac{L^3}{h} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Onde **L** é o comprimento longitudinal do rio em metros e **h** é o desnível do rio da cabeceira ao exutório.

Para projetos de obras hidráulica, é necessário conhecer as três grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e frequência (I-D-F). Procura-se então, analisar as relações I-D-F das chuvas observadas determinando-se para os diferentes intervalos de duração de chuva, qual o tipo de equação e qual o número de parâmetros dessa equação (Tucci e Ademar, 2013). É usual o emprego de equação do tipo:

$$i = \frac{a \cdot Tr^m}{(t + b)^n} \quad (4)$$

Onde **i** é a intensidade em mm/h; **Tr** é o tempo de retorno em anos; **t** é a duração da chuva em minutos; e **a, b, m e n** são parâmetros que dependem do local do evento.

Neste estudo foi utilizada a equação da chuva proposta por E. O. PFAFSTETTER (Chuvas Intensas do Brasil, 1982) para a cidade de Nazaré da Mata/PE, a qual os parâmetros já se encontram disponíveis no próprio software ABC 6.

$$i = \frac{421,19Tr^{0,23}}{(t + 4)^{0,68}} \quad (5)$$

Foram utilizados distintos tempos de retorno: 10, 50 e 100 anos; e a duração da chuva igual ao tempo de concentração.

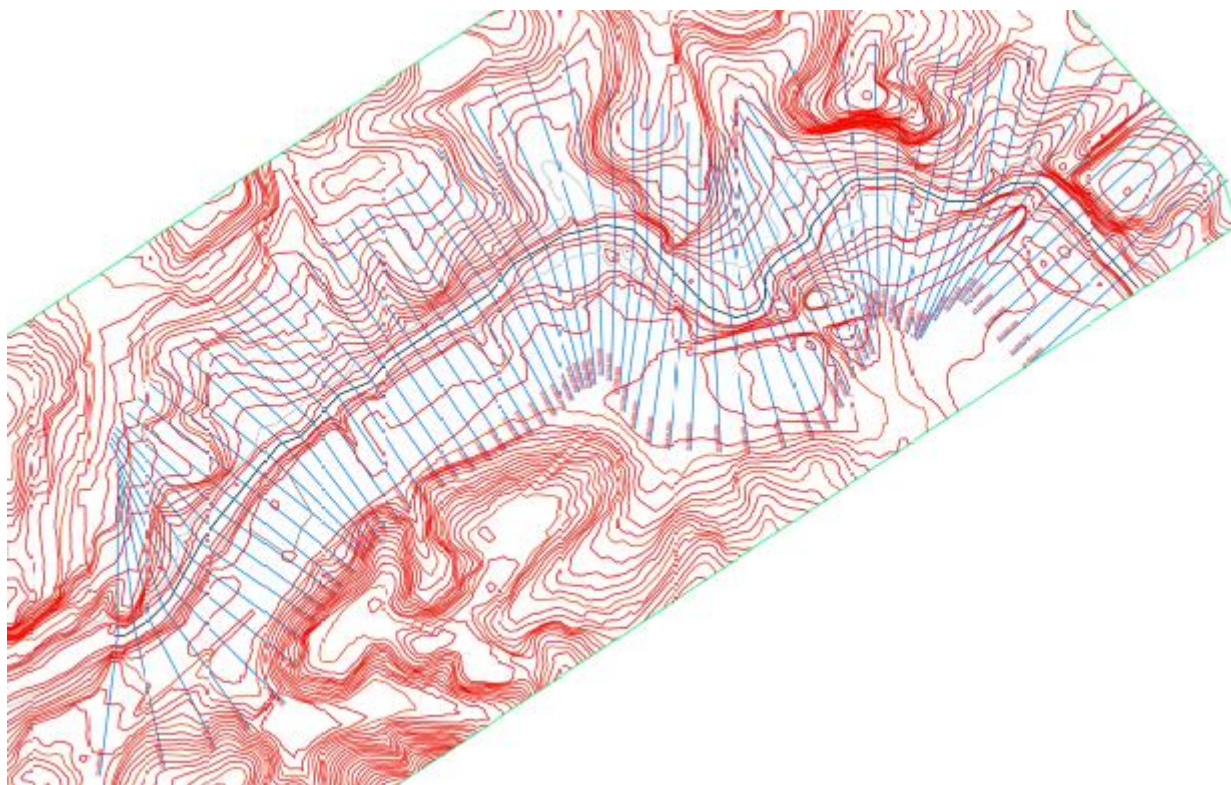


Figura 5 – Curvas de nível e obtenção das seções transversais

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a modelagem hidrológica, foram obtidos os seguintes resultados para vazões em diferentes tempos de retorno:

Tabela 3- Vazões máximas na seção de entrada para os tempos de retorno 10, 50 e 100 anos.

|                           | TR=10 anos     | TR=50 anos     | TR=100 anos    |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Vazão Máxima(m³/s)</b> | <b>184,509</b> | <b>339,062</b> | <b>423,922</b> |

Essas vazões, quando propagadas na seção de montante, em escoamento uniforme e regime subcrítico resultaram nas lâminas de alagamento, representadas como áreas de risco, nas figuras 5 e 6.



Figura 5 - Resultado das lâminas de alagamento para situação existente. Áreas de alto risco de inundação (TR=10 anos); Áreas de médio risco de inundação (TR=50anos); Áreas de baixo risco de inundação (TR=10anos)



Figura 6 - Resultado das lâminas de alagamento para situação após dragagem do rio. Áreas de alto risco de inundação (TR=10 anos); Áreas de médio risco de inundação (TR=50anos); Áreas de baixo risco de inundação (TR=10anos)

A partir da análise da figura 5, é possível perceber que chuvas com baixo tempo de retorno representam boa parte das áreas de risco.

Nas regiões de alto risco de inundação, há menor número de casas justificado pela possibilidade de alagamentos recorrentes. Mesmo assim, algumas famílias ocupam esses locais e modificam suas residências na tentativa de impedir a entrada de água nos dias da inundação (ver

figura 7). É válido ressaltar que mesmo com um tempo de retorno baixo, o rio extrapola sua calha atual, verificando, assim, que há a necessidade de intervenção para mitigar os riscos à população e proteger as áreas de preservação permanente.



Figura 7 - Casas construídas acima do greide da rua, localizadas em regiões de alto risco

Na possibilidade de realização de dragagem e alargamento da calha, foi verificado que não houve uma relevante redução nas áreas de alagamento (ver figura 8). Concluímos, em uma primeira análise, que as áreas de alto risco são regiões de várzea ou calha secundária, dessa maneira, necessitam de restrições à ocupação por casas, a fim de proteger a vida das pessoas que, imprudentemente, fixam-se nesses locais.



Figura 8 - Comparativo entre lâminas de alagamento para tempo de retorno iguais, com e sem dragagem

Partindo da nova concepção no manejo de águas pluviais urbanas, as áreas de várzea do rio Tracunhaém poderiam ser áreas de lazer com prática de atividades esportivas, como futebol, corrida e ciclismo, constituindo, assim, um parque linear. A ideia de um parque que margeia o rio em áreas

urbanas já possui várias experiências no Brasil, tendo em vista os benefícios trazidos, pois é opção de lazer e incentivo à prática de atividades físicas, reserva regiões de espraiamento das águas em épocas chuvosas do ano reduzindo riscos de alagamentos, além de contribuir para um clima ameno na cidade a medida em que aumenta as áreas verdes, entre outros benefícios.

## CONCLUSÕES

Mediante a análise das áreas de riscos de inundação do município de Nazaré da Mata, evidenciou-se um cenário de ocupação imprópria, onde, mesmo para uma vazão com tempo de retorno de 10 anos há o risco de residências serem inundadas. A proposta de uma medida estrutural, como a dragagem da calha principal do rio, em primeira análise, não apresentou bons resultados no controle da inundação. Sendo, portanto, a remoção das famílias de residências ribeirinhas e construção de parques lineares no local, a solução mais viável. Vale ressaltar que essas ações devem constituir uma ação global de ordenamento do município, na qual devem-se buscar mitigar os efeitos da inundação nas áreas de médio e baixo risco e promover ações de restrições a ocupação nas áreas de alto risco.

## BIBLIOGRAFIA

COLLISCHONN W., TASSI R. (2008). *Introduzindo Hidrologia*. IPH UFRGS, 151 p.

COLLISCHONN W., DORNELLES F (2013). *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

SARTORI A., NETO F. L., GENOVEZ A. M. (2005). *Classificação Hidrológica dos Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.4 Out/Dez 2005, 05-18.

PLÍNIO T. (2013). *Capítulo 38, Método SCS*. Curso de Manejo de Águas Pluviais 26 p.

TUCCI C., CORDEIRO A. (2013). *Apostila de Hidrologia*. Centro de Ciências Tecnológicas – CCT – Universidade Regional de Blumenau – FURB.