

# PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE-SC

*Cristina Savi<sup>1</sup>; Simone Malutta<sup>2</sup>; Amarana Potykytã de Sousa Dias Vieira<sup>3</sup> Helena Paula  
Nierwinski<sup>4</sup> & Nádia Bernardi Bonumá<sup>5</sup>*

**ABSTRACT** – Unrestrained and unplanned urban growth promotes significant impacts to the environment, generating, for example, soil sealing and increasing surface runoff. Consequently, there is also an increase in the occurrence of urban floods, and there is a need of acts to minimize the disturbances generated. In the city of Joinville-SC, the scenario is not different. The Cachoeira River Basin, the main basin located in the urban part of the city, suffers the impacts generated due to unplanned growth. As a result of this problem, the present paper proposes the pre-dimensioning of detention reservoirs (structural control measure), performing the delimitation of its contribution basins, using the SCS and Müller-Neuhaus methods for return periods of 2, 5, 10, 50 and 100 years. An analysis was made of the functionality of these reservoirs for the different return periods mentioned above.

**Palavras-chave:** Inundações urbanas; Método SCS; Reservatório de detenção.

## 1 - INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre-(DER) (PORTO ALEGRE, 2005), o crescimento urbano dos municípios, sem planejamento, e em conjunto com uma ocupação desordenada, com implantações de um sistema de drenagem inadequado, proporciona a geração de impactos (negativos) significativos ao meio ambiente e à população, prejudicando a qualidade da água e provocando o aumento de sedimentos no escoamento pluvial.

Para minimizar as consequências destes desastres, medidas de controle estruturais e não estruturais podem ser aplicadas. De acordo com Tucci (2009), medidas estruturais correspondem a obras de engenharia que modificam o sistema fluvial. Já as medidas não estruturais tem caráter preventivo, com o intuito de harmonizar o convívio entre as pessoas e as enchentes (previsão de enchentes, realocação, controle do uso do solo, etc.).

Dentre as medidas de controle estruturais, Souza (2013), aponta os reservatórios de contenção de cheias como redutores de inundações de maneira significativa, promovendo o

1) Graduação de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. E-mail: cristina.savi@grad.ufsc.br

2) Professora, Departamento de Engenharia da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. Fone: +55(48)3721- 7493. E-mail: simone.malutta@ufsc.br.

3) PhD em Engenharia Hidráulica e Saneamento, E-mail: eng.amarana@gmail.com

4) Professora, Departamento de Engenharia da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. Fone: +55(48)3721- 7493. E-mail: helena.paula @ ufsc.br

5) Professora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Fone: +55(48)3721- 7493. E-mail:Nadia.bonumá@ufsc.br

retardamento dos picos de cheias, seja regularizando a vazão afluente, amortizando o valor de pico e/ou amenizando a sobrecarga gerada nas redes de drenagem urbana existentes. Medidas estruturais já foram aplicadas com sucesso em diversas cidades do Brasil, como São Paulo, Curitiba e Porto Alegre, conforme apresentado no Plano diretor destas cidades. Dentre as cidades brasileiras, Joinville-SC se desenvolveu sem planejamento adequado nas questões referentes a drenagem e preservação do escoamento hídrico, fazendo com que parte da população tenha que conviver com os efeitos de inundações causadas por chuvas intensas e/ou variações de maré alta no estuário do Rio Cachoeira (JOINVILLE, 2011).

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do Rio Cachoeira, desenvolvido entre 2008 e 2010, forneceu as diretrizes para a implantação de obras de drenagem nesta bacia para prevenção e combate a inundações. Com isto foram feitos anteprojetos e alternativas de projetos de drenagem urbana, visando principalmente a prevenção e controle de inundações na Bacia hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC).

A BHRC é sofre com estes desastres por diversos motivos que podem atuar em conjunto ou separadamente. A declividade do Rio Cachoeira é praticamente nula, o que não favorece a velocidade de escoamento. Ainda há a influência das marés que gera inversão do seu fluxo ocasionando problemas de drenagem e inundações da área central da cidade de Joinville.

Neste contexto, este trabalho visa analisar áreas de inundações da sub-bacia Cachoeira, localizadas na região central da cidade de Joinville e a partir dos dados obtidos, dimensionar reservatórios de contenção de cheias pelo método Müller – Neuhaus, sugerindo áreas de implantação e verificando se estas atendem as solicitações impostas, com o propósito de reduzir inundações na sub-bacia em estudo.

## 2 - ÁREAS DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, localizada inteiramente no município de Joinville/SC (Figura 1), possui uma área de 82,63 km<sup>2</sup>, representando assim 7,3% da área total do município (Uberti, 2012).

Com extensão de 14,9 km, a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira contém suas nascentes localizadas no bairro Costa e Silva, em área de topografia plana, e sua foz em área de estuário, sendo que sua vazão encontra-se entre 3 e 5 m<sup>3</sup>/s (Uberti, 2011).

Da área total que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, 55% encontra-se impermeabilizada, concentrando-se em áreas de menor declividade, e consequentemente, as mais suscetíveis a inundações (Muller, 2012).

## 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a delimitação da bacia, a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) e determinação da rede de drenagem em escala 1:5.000, utilizaram-se as cartas topográficas digitais da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS).

A produção do mapa de uso e cobertura do solo da região foi feita a partir das análise das de Imagens do satélite LANDSAT- 8, com auxílio do software ArcGISNa elaboração do mapa de classificação dos solos, na escala 1:50.000, utilizou-se os dados disponíveis SIMGeo.

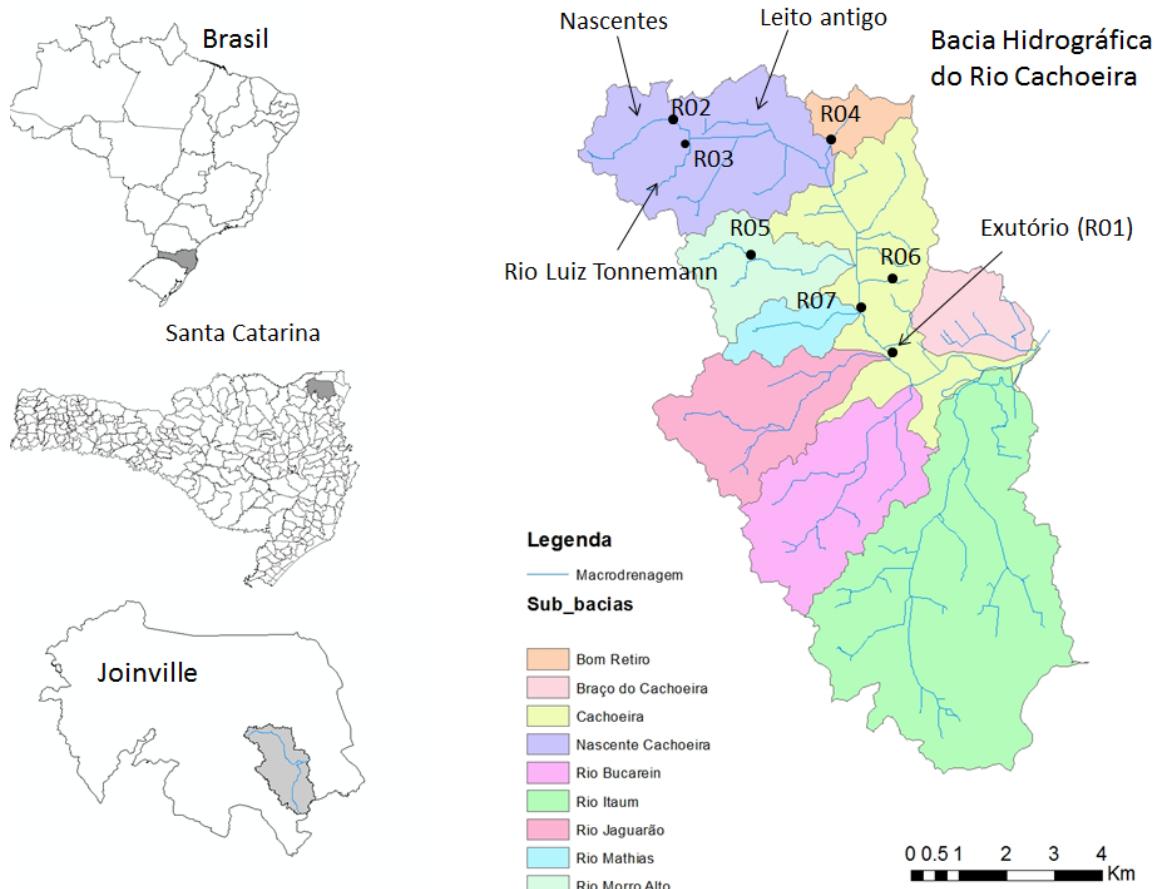


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (Fonte: autoria própria)

As classes de uso de solos foram definidas como Vegetação Nativa, ou seja, áreas com Floresta Ombrófila Mista nos diferentes estágios de crescimento e de regeneração, e Área Urbana, sendo estas, áreas com a presença de urbanização, sejam elas zonas residenciais, comerciais, industriais, e de propriedade pública ou particular.

O Soil Conservation Service – SCS, e Müller – Neuhaus, foram os métodos empregados, além de parâmetros hidrológicos necessários no decorrer do estudo, podendo estes serem caracterizados como modelos hidrológicos, ou seja, ferramentas científicas que simulam o comportamento de uma bacia hidrográfica, auxiliando uma melhor interpretação da mesma (MAIDMENT, 1993).

Para auxiliar na implantação do método, utilizou-se o software *Hydrologic Engineering Center* - HEC-HMS, desenvolvido para análises hidrológicas de águas superficiais e subterrâneas, além de estatísticas hidrológicas, gerenciamento de controle das águas, análise de sistema de reservatórios, entre outras (USACE - HEC, 2015).

## 4 - ESTUDO DE CASO

Para o processo de delimitação da bacia hidrográfica e determinação da rede de drenagem, utilizou-se o Modelo Numérico do Terreno (MNT), juntamente com as Curvas de níveis, em escala 1:5000, fornecidas pelo SIMGeo. Também se delimitou as sub-bacias (Figura 2), sendo a localização das mesmas estrategicamente determinadas em relação aos possíveis pontos de implantação dos reservatórios, respeitando as normativas para o dimensionamento, e disponibilidade de áreas livres para viabilização do empreendimento.

Posteriormente, fez-se a escolha do exutório, optando como critério o ponto crítico de inundação da região central de Joinville, na região próxima à Rua Cachoeira.

Após análise das de Imagens do satélite LANDSAT- 8, e com auxílio do software ArcGIS, classificou-se a região estudada em áreas de ocupação urbana (78,47%) e áreas de vegetação nativa (21,535%), confirmando o predomínio urbano da bacia.

Para definição dos tipos de solos predominantes em cada sub-bacia, utilizou-se os mapas presentes no Boletim Técnico do Rio Cachoeira. Sobrepondo-se o limite da bacia hidrográfica delimitada e gerando-se o mapa de classificação do solo, foi possível realizar a comparação com os grupos hidrológicos classificados por Tucci (2009). Desta forma, observou-se um predomínio de solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.

Dentre os parâmetros hidrológicos estabelecidos para a realização do estudo da bacia, destacam-se o tempo de concentração, calculado a partir da média de tempos por três fórmulas distintas (Pasini, DNOS e Kirpichm) e, o parâmetro Curve Number – CN, obtido através do percentual de áreas de cada sub-bacia, correspondente ao uso e ocupação do solo e, a precipitação, sendo esta, obtida no Manual de Drenagem do Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, desenvolvido por JOINVILLE (2011).

Para análise, utilizou-se o tempo de redução de cada sub-bacia, ou seja, 60% do tempo de concentração encontrado, em períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, conforme recomendações do próprio manual de drenagem, e para durações de 10min.

A escolha dos locais para implementação dos reservatórios (Figura 3) foi realizada a partir da restituição aerofotogramétrica de 2010, disponibilizada pelo SimGEO, onde optou-se pela utilização de áreas públicas, como praças e parques, relativamente próximas ao canal em estudo.

Para a implantação do primeiro reservatório, denominado R01, escolheu-se uma área próxima ao exutório da bacia, e em contrapartida, foram sugeridas outras seis áreas para implantação de seis reservatórios múltiplos, a fim de diminuir a vazão de entrada no R01, e minimizar as inundações locais nestas regiões.

Os reservatórios possuem áreas e volumes de armazenamento distintos, e apresentam orifícios e vertedores como estruturas de saída, possuindo o papel de extravasar a água

armazenada no interior do mesmo. Estes foram calculados através de fórmulas recomendadas por Canholi (2014).

A partir da definição destes dados, torna-se possível analisar a maneira com que a vazão de saída comporta-se em relação ao nível de água no reservatório (Tabela 1).

A metodologia mais detalhada dos critérios utilizados para este pré-dimensionamento está descrita em Savi (2016).

## 5 - RESULTADOS

Após a elaboração dos cálculos e aplicação dos métodos propostos, realizou-se a simulação do comportamento da bacia delimitada para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, tornando possível obter valores referentes a vazão gerada pela bacia, conforme a duração da precipitação (Figura 4), e a relação desta com o escoamento superficial (Tabela 2).

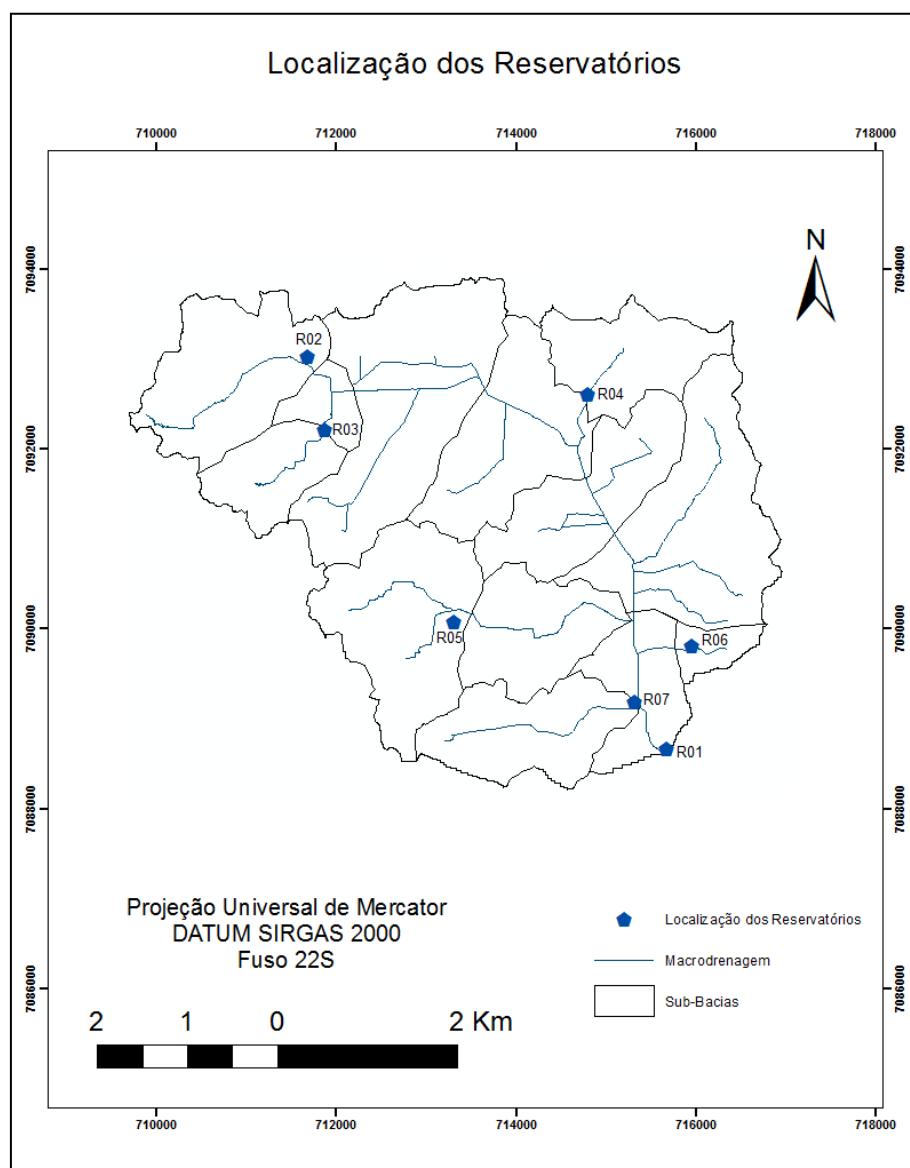


Figura 2 – Localização dos Reservatórios (Fonte: autoria própria)

Tabela 1 – Vazão de Saída

Elevação [m]	Vazão de Saída [m <sup>3</sup> /s]					
	R02	R03	R04	R05	R06	R07
1,0	1,15	0,58	1,73	1,73	0,29	1,15
1,5	1,49	0,74	2,23	2,23	0,37	1,49
2,0	1,76	0,88	2,64	2,64	0,44	1,76
2,5	1,99	1,00	2,99	2,99	0,50	1,99
3,0	2,20	1,10	3,31	3,31	0,86	2,20
3,5	2,40	1,20	3,59	3,59		2,40
4,0	2,57	1,29	3,86	3,86		2,57
4,5	3,68	1,37	4,74	5,68		3,84
5,0	5,55	1,92	6,12	8,77		6,00

Tabela 2 – Vazão e Volume para diferentes Períodos de Retorno

Período de Retorno	2 anos	5 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Vazão [m <sup>3</sup> /s]	76,3	139,6	182,6	275,2	319,3
Volume [ 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	1114,3	2011,9	2635,4	4019,5	4635,7

Constatou-se que mesmo o volume do R01 sendo relativamente grande, 103.300,75m<sup>3</sup>, quando comparado a volumes encontrados a partir simulação, conclui-se que o reservatório não seria suficiente para amortecer significativamente o pico de cheia gerado em nenhum dos períodos de retorno analisados. O R01 armazenaria, em média, apenas 9,30% do volume escoado pela bacia no período de retorno de 2 anos.

Em decorrência disto, comprova-se que apenas um reservatório de grandes dimensões está longe de satisfazer a situação atual de urbanização em que a cidade encontra-se, sendo necessário realizar intervenções que minimizem as inundações geradas na bacia, sejam elas a implantação de reservatórios múltiplos ao longo da bacia hidrográfica, que trabalhem em conjunto com o R01 ou a adoção de outras medidas estruturais.

Tabela 3 - Análise da funcionalidade dos reservatórios

VERIFICAÇÃO - ÁREA DISPONÍVEL E ÁREA NECESSÁRIA					
	TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
R02	✓	✗	✗	✗	✗
R03	✓	✓	✓	✗	✗
R04	✓	✓	✗	✗	✗
R05	✓	✓	✗	✗	✗
R06	✓	✓	✓	✓	✓
R07	✓	✗	✗	✗	✗

Quando realiza-se a análise dos reservatórios múltiplos, verificando o volume necessário para implantação dos reservatórios, pelo método de Müller – Neuhaus, e o volume disponível para

estas implantações, é possível constatar que todos os reservatórios atendem o período de retorno de 2 anos, porém, estes já começam a apresentar insuficiências em períodos maiores (Tabela 3), surgindo a necessidade da obtenção de maiores áreas para implantação de reservatórios e/ou medidas estruturais que trabalhem em conjunto.

No PDDU há outros anteprojetos e estudos de alternativas para sub-bacias do Rio Cachoeira. As sub-bacias que sobrepõem os estudo deste trabalho e do PDDU são as sub-bacias Nascente do Rio Cachoeira, Rio Cachoeira Leito Antigo, Rio Bom Retiro, Rio Luiz Tonnemann, Vertente da Rua Salvador Canal Salvador, Vertente do Morro do Boa Vista Rio Água Marinha, Vertente do Morro do Boa Vista Parque de France, Vertente do Morro do Boa Vista Lagoa Saguaçu, Rio Mirandinha, Rio Morro Alto e Rio Mathias.

No estudo de alternativas e anteprojetos do PDDU, as alternativas selecionadas para o Rio Luiz Tonnemann (aqui representando pelo dimensionamento do R03 – Figura 1) foram, por exemplo, diferentes deste estudo. Segundo o PDDU, a alternativa para este rio seria a alternativa que privilegiou a derivação da vazão através de quatro galerias By-Pass, com o intuito de minimizar os impactos nas desapropriações no entorno do canal natural.

Já para a sub-bacia Nascentes do Rio Cubatão (R03) – Figura 1 - privilegiou-se a ampliação da capacidade do canal e dos dispositivos de drenagem que causem restrições ao escoamento, seguindo seu curso natural.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a caracterização da bacia hidrográfica analisada comprovou-se o predomínio de áreas urbanizadas, fator este de grande influência para a ocorrência de inundações quando analisado o fato da cidade ter se desenvolvido sem planejamento, com ocupação desordenada e sem a devida atenção aos recursos hídricos.

Com a realização do dimensionamento dos reservatórios propostos observa-se que o principal reservatório, o R01, não possui dimensões suficientes para armazenar a quantidade do volume gerado, sendo sua aplicabilidade ineficiente para a situação atual em períodos de retorno distintos.

Na análise dos reservatórios múltiplos, apenas o Reservatório 06 atende todos os critérios dos períodos de retorno, porém ocorre a necessidade de estudos detalhados, considerando que este consiste apenas em um pré-dimensionamento e são necessários estudos de viabilidade técnica e econômica. O mesmo aplica-se para os outros reservatórios que geraram resultados positivos para períodos de retorno menores, como o R03, que atendeu as necessidades dos períodos de retorno de 2,5 e 10 anos, e o R04 e R05, que supriram a necessidade dos períodos de retorno de 2 e 5 anos. Todavia, tais reservatórios quando analisados somente na sua sub-bacia, diminuem o escoamento superficial e reduzem os índices de inundações locais.

Por se tratar de uma obra complexa e de macrodrenagem, o tempo em que a maioria dos reservatórios satisfaz a necessidade encontrada, assim como o pequeno percentual dos reservatórios que apresentaram resultados positivos, talvez não inviabilize a implantação de reservatórios como solução para controle a este desastre tão frequente nesta bacia.

Porém é preciso se pensar em soluções mais sustentáveis. Segundo Tucci e Mueller (2007), nos países desenvolvidos a drenagem urbana está na fase “sustentável nos novos empreendimentos”, priorizando medidas de infiltração, redução e tratamento do volume.

Portanto, podemos continuar considerando alternativas como reservatórios ou canalização, seguindo a tendência dos anos 90. Porém, precisamos estar cientes que este tipo de medida, muitas vezes, só transfere a localização ou retarda o impacto dos desastres, neste caso a inundações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANHOLI, A. P. (2014). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos;
- JOINVILLE (PMJ) (2011). *Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira*. Prefeitura Municipal de Joinville;
- MAIA, B. G. de O; KLOSTERMANN, D.; RIBEIRO, J. M. G.; SIMM, M.; OLIVEIRA, T. M. N.; BARROS, V. G. (2014) Bacias Hidrográficas da Região de Joinville. Gráfica e Editora 3 de Maio LTDA. Blumenau;
- MARTINS, L. G. B. (2012) *Determinação de parâmetros hidrológicos por técnicas de sensoriamento remoto em macrodrenagem urbana*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos;
- MULLER, CRISTIANE R. (2012) *Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC*. 117-. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis;
- PORTO ALEGRE (DEP/POA) (2005). *Plano diretor de drenagem urbana: Manual de drenagem urbana*. Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre;
- SOUZA, RICARDO C. C. de. (2013) *Análise da utilização de reservatório de contenção de cheias em edificações e seu impacto no sistema de drenagem urbana*. 116 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR;
- TUCCI, C. E. M. (2009) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Da. UFRGS;
- TUCCI, C. E. M. MUELLER, A. (2007) *Regulação das águas pluviais urbanas*. REGA – Vol. 4, no. 1, p. 75-89, jan./jun. 2007;
- UBERTI, A. A. A. (2011) *Boletim técnico do levantamento da cobertura pedológica do município de Joinville*. Município de Joinville;
- UBERTI, A. A. A. (2012) *Boletim técnico do levantamento da cobertura pedológica e da aptidão agrícola das terras da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira*. Município de Joinville;
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER – USACE/HEC. (2015) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual*. Davis, CA, Julho 2015.