



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

EFICIÊNCIA DO CONTROLE DAS CHEIAS URBANAS A PARTIR DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO.

Estudo de caso: Rio Guaxindiba, município de São Gonçalo/RJ

Camila, SOUZA¹; João, VIEIRA²;

¹ 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

² Mestre em Metrologia, Light Energia S/A, Av. Marechal Floriano 168 – Centro - Rio de Janeiro – Brasil, joao.vieira@light.com.br, +55 21 996280000

Resumo

O presente trabalho buscou definir as cheias de projeto do rio Guaxindiba para a implantação de um reservatório de retenção “off line” para o controle de cheias. Esta bacia está localizada no município de São Gonçalo, RJ, e nela se observa um processo de antropização descontrolado que resulta em problemas como enchentes e acúmulo de resíduos sólidos. Para a análise da capacidade de amortecimento dos reservatórios, foram estimados os hidrogramas de cheia característicos para diferentes tempos de retorno e estes propagados nos reservatórios pelo método de “Puls modificado”. Para a escolha do local do reservatório de amortecimento das cheias, foi utilizada a ferramenta Google Earth. Para o dimensionamento do reservatório, com dimensões de 200 m de largura, 250 de comprimento e 3 m de altura, foram calculadas as cheias de tempo de retorno de 5, 10 e 25 anos, usualmente adotadas nos projetos de drenagem. Os resultados alcançados indicam a viabilidade de implantação da estrutura considerada como auxiliar na contenção e mitigação dos efeitos danosos das enchentes com uma eficiência de 66.86%, para o tempo de retorno de 5 anos, de 20.49%, para o tempo de retorno de 10 anos e 17.3% para cheias de 25 anos.

Palavras-chave: cheia, Puls Modificado, retenção, reservatório

Tema: Hidrologia, hidráulica fluvial e obras hidráulicas



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

O problema das enchentes em bacias urbanas é observado no Brasil desde a colonização, sendo a primeira grande enchente registrada em 14 de abril de 1756, (FAZENDA, 1847-1917).

Por causa da falta de planejamento na ocupação nas grandes metrópoles, ocorreu a antropização dos recursos naturais das bacias hidrográficas e graves problemas podem ser observados, ainda mais em época de grande pluviosidade, dentre os quais se destacam: erosões, deslizamentos de terra, doenças de veiculação hídrica, danos materiais e humanos e contaminação dos recursos hídricos por resíduos sólidos e líquidos, assoreamento dos canais e cursos d'água, especialmente em comunidades de baixa renda.

Os setores públicos e privados, atualmente, vêm criando formas de amenizar essas enchentes, através da implantação de medidas estruturais, como por exemplo, reservatórios, bacias de retenção, entre outros. Porém, a má qualidade da limpeza e coleta urbana e a falta de conscientização da população pode acabar atrapalhando essas alternativas, pois o excesso de resíduos sólidos pode provocar obstrução e assoreamento dos reservatórios de retenção e detenção, aumentando os custos de operação e manutenção.

Para tanto, foi selecionada a bacia do rio Guaxindiba, localizada no município de São Gonçalo, Estado do Rio de Janeiro, que possui um processo de antropização descontrolado e onde se observam os problemas com enchentes e resíduos sólidos.

2. METODOLOGIA

No âmbito do presente estudo, as chuvas de projeto foram definidas para os tempos de recorrência correspondentes a 5, 10 e 25 anos. Justificados pelo fato de que o primeiro é considerado na literatura como representativo das cheias ordinárias e os últimos são adotados como procedimento recomendado pelo DNIT (2005), para o dimensionamento de bueiros em condições críticas de escoamento. Foram consideradas as equações de chuvas intensas estabelecidas pelo Denardin & Freitas (1982) para o município Niterói e expressas por:

$$i = \frac{962,78 \times T^{0,26}}{(t + 11)^{0,77}} \quad (1)$$

Sendo, i é a intensidade da chuva, em mm/min; t é o tempo de concentração, em min; e T é o período de retorno, em anos e as letras a,b,c,d são parâmetros. Sendo $a= 962.78$, $b= 0.26$, $c= 11$ e $d= 0.77$.

O tempo de concentração foi calculado através da formula de Ventura, IEP(2010):

$$t_c = 0,127 \left(\frac{A}{I} \right)^{0,5} \quad (2)$$

Onde, t_c é o tempo de concentração, em horas; A é área de drenagem, em km^2 ; I é a declividade, em m/m .

A determinação do volume do escoamento foi feita através do Hidrograma Unitário Triangular (HUT). Para a definição das precipitações críticas a serem transformadas em hidrogramas de projeto, é necessário que se definam algumas características, tais como: a duração, a evolução cronológica das intensidades e a distribuição espacial. Quanto à duração da chuva, adotou como critério geral a duração igual ao tempo de concentração. Quanto à evolução cronológica das intensidades, a distribuição recomendada pelo SCS, corresponde a ocorrência das maiores intensidades no centro do intervalo de tempo. Finalmente, na consideração do efeito da distribuição espacial da chuva, é recomendada a aplicação de um critério de transformação chuva-ponto em chuva-área, que no presente estudo, refere-se a formulação proposta por Torrico (1975).

Considerando um reservatório com vertedor livre, em que a vazão de saída é uma função do nível da água no reservatório. Para a simulação do trânsito das cheias, foi utilizado o modelo hidrológico conhecido como Método de Puls Modificado. Esse método simula o escoamento em reservatório por meio da discretização em diferenças finitas da equação do balanço hídrico. Além disso, utiliza a relação entre armazenamento e vazão efluente, empregando as características das curvas cota-volume dos reservatórios e das curvas de descarga dos vertedouros. Sendo a equação:

$$\frac{2S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q_{t+\Delta t} = I_t + I_{t+\Delta t} + \frac{2S_t}{\Delta t} - Q_t \quad (3)$$

Onde, os termos desconhecidos aparecem no lado esquerdo e os termos conhecidos aparecem no lado direito.

Uma tabela da relação entre $Q_{t+\Delta t}$ e $2.(S_{t+\Delta t})/\Delta t$ pode ser gerada a partir da relação cota – área – volume do reservatório e através da relação entre a cota e a vazão, por exemplo, para uma equação de vertedor.

Para a implementação do modelo matemático descrito, foram levados em consideração os seguintes critérios:

Na definição das equações das curvas cota x volume e $(2S/\Delta t + Q) \times Q_{\text{vertida}}$, foram escolhidas equações do tipo polinomial.

Para a descarga de fundo, foi considerado que o orifício está afogado por montante e com descarga livre a jusante.

As vazões vertida e liberada pelo descarregador de fundo afetam o volume do reservatório simultaneamente, portanto a variação do armazenamento é uma função destas duas parcelas. Em virtude do esforço computacional necessário para o processamento, adotou-se que a vazão do descarregador de fundo seria somada à vazão descarregada pelo vertedouro.

A partir da metodologia de HORA & NORONHA (Prelo) foi desenvolvido uma ferramenta computacional em planilha eletrônica para o cálculo da propagação e laminação de hidrogramas de cheias de projeto em reservatórios com volume de espera (vazio) e com

descarregador de fundo. A presente pesquisa considerou as simulações a partir do uso desta ferramenta computacional.

3. ESTUDO DE CASO – BACIA DO RIO GUAXINDIBA

3.1 Área de Caracterização

A bacia estudada está localizada no município de São Gonçalo, no Estado do Rio de Janeiro, conforme a Figura 1.

O município de São Gonçalo localiza-se nas coordenadas 22°49'37" de latitude Sul e 43°03'14" de longitude Oeste, a uma altitude de 19 metros. Possui uma área total de 284,4 km² e encontra-se no lado oriental da Baía de Guanabara, sendo atravessado por três grandes vias de acesso: RJ-106 (estrada litorânea – direção Região dos Lagos Fluminenses), RJ-104 (indo até Magé em direção as cidades serranas) e BR-101. Limita-se ao Norte, com Itaboraí e a Baía da Guanabara; ao Sul, com Maricá e Niterói; a Leste, com Itaboraí e Maricá e a Oeste, com a Baía de Guanabara e Niterói.

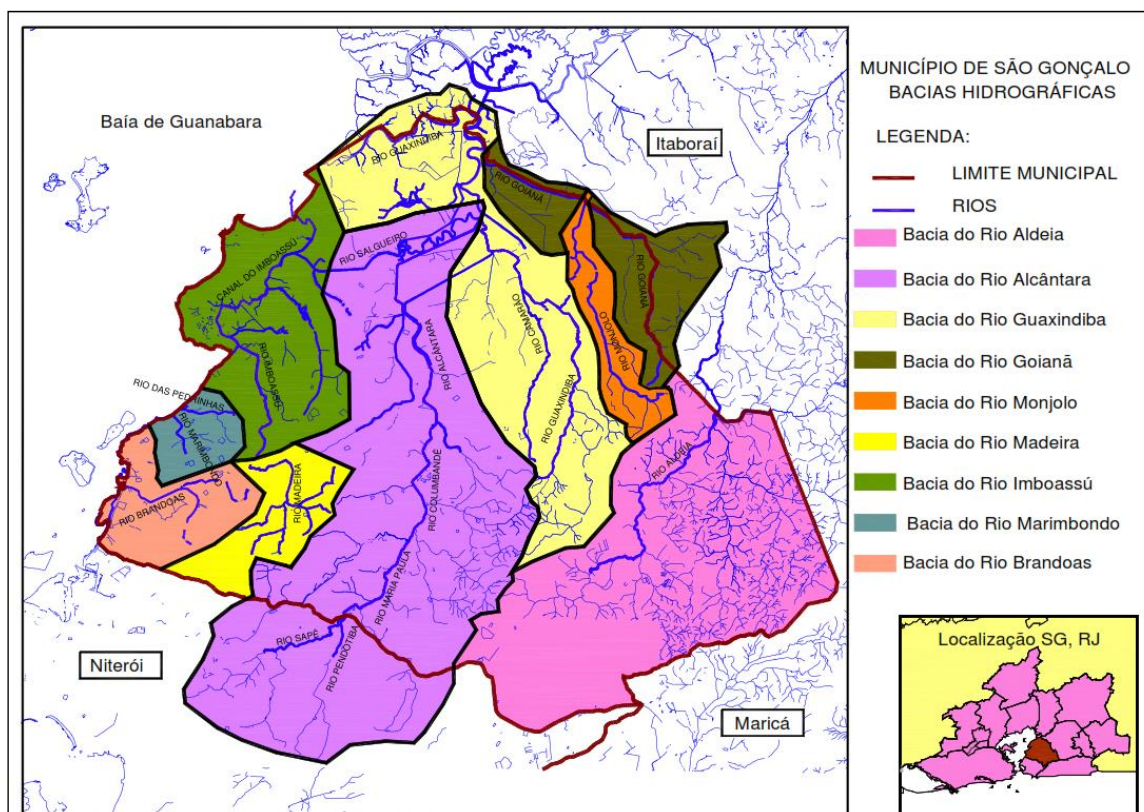


Figura 1 Localização da Bacia do Rio Guaxindiba.

Fonte: UFF/FEC, 2006.

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O local escolhido para implantação do reservatório de retenção está apresentado na Figura 2. O tipo de reservatório escolhido para esse estudo de caso foi o “*off line*”, obtido através da escavação do terreno do lado esquerdo do rio. O reservatório foi dimensionado para um projeto de micro e macrodrenagem, onde foram estudados os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

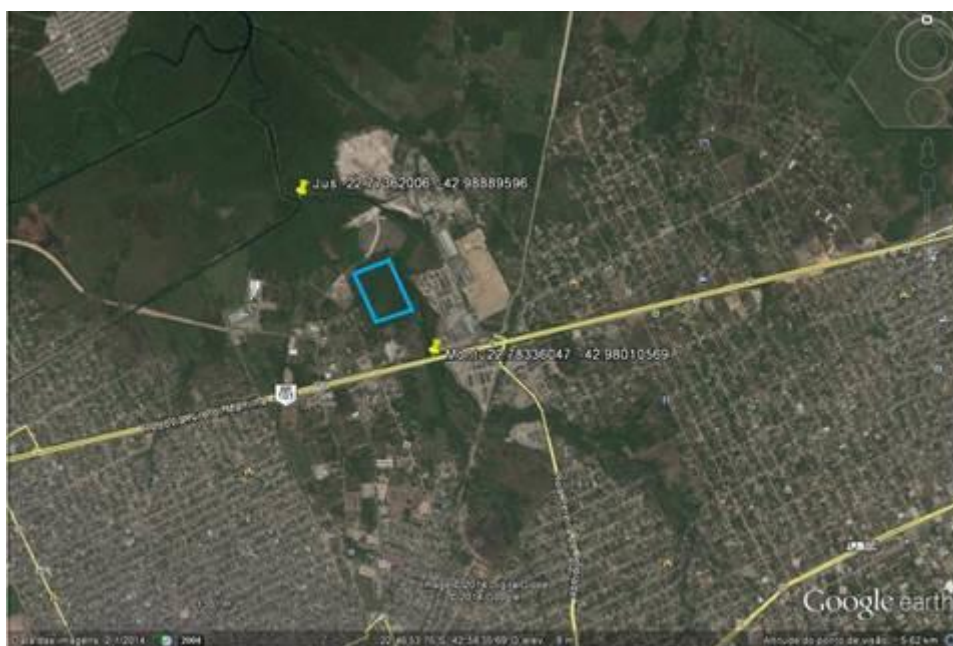


Figura 2. Local proposto para implantação do Reservatório de Detenção.

Fonte: Google Earth, 2014.

O resumo das características da bacia estudada é relacionado na Tabela 1. As figuras 3 a 5 expressam as hidrógrafas de projeto resultantes mostrando seu pico de cheia.

Tabela 1 – Características da bacia do rio Guaxindiba.

Características da Bacia	Valores	Unidade
Área de drenagem (A):	22,06	km ²
Comprimento do talvegue (L):	13000	m
Desnível do talvegue(H):	96	m
Curva Número (CN):	52	-
Declividade do talvegue (I):	0,0074	m/m
Tempo de Concentração (tc):	6,94	h

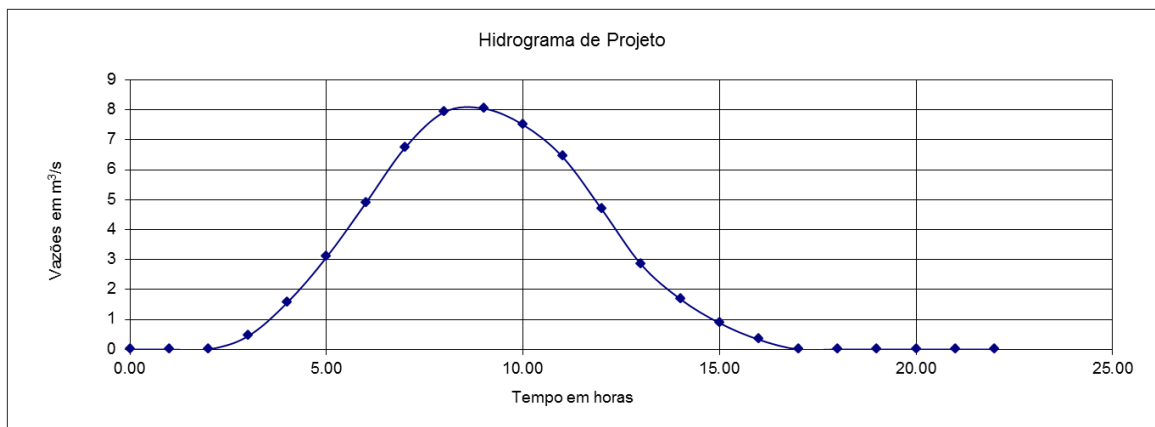


Figura 3. Hidrograma para o período de retorno de 5 anos.

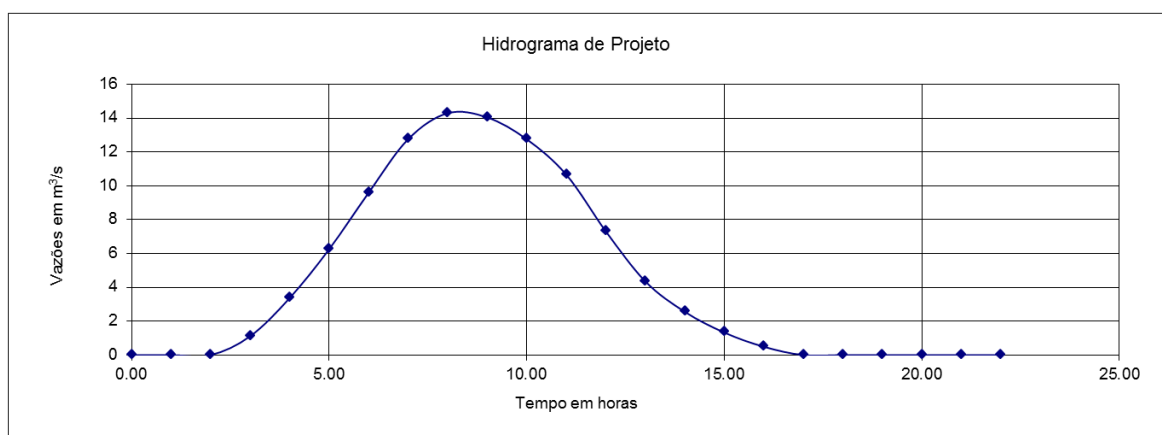


Figura 4. Hidrograma para o período de retorno de 10 anos.

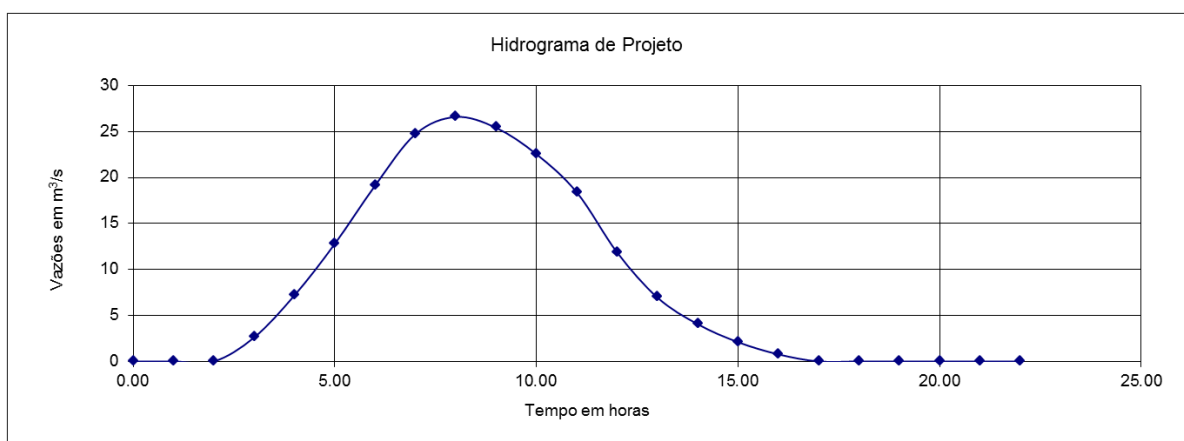


Figura 5. Hidrograma para o período de retorno de 25 anos.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

A vazão máxima com tempo de recorrência de 10 anos foi comparada com a estimada por Costa (2013) e igual a $15,38 \text{ m}^3/\text{s}$. A diferença percentual entre ambos os valores é de 3%, podendo ser considerada como insignificativa. Os dados para o tempo de retorno de 10 anos serviram de base para o cálculo do tempo de retorno de 5 anos e 25 anos, onde foi encontrado um pico de cheia de $7,66 \text{ m}^3/\text{s}$ para 5 anos e de $26,59 \text{ m}^3/\text{s}$ para 25 anos.

4.1. Dimensionamento do Reservatório¹

A seguinte arrumação foi levada em consideração para apresentação da proposta:

- Amortecimento das cheias do rio Guaxindiba para os tempos de recorrência de 5, 10 anos e 25 anos.
- Reservatório com 200 metros de largura, 250 metros de comprimento e 3 metros de profundidade, totalizando 150.000 m^3 . O critério de escolha da profundidade foi baseado em maior volume possível de ser armazenado sem criar dificuldades construtivas e interferências com a fundação das construções ao redor do estádio.
- Vertedouro com 2 metros de largura e 3 metros de altura. Esta escolha das dimensões da soleira de controle foi baseado na sua combinação em relação cota-volume do reservatório e aos hidrogramas de referência.
- Um orifício com 0,50 metros de diâmetro. O diâmetro foi escolhido levando em consideração a restrição da vazão de saída do reservatório, de modo que a vazão de entrada da cheia, de maior magnitude, gerasse um acúmulo temporário de água dentro do reservatório.

Uma vez definida a concepção da alternativa proposta, foram elaboradas as curvas cota versus $(2S/dt+Q)$ (função armazenamento) que se encontra apresentada na Figura 6.

¹ Extraído de Faria (2012)

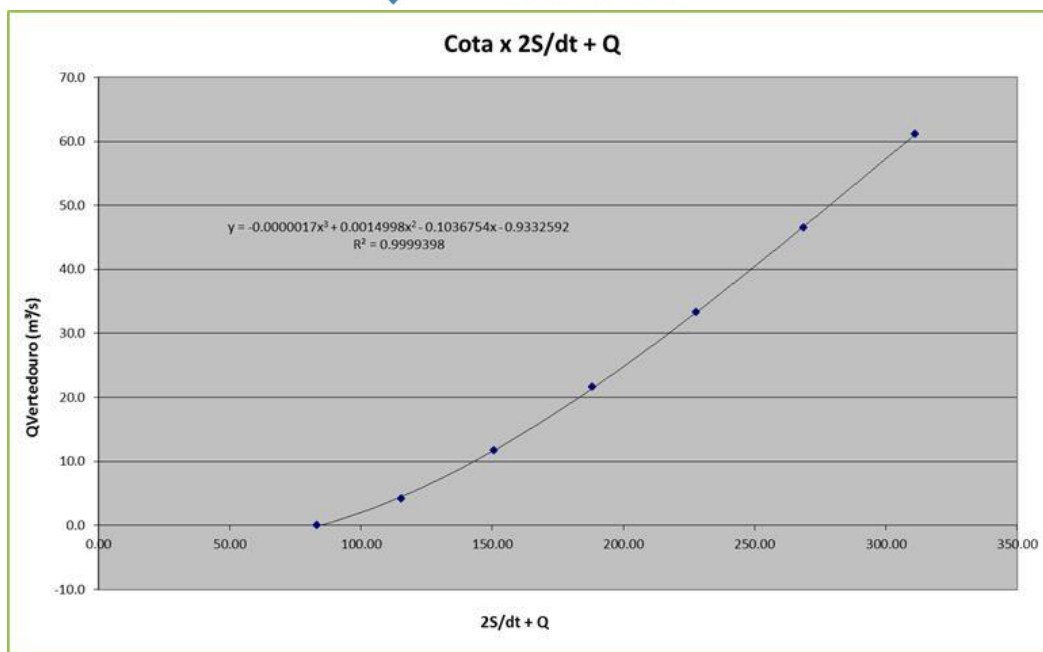


Figura 6. Curva função armazenamento do reservatório proposto.

Os cálculos de laminação do reservatório foram elaborados para os tempos de recorrência de 5, 10 e 25 anos. Sendo estes mostrados nas figuras 7. Os valores das vazões afluentes estão destacados em azul, os valores das vazões defluentes em vermelho.

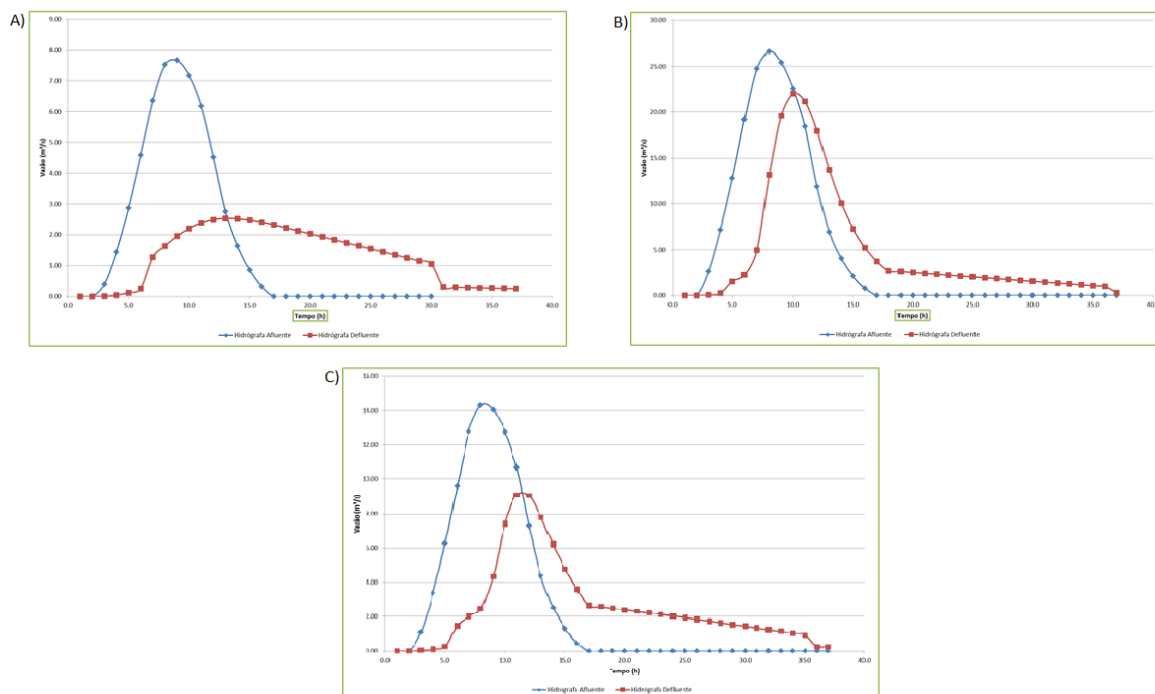


Figura 7. Hidrógrafas afluente e defluente para:
a) TR = 5 anos, b) TR= 10 anos e c) TR= 25 anos.

Os reservatórios construídos nas cidades com a finalidade de amortecer os picos de cheias, também denominados de reservatórios de detenção, permanecem na maior parte do tempo seco (volume de espera) e, durante um evento chuvoso, a água é armazenada e liberada de forma controlada. Estes reservatórios não reduzem significativamente o volume de escoamento superficial, mas atuam sobre a vazão de pico, reduzindo e estendendo os períodos de recessão dos hidrogramas de cheia (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988). Podendo sua eficiência ser comprovada na tabela 2 e avaliada a partir da relação entre a vazão defluente e a vazão afluente, expressa por:

$$E = \frac{(Q_{\text{máxflu}} - Q_{\text{máxdeflu}})}{Q_{\text{máxflu}}} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde;

E eficiência, em porcentagem.

$Q_{\text{MÁXAFLU}}$ pico da vazão afluente ao reservatório, em m³/s.

$Q_{\text{MÁXDEFLU}}$ pico da vazão defluente pelo vertedouro e orifício, em m³/s.

Tabela 2 – Eficiência das cheias (TR=5anos, TR=10anos e TR=25 anos)

TR (anos)	Q _{flu} (m ³ /s)	Q _{deflu} (m ³ /s)	NA res (m)	Defasagem entre Picos (h)	Eficiência (%)
5	7.66	2.54	2.72	4.00	66.86
10	26.59	21.14	6.33	3.00	20.49
25	26.59	21.98	6.33	2.00	17.34

Pode ser observar que o reservatório para o tempo de retorno de 5 anos foi mais eficiente, em 46.37% a mais, que para o tempo de retorno de 10 anos e 49.52% a mais que o tempo de retorno de 25 anos. A laminação do reservatório irá acontecer com maiores folgas se a profundidade do reservatório for igual ou maior a 3 metros, medida utilizada no relatório. Abaixo da profundidade de 3 metros, não acontecerá o amortecimento das cheias. Além disso, verifica-se que os picos das vazões afluente e defluente são defasados em 240 minutos para a hidrógrafa de 5 anos de recorrência e 180 minutos para a hidrógrafa de 10 anos de recorrência e 120 minutos para a hidrógrafa de 25 anos de recorrência.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

5. CONCLUSÃO

Os reservatórios de retenção aqui dimensionados estão sendo cada vez mais utilizados para evitar a ampliação dos impactos ambientais e urbanísticos de um determinado lugar. Para o município de São Gonçalo, carente em obras e financiamentos públicos, o reservatório de retenção pode ser o instrumento auxiliar para o amortecimento de cheias, sem consideráveis gastos públicos, quando comparado a relocação, por exemplo.

Porém, para a implantação desta medida estrutural, se faz necessário que a prefeitura mobilize a população local para evitar que o local destinado do “piscinão” vire um lixão a céu aberto. Além disso, deverão ser previstas manutenções necessárias ao reservatório para seu funcionamento adequado.

O reservatório foi projetado para operar de modo em paralelo ao sistema de drenagem, sendo o escoamento do rio desviado para o armazenamento temporário. A eficiência do amortecimento foi de 66.86% para as cheias com recorrência de 5 anos e de 20.49% para as cheias de 10 anos e 17.34% para cheias de 25 anos.

Os reservatórios de retenção podem ter um caráter multifuncional agregando áreas verdes e de lazer e, compondo projetos urbanísticos com valorização da presença de água em espaço urbano e isso faz com que ele seja mais bem aceito pela população local.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York. McGrawHill, 570 p. 1998.

DENARDIN, J.L.; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.10, p.1409-1416, 1982.

DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2ª ed., 133p, 2005.

FARIA, I. A. F. K. **Alternativas para controle de enchentes nos centros urbanos. Estudo de caso: reservatório para amortecimento de cheias na sub-bacia do rio Icaraí, Município de Niterói – RJ**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado Profissional em Segurança e Defesa Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2012.

FAZENDA, J. V (1847-1917). **Antiquilhas e Memórias do Rio de Janeiro**. Revista do Instituto Histórico Geográfico Brasileiro, Vol. 86, pp. 140.

HORA, M. A. G. M.; NORONHA, G. C (Prelo). **Laminação de cheias com volume de espera e controle de defluência**.

IEP. **MANUAL DE DRENAGEM SUPERFICIAL EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**. LISBOA: INSTITUTO DAS ESTRADAS DE PORTUGAL (IEP), 2001.

TORRICO, J. J. T. **Práticas Hidrológicas**. Transcon, Rio de Janeiro. 1975.