

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE EDUARDO BRUNELLI

AVALIAÇÃO DO ABATIMENTO DE CHEIAS NO PARQUE SÃO LOURENÇO EM
CURITIBA -PR

CURITIBA

2017

ALEXANDRE EDUARDO BRUNELLI

AVALIAÇÃO DO ABATIMENTO DE CHEIAS NO PARQUE SÃO LOURENÇO EM
CURITIBA -PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina TTA028 e requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Michael Mannich

CURITIBA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEXANDRE EDUARDO BRUNELLI

AVALIAÇÃO DO ABATIMENTO DE CHEIAS NO PARQUE SÃO LOURENÇO EM CURITIBA -PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina TTA028 e requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental. ,
pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Michael Mannich
Orientador

Prof. Dr.
Ricardo Carvalho de Almeida

Prof. Dr.
Eduardo Felga Gobbi

Curitiba, 04 de dezembro de 2017.

*Este trabalho é dedicado à minha família e amigos, que sempre me deram todo suporte
que precisei.*

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos principais são direcionados ao meu Orientador, Prof. Dr. Michael Mannich, por todo suporte oferecido, comprometimento e disponibilidade, e por compartilhar parte de seu conhecimento para realização desse trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo caracterizar as áreas de drenagem de lagos urbanos de Curitiba-PR, e avaliar o potencial de redução de vazões exercido pelos lagos do Parque São Lourenço e do Parque Barigui. Lagos projetado como o lago do parque São Lourenço, localizado ao norte de Curitiba-PR, cujo afluente majoritário é o Rio Belém, tem objetivo de regularização de vazão além de funções paisagísticas e recreativas. Os dados fisiográficos da bacia e do lago foram obtidos de cartas topográficas por meio de uma ferramenta de Gis (*Quantum Gis*). A área do lago é cerca de 4,3ha, e da bacia 4,17km². O hidrograma afluente foi construído pelo método *SCS* de hidrograma triangular. A precipitação foi determinada por meio da *equação-IDF* para região e o tempo de concentração foi obtido pela *Fórmula de Kirpich*. O coeficiente de escoamento superficial adotado no modelo foi 0,25 e 0,45 em análise posterior. A propagação de vazões no lago foi realizada pelo *Método de Pulz*, resolvido em rotina em Matlab. Foram realizadas simulações com diferentes tempos de retorno e duração da precipitação, para os intervalos de 0 à 50 anos para o TR e de 0 à 150 min, de duração da precipitação. A análise de dados observa que: (i) as vazões afluentes (I_m) e efluentes (Q_m) variam em função tanto de (TR) quanto de (tr); (ii) os valores de redução para os intervalos considerados estiveram entre um máximo de 78,32 %, e um mínimo de 5% parao lago Barigui; (iii) percebe-se que existem pontos críticos em que se observam maiores vazões, esses pontos máximos devem-se a relação existente entre tr e TR; (iv) Para pequenos tempos e , o abatimento de picos é maior do que 50%. Levando em conta os resultados, o reservatório desempenha satisfatoriamente seu papel de regulador de vazões, considerando suas dimensões reduzidas dentro de um ambiente densamente urbanizado.

Palavras-chaves: São Lourenço, regularização de vazões, Rio Belém.

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize the urban lake drainage areas of Curitiba-PR, and to evaluate the potential of flow reduction by the lakes of the São Lourenço Park and the Barigui. Designed lakes as the lake of the São Lourenço park, located at north of Curitiba-PR, whose main tributary is the Belém River, has the objective of regularizing flow, besides landscape and recreational functions. The physiographic data of the basin and the lake were obtained from topographic charts by means of a Gis tool (Quantum Gis) tool. The lake area is about 4.3ha, and the basin 4.17km². The affluent hydrograph was constructed by the triangular hydrograph method SCS. Precipitation was determined by the equation-IDF for the region and the time of concentration was obtained by the Kirpich formula. The coefficient of surface flow adopted in the model was 0.25 and 0.45 in later analysis. The propagation of flows in the lake was performed by the Pulz Method, solved routinely in Matlab. Simulations with different return times and rainfall duration were performed for the 0 to 50 year intervals for the TR and from 0 to 150 min of rainfall duration. The data analysis shows that: (i) the affluent (I_m) and effluent (Q_m) flows vary as a function of both (TR) and (tr); (ii) the reduction values for the ranges considered were between a maximum of 78.32 %, and a minimum of 5 % for Barigui Lake; (iii) it is noticed that there are critical points in which larger flows are observed, these maximum points are due to the relationship between tr and TR; (iv) For small times and, the peak abatement is greater than 50 %. Taking into account the results, the reservoir performs satisfactorily its role of flow regulator, considering its reduced dimensions within a densely urbanized environment.

Key-words: São Lourenço, flow regulation, Belém river.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ortofoto da região do entorno do Parque São Lourenço, Curitiba-PR.	22
Figura 2 – Organograma do ciclo hidrológico	23
Figura 3 – Representação do balanço hídrico de uma região em cenários distintos	24
Figura 4 – Distribuição das enchentes na RMC de 2005 a 2010	26
Figura 5 – Cartograma de incidência de enchentes na RMC de 2005 a 2010	26
Figura 6 – Representação de hidrograma em diferentes cenários	30
Figura 7 – Mapa da bacia hidrográfica que drena ao lago do parque São Lourenço.	34
Figura 8 – Hidrograma triangular de entrada	36
Figura 9 – Curva de armazenamento pela equação do vertedouro	40
Figura 10 – Vazões de entrada e saída para TR=100 anos e tr=30 minutos	41
Figura 11 – Elevação do nível para TR= 100 anos e tr= 30 min	41
Figura 12 – Vazão de pico de entrada (I_m) em função de TR e tr	42
Figura 13 – Vazão de pico de saída (Q_m) em função de TR e tr	42
Figura 14 – Redução percentual da vazão de pico em função de TR e tr	43
Figura 15 – Elevação do nível do lago em função de TR e tr	43
Figura 16 – Vazão de pico de entrada no vertedouro para C= 0.25	44
Figura 17 – Mapa da bacia hidrográfica que drena ao lago do parque Barigui em comparação à bacia do São Lourenço.	46
Figura 18 – Vazão de pico de saída no vertedouro para C= 0.25	47
Figura 19 – Redução percentual de picos de vazão para C=0.25	48
Figura 20 – Vazões de pico de entrada e saída respectivamente e redução para C=0.45	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela resumo de dados da bacia e lago	39
Tabela 2 – Tabela resumo de dados da bacia do Rio Barigui e lago	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
LID	Low Impact Development
IMP	Práticas Integradas de Gerenciamento
SEGRH/PR	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SWMM	Storm Water Manegement Model

LISTA DE SÍMBOLOS

TR	Tempo de retorno
tr	Tempo de duração da precipitação
Q_m	Vazão de saída do reservatório
I_m	Vazão de entrada no reservatório
H	Altura do reservatório
H_o	Altura inicial do reservatório
De	Declividade
ΔH	Variação altimétrica
h	Parâmetro de forma do método SCS
Kc	Coefficiente de compacidade
P	Perímetro da bacia hidrográfica
A	Área da bacia hidrográfica
I_{max}	Intensidade de precipitação máxima
t	Tempo de duração
tc	Tempo de concentração
q_p	Vazão de pico
t'_p	Tempo do início da precipitação até o pico de vazão
Q	Volume precipitado
t_p	Tempo de pico
S	Armazenamento
$Q(t, V)$	Vazão de saída
$I(t)$	Vazão de entrada
Cv	Coefficiente de descarga
Lv	Largura do vertedouro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivos	22
1.1.1	Objetivos Específicos	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Ciclo hidrológico	23
2.2	Modelos de drenagem	27
2.3	Medidas estruturais e não estruturais	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Aquisição de dados fisiográficos e de precipitação da bacia e reservatório	33
3.1.1	Declividade (De)	35
3.1.2	Coeficiente de compacidade (Kc)	35
3.1.3	Intensidade de chuva (I)	35
3.1.4	Tempo de concentração (tc)	35
3.2	Determinação do hidrograma afluente	35
3.3	Hidrograma efluente	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Bacia do Lago São Lourenço	39
4.2	Bacia do Lago Barigui	43
4.2.1	Coeficiente de escoamento superficial $C=0,45$	47
4.3	Plano diretor de drenagem do bacia do alto Iguaçu	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	Referências	55

1 INTRODUÇÃO

Em ambientes rurais, grande parte da precipitação é retida pela vegetação, outra parte caracteriza-se por percolação e escoamento subterrâneo e uma parte menor constitui o escoamento superficial, implicando em um tempo de resposta maior da bacia e em picos de vazão moderados (PEDROSA, 1996). A crescente urbanização gera muitas vezes uma grande impermeabilização do solo, contribuindo assim para um aumento no escoamento superficial, diminuição no tempo de resposta da bacia e potencializando picos de vazão (TUCCI, 1993).

Por conta de uma redução no tempo de resposta da bacia, juntamente ao aumento do escoamento superficial, cada vez mais regiões antes predominantemente rurais, passam a ter problemas com inundações à medida que se tornam mais povoadas e urbanizadas.

Inundações normalmente são marcadas pela destruição de bens materiais e da infraestrutura da região, propagação de doenças e muitas vezes, levando indivíduos a óbito.

Estima-se o custo de enchentes em 22 milhões de dólares/ano para a região de Itajaí-SC, e que para uma inundação de tempo de retorno de 50 anos os custos previstos seriam de 250 milhões. Em Santa Catarina, no ano de 2008, foram registradas 1900 suspeitas de leptospirose, sendo a maior parte registrada em municípios atingidos por enchentes (TUCCI, 2001b). Pode-se citar o caso de uma enchente do Rio Canhoto, localizado na região do município de São José da Lage, que resultou na morte de mais de 1000 pessoas e desabrigou mais de 10.000. Os Custos foram estimados em 30 milhões de dólares (NOGUEIRA, 2010). Sendo assim, estudo e investimento em redes de drenagem satisfatórias para o meio urbano são cruciais na prevenção de enchentes.

Um bom planejamento de macrodrenagem, e obras como a construção de galerias, proteção das encostas de rios e córregos, e ainda a construção de reservatórios, podem contribuir para o bom funcionamento da drenagem. Reservatórios em geral têm capacidade de amortecer enchentes em suas proximidades (KAVISKY; CUNHA; GARCIA, 2007). O reservatório em questão no presente trabalho, o lago do Parque São Lourenço (Figura 1), localizado na região norte de Curitiba-PR, foi construído em 1972, juntamente com o parque do entorno em uma região já na época bastante povoada (NOGUEIRA, 2010). Entre os motivos de sua construção, as enchentes, as quais eram comuns na região, que são apontadas como a principal causa.

Figura 1 – Ortofoto da região do entorno do Parque São Lourenço, Curitiba-PR.



Fonte: [SUDERHSA \(2000\)](#)

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral em nosso estudo é avaliar e quantificar o potencial de amortecimento de ondas de enchente promovido pelo lago do parque São Lourenço, para chuvas de diferentes intensidades e durações e posteriormente aplicar metodologia similar para avaliar o potencial de outro lago.

1.1.1 Objetivos Específicos

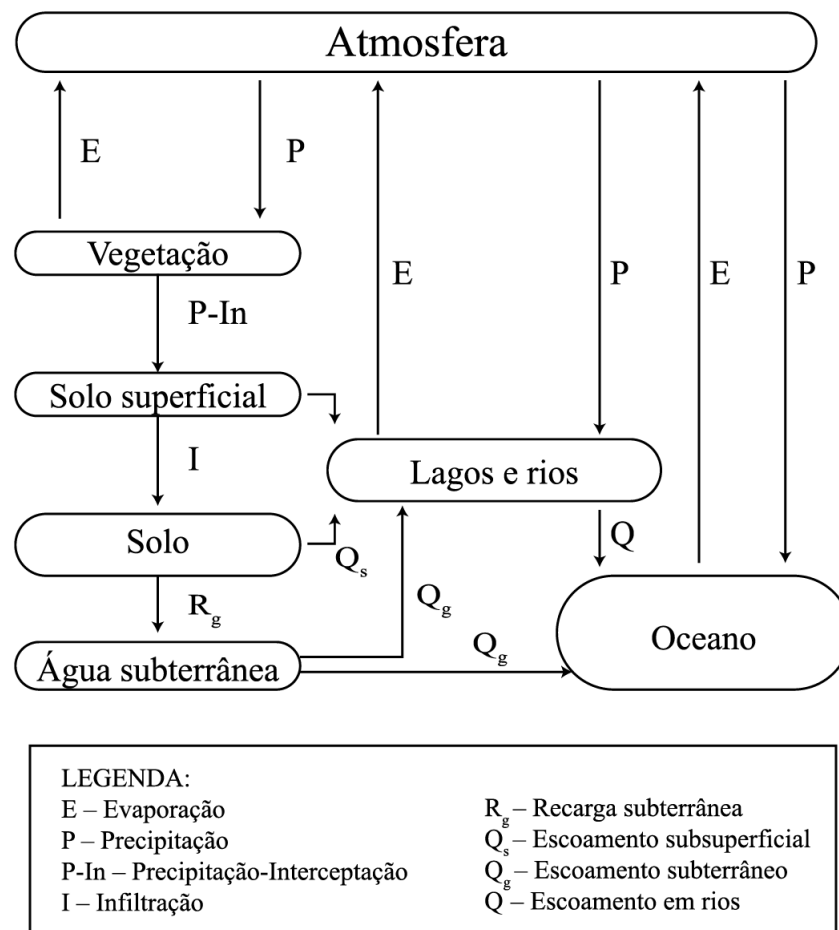
- Caracterização das regiões de interesse, como localização, área de drenagem, topografia, declividade, entre outros, por meio cartas topográficas e ortofotos da região;
- Elaboração de uma rotina em Matlab para solução dos métodos empregados;
- Elaboração de hidrogramas de projeto simplificado.
- Aplicação de um método de propagação de vazões em reservatórios;
- Efetuar uma avaliação preliminar da eficiência do abatimento de picos do hidrograma na entrada no lago;
- Aplicar uma metodologia de avaliação semelhante ao lago do parque Barigui, localizado em Curitiba-PR também para fins comparativos;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO E IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

A nível global o ciclo hidrológico é um fenômeno de circulação fechada da água presente na superfície terrestre e atmosfera, porém nem sempre as precipitações se dão nos mesmos locais de evaporação (TUCCI, 1993). A grande variabilidade espacial e temporal observada no ciclo hidrológico pode-se atribuir à desuniformidade de insolação, diferentes comportamentos térmicos das diferentes superfícies terrestres, sazonalidade, quantidades de CO₂ e vapor d'água na atmosfera, entre outros.

Figura 2 – Organograma do ciclo hidrológico



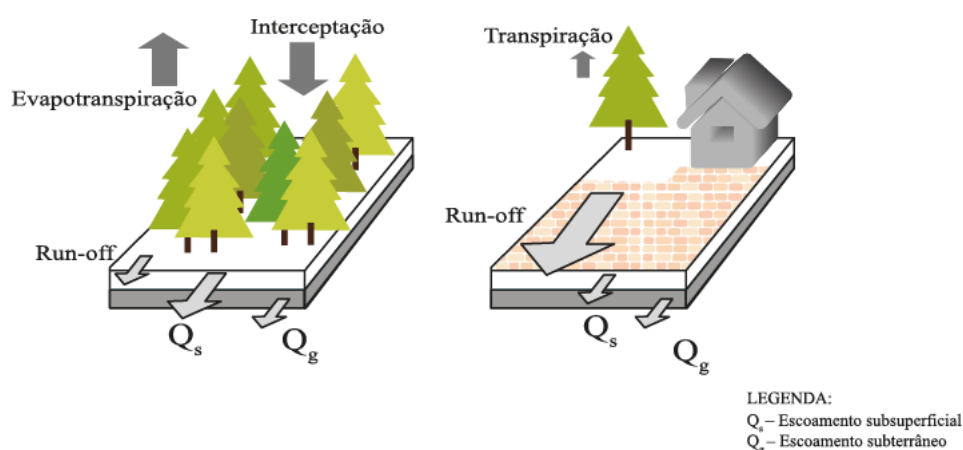
Fonte: adaptado de (SERRANO, 2010, p.13)

O ciclo hidrológico pode ser descrito por um conjunto de processos fundamentais, como apresentado por Serrano (2010). A figura 2 representa simplificada esse conjunto de processos. Pode-se listar os seguintes processos de maior importância:

- Precipitação - Em sua forma mais comum, a chuva, é um processo complexo de aglutinação e crescimento de microgotículas em presença de núcleos de condensação nas nuvens, as quais adquirem peso maior do que as forças ascendentes atmosféricas e tendem a precipitar-se. Busca-se compreender a natureza, distribuição espacial e distribuição temporal dos eventos de precipitação.
- Armazenamento- Parte do volume precipitado que efetivamente chega ao solo pode ficar armazenado em depressões na superfície, podendo tanto ser infiltrado quanto evaporar novamente a atmosfera, e dependendo da topografia, permeabilidade do solo e cobertura vegetal, o armazenamento influencia sobre redistribuição da água na bacia hidrográfica.
- Infiltração- Outra parte da precipitação que chega ao solo, penetra na superfície e é redistribuída na bacia hidrográfica. É um processo fundamental para recarga de aquíferos e transporte de contaminantes no solo.
- Escoamento em Rios- É composto pelo escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo, sendo as vazões encontradas em determinado curso d'água um somatório dessas componentes.

Uma vez que em geral as análises feitas consideram ciclos hidrológicos como ciclos abertos, torna-se necessário um balanço hídrico regional para determinação das entradas, saídas e consequente armazenamento, representado na figura 3, em dois cenários diferentes, de pré-urbanização e de pós-urbanização.

Figura 3 – Representação do balanço hídrico de uma região em cenários distintos



Fonte: adaptado de (SUDERHSA, 2002, p.15)

Técnicas de previsão da propagação de eventos de cheias em bacias hidrográficas são bastante úteis na previsão, monitoramento e avaliação de fenômenos hidrológicos e estão diretamente relacionadas aos processos citados anteriormente em Serrano (2010).

O desenvolvimento urbano, muitas vezes sem o devido planejamento, tem causado grande impacto na infraestrutura de drenagem urbana das cidades, principalmente em grandes capitais e suas regiões metropolitanas.

Vários problemas estão relacionados a limitações na gestão de serviços de saneamento e drenagem, como: doenças de veiculação hídrica, transporte de material sólido pela rede de drenagem, seja ele lixo ou sedimentos, problemas com inundações em regiões ribeirinhas devido a ocupação irregular, ou em regiões urbanas onde a impermeabilização e o mau uso do solo favorecem ao aumento da frequência e magnitude de eventos de inundação, contaminação de aquíferos. A prática de construção de fossa séptica é recorrente em regiões periféricas onde não há cobertura pelo sistema de esgotamento, e tratando-se de águas superficiais, sua qualidade fica comprometida, visto que são feitas muitas ligações clandestinas de esgoto em galerias de águas pluviais (TUCCHI, 2001a).

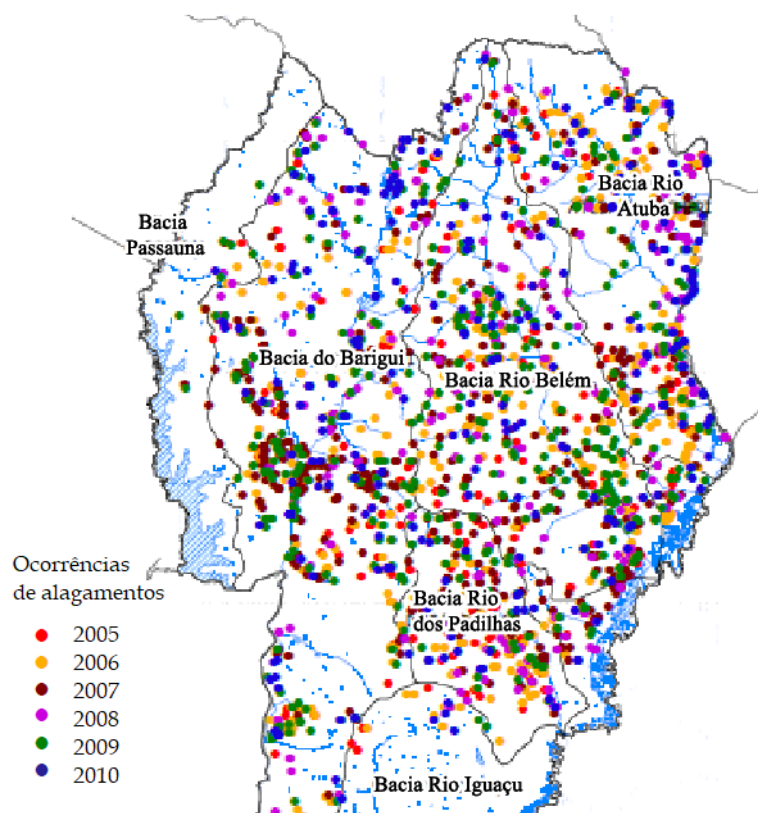
A população mais rica tende a habitar regiões seguras, enquanto a população mais carente acaba em áreas de risco maior de inundação, agravando ainda mais os problemas sociais a cada evento de inundação. Em regiões onde a frequência de ocorrência de tais eventos é pequena, a ocupação acaba ocorrendo apesar do risco, muitas vezes por falta de informação da população.

O trabalho de Lohmann (2013), apresentou, entre outras análises, o número de alagamentos nas sub-bacias do Alto Iguaçu para os anos de 2005 a 2010, assim como a variação espacial dos eventos, como indicado na figura 4

Analisando as séries temporais e suas distribuições espaciais Lohmann (2013) elaborou os cartogramas da figura 5, os quais revelam que os eventos de inundação, apesar da grande variabilidade espacial, ora estando mais concentrados na bacia do Belém, ora na bacia do Barigui e por vezes na bacia do Atuba, apresentam constância na região central da bacia do Belém e Barigui, região sul da bacia do Atuba e a maior mancha de inundação deu-se na bacia dos Padilhas.

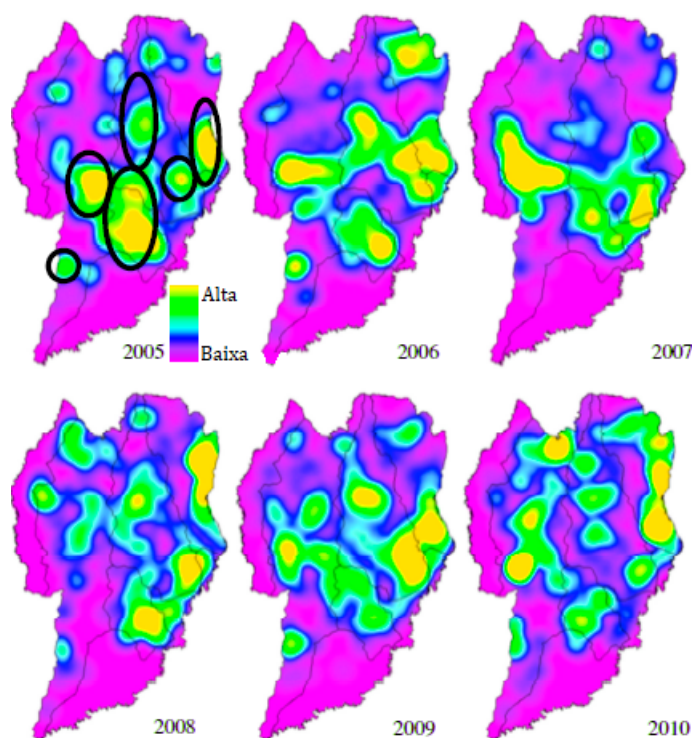
Especificamente para problemas de inundações, frequentes nas grandes cidades da atualidade, a visão tradicional de projeto de drenagem tem sido modificada a um conjunto de soluções sistêmicas e intervenções distribuídas, na qual o planejamento do espaço urbano tem vital importância para tal abordagem. Questões como o uso do solo e o manejo sustentável de águas pluviais devem ser consideradas visando o menor impacto, e buscando compreender e reproduzir comportamentos hidrológicos anteriores à urbanização. Também deve ser observado que os impactos das soluções de drenagem não devem ser transferidos no espaço e no tempo para regiões a jusante, como por exemplo, canalizações que aumentam a velocidade de escoamento de um canal devem considerar o aumento dos volumes escoados para jusante, a fim de evitar volumes superiores aos que aquela região pode conter (REZENDE; MIGUEZ; VERÓL, 2013).

Figura 4 – Distribuição das enchentes na RMC de 2005 a 2010



Fonte: adaptado de (LOHMANN, 2013, p.141)

Figura 5 – Cartograma de incidência de enchentes na RMC de 2005 a 2010



Fonte: adaptado de (LOHMANN, 2013, p.142)

2.2 MODELOS DE DRENAGEM DE BAIXO IMPACTO

Métodos que consideram a quantidade e qualidade da água são normalmente chamados de SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) ou LID (Low Impact Development). O planejamento de acordo com as práticas de LID busca o controle de quantidade e qualidade, fazendo uso de estratégias de projeto integradas acerca do pré-tratamento, filtragem, infiltração e armazenamento e reuso. Entre as medidas adotadas, pode-se citar as que incluem controle e captura de poluentes, recarga subterrânea, uso paisagístico; e entre os múltiplos usos da água, detenção e/ou retenção (STEFFENS; PINTO, 2009), o qual é foco desse trabalho .

Segundo Flagstaff (2009), inúmeros benefícios e vantagens são identificados a respeito de LID sobre a abordagem convencional, como redução de irrigação; a diminuição das taxas de escoamento e dos volumes a jusante na bacia e proporciona melhoria ambiental ao local e a qualidade de vida da população local, uma vez que o planejamento do espaço urbano deve considerar aspectos urbanísticos, hidrológicos e ambientais simultaneamente à sua evolução temporal, ou seja, incluir o manejo das águas pluviais como um todo ao projeto urbano da região.

No trabalho de Tavanti e Barbassa (2012) foi avaliada a drenagem de uma região em três cenários diferentes: pré-urbanização; urbanização convencional, e urbanização de baixo impacto. Observou-se que a área de cobertura vegetal teve um aumento de 25%, juntamente à redução de 17% das áreas impermeáveis comparando o LID ao desenvolvimento convencional, agregando ganhos paisagísticos ao projeto. Quanto ao aspecto hidrológico, foi observada redução de 21% das vazões de pico, e fazendo o uso de Práticas Integradas de Gerenciamento (IMP) agregadas ao LID obteve-se grande proximidade à modelagem do cenário de pré-desenvolvimento. Para o bom funcionamento desse sistema integrado, o Plano de Drenagem deve funcionar em sinergia aos Planos: de Esgotamento Sanitário, de Resíduos Sólidos, e Diretor Urbano.

Usando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento, Rezende, Miguez e Veról (2013) abordaram a bacia hidrográfica dos rios Pilar-Calombé, localizada no município de Duque de Caixas-RJ, a fim de mostrar quantitativamente como soluções convencionais para problemas de drenagem (canalização) atuam pontualmente, e são insustentáveis a longo prazo, enquanto soluções sustentáveis e integradas apresentam melhores resultados quando bem executadas, embora apresentem uma potencial desvantagem, já que necessitam de uma boa gestão e integração entre os diferentes Planos citados acima. O modelo utilizado, o MODCEL, discretiza a bacia em compartimentos articulados pelo conceito de células de escoamento e estas, quando somados representam, fisicamente a bacia. As simulações feitas para diversos cenários, de soluções tomadas e de ocupação futura, mostraram melhores resultados nos cenários de soluções integradas, se comparadas aos de soluções convencionais, mas em ambas os resultados não foram satisfatórios se considerado

um crescimento urbano desordenado, ressaltando a importância do bom planejamento urbano na drenagem. Por tratar-se de um método de separação da bacia em unidades menores, vale ressaltar que os resultados obtidos podem variar em função do número de sub-bacias utilizadas na discretização como apresentado por [Mahunguana e Bravo \(2015\)](#), onde a vazão de pico da bacia e área de secção transversal do canal principal da bacia de Mavalane “A” e Maxaquene “A” em Mapupo, Moçambique, variam em função da posição escolhida para o pico de vazão e os tempos de duração da precipitação.

2.3 MEDIDAS DE DRENAGEM

Pode-se encontrar em diversas fontes da bibliografia atual a divisão das medidas de controle em: Medidas estruturais, que consistem em obras de engenharia que visam reduzir o risco ou efeito de enchentes, e Medidas não estruturais, que não mais são que ações de controle a serem tomadas pela população em geral, governos e demais órgãos relacionados ao problemas das enchentes.

Entre as medidas não estruturais, pode-se citar desde ações pontuais como utilização de materiais resistentes a água em estruturas, realocação ou proteção de artigos que podem ser danificados e sistemas de alerta e evacuação da defesa civil em eventos de inundação, assim como medidas extensivas como regulamentação do uso da terra e seguro contra enchentes ([TUCCI, 2003](#)).

Segundo [Tucci \(2003\)](#), a medida não estrutural de maior importância na gestão integrada da bacia é a vigência de uma legislação abrangente a respeito da drenagem e recursos hídricos como um todo, e sua respectiva fiscalização e cumprimento.

A nível nacional, a Lei nº 9.785/1999, em seu §5º dispõe sobre equipamentos urbanos, considerando o escoamento das águas pluviais e redes de esgoto (cloacais), entre outros como infraestrutura urbana básica. Assim como a Lei estadual nº 12.726/1999, a qual institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH/PR), em seu CAP IV, Art. 4º que atrela a gestão dos recursos hídricos à gestão ambiental, assim como a gestão do uso do solo e controle de cheias, tendo por objetivo a descentralização da gestão hídrica, uma vez que se trata de uma questão multidisciplinar.

O Capítulo VI caracteriza os instrumentos da política estadual de recursos hídricos em sua Seção II, Art. 9º que, dispõe do Plano de Bacia Hidrográfica, caracterizado como de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas tendo como conteúdo mínimo especificado por lei; entre eles pode-se citar: o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; análise de cenários alternativos de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; divisão dos cursos de água em trechos de rio, com indicação

da vazão outorgável em cada trecho; diretrizes e critérios para cobrança pelos direitos de uso dos recursos hídricos.

O Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4.771/1965, e atualizado pelas Leis nº 12.651/2012 e 12.727/2012 em seu capítulo II, que dispõe das áreas de preservação permanentes, estipula na Seção I, Art. 4º, a largura mínima das faixas marginais de qualquer curso d'água natural, exceto os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular em acordo com a largura do curso d'água, assim como os entornos são tratados como Área de Preservação Permanente para lagos artificiais, como citado no Art. 4º ; “as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento”.

A cobertura do solo no meio urbano e rural tem grande influência na drenagem da água da chuva na região, devendo ser considerada não somente nas áreas de entorno de cursos d'água, mas também em toda área municipal por meio da legislação de zoneamento, uso e ocupação. Em Curitiba-PR, a Lei nº 9.800/2000 dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba e dá outras providências. Normalmente os rios possuem um ou mais leitos, sendo o leito menor em regime estiagem e o leito maior ocupado durante os eventos de enchentes (TUCCI, 2003)

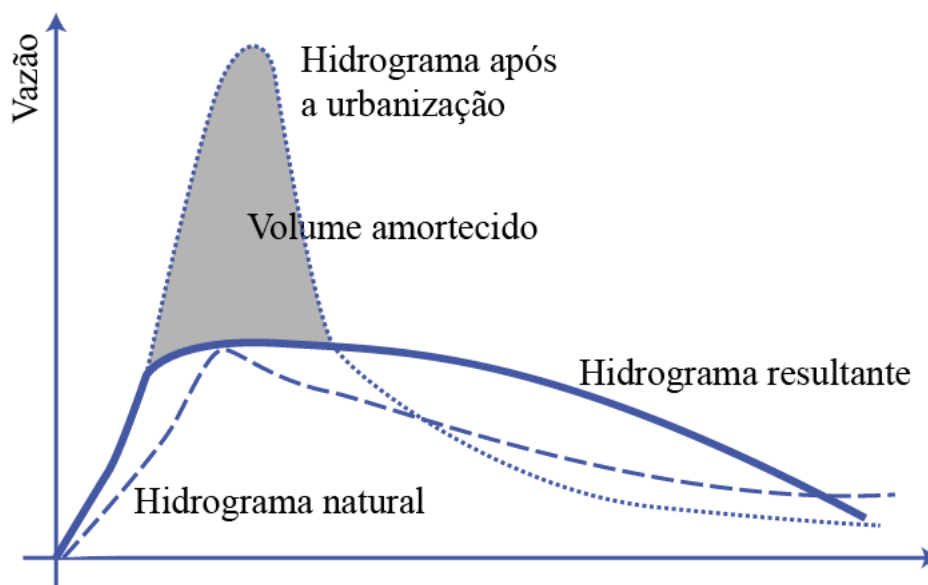
Quanto à bacia de interesse no presente trabalho, identifica-se que quase a totalidade encontra-se em uma Zona Residencial ao norte do município. O uso e ocupação do solo influenciam diretamente os processos de interceptação, infiltração e armazenamento na superfície, uma vez que é comum a impermeabilização das superfícies nos processos de urbanização, alterando assim a drenagem e o ciclo hidrológico da região, em comparação ao estado de pré-urbanização. A respeito da infiltração, a Lei nº 9.800/2000 define a taxa de permeabilidade como o percentual da área do terreno que deve ser mantido permeável; as especificações para cada empreendimento são dadas pelo Decreto municipal n.º 212/2007, o qual aprova o regulamento de edificações do Município de Curitiba, adotando-se geralmente um percentual mínimo de 25% da área do lote, porém podendo variar de acordo com as características da edificação e região de acordo com a lei de Zoneamento.

Cruz, Tucci e Silveira (1998), apresentaram uma possível aplicação de solução sistêmica citada anteriormente. No trabalho foram quantificados volumes de amortecimento de enchentes necessários por lotes, para abatimento de picos de enchente na bacia como um todo, por métodos de simulação das vazões de entrada, saída e armazenamento total. Foram avaliados diferentes modelos de reservatório com medidas compatíveis ao tamanho dos lotes da região de Porto Alegre-RS, onde a área do reservatório não ocupou mais do que 1% da área total do terreno, e obteve-se bons resultados de redução em picos de vazão da bacia em condições adequadas de impermeabilização e escolha correta do tipo de reservatório, visto peculiaridades de cada localidade.

Silva e Cabral (2014) simularam e compararam a aplicação de diferentes métodos

de detenção em uma bacia com inundações recorrentes na região oeste de Recife, com relação ao abatimento e aos custos das alternativas, fazendo uso de SWMM (Storm Water Management Model). O estudo objetivou comparar medidas estruturais aplicadas pontualmente por meio de reservatório em lotes, na microdrenagem por meio de detenção em logradouros e na macrodrenagem em um lago em uma região propícia do canal da Sanbra. Observou-se que para abatimentos de mesma magnitude nas vazões máximas, a solução a nível da macrodrenagem obteve menores custos de implantação. [Tassi e Villanueva \(2004\)](#) obtiveram resultados similares de eficiência e custo quando comparados reservatórios em lotes e reservatórios na macrodrenagem. Segundo valores estimados para a época, uma economia de até 80% poderia ser obtida com soluções a nível da macrodrenagem quando não houvessem custos de desapropriação ou de enterramento de reservatório. Levando em conta o maior custo associado a medidas de controle em lotes, medidas de incentivo fiscal para este tipo de medida pontual poderiam ser consideradas pelos governos. Segundo o trabalho de [Lengler, Leuck e Mendes \(2014\)](#), mostrou-se viável a criação de um benefício na forma de compensação parcial ou total ao gasto privado na adequação do lote aos sistemas de amortecimento de vazão pontuais.

Figura 6 – Representação de hidrograma em diferentes cenários



Fonte: adaptado de ([SUDERHSA, 2002](#), p.18)

Entre as principais medidas estruturais, [Tucci \(2003\)](#) cita: construção de diques, ampliação da seção do rio, corte de meandros e redução da rugosidade do escoamento. Medidas de controle e regularização de vazões, como construção de reservatórios urbanos, que tem como efeito reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo picos do hidrograma (figura (6)) e distribuindo a vazão no tempo, como são apresentadas em [Tucci \(1999\)](#). Em tais projetos de macrodrenagem, a impermeabilização de áreas urbanas acaba se tornando um agravante. [Fendrich \(2002\)](#), utilizando técnicas de classificação de imagens

digitais, mapeou e quantificou áreas permeáveis e impermeáveis da bacia do Rio Belém, em diferentes épocas e sua evolução ao longo do tempo, a fim de demonstrar seus efeitos no retardo do escoamento superficial da região e o aumento nos níveis máximos das enchentes na região da bacia. Em outro trabalho de drenagem em meio urbano, [Kavisky, Cunha e Garcia \(2007\)](#), foi construído o hidrograma efluente amortecido, para o lago Municipal de Cascabel, localizado na área urbana de Cascavel-PR, em que a equação de balanço hídrico foi resolvida por método iterativo. Mesmo em região densamente urbanizada, o lago apresentou resultados que indicam grande capacidade de amortecimento de enchentes na região, devido a características das enchentes urbanas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em três etapas principais: aquisição de dados fisiográficos e de precipitação da bacia e reservatório, a determinação do hidrograma afluente e a determinação do hidrograma efluente. Inicialmente procurou-se caracterizar a área de interesse levantando informações sobre a topografia, impermeabilização, área de drenagem, uma relação intensidade, duração e frequência para chuvas intensas adequada à região, entre outras informações que permitissem a realização de uma análise, mesmo que simplificada. Com base nas informações coletadas, foi determinado um hidrograma de projeto simplificado (SCS-triangular), e uma equação adequada para estimar a vazão de saída no vertedouro do lago, possibilitando assim estimar e estabelecer uma relação entre vazão de entrada, saída e armazenamento.

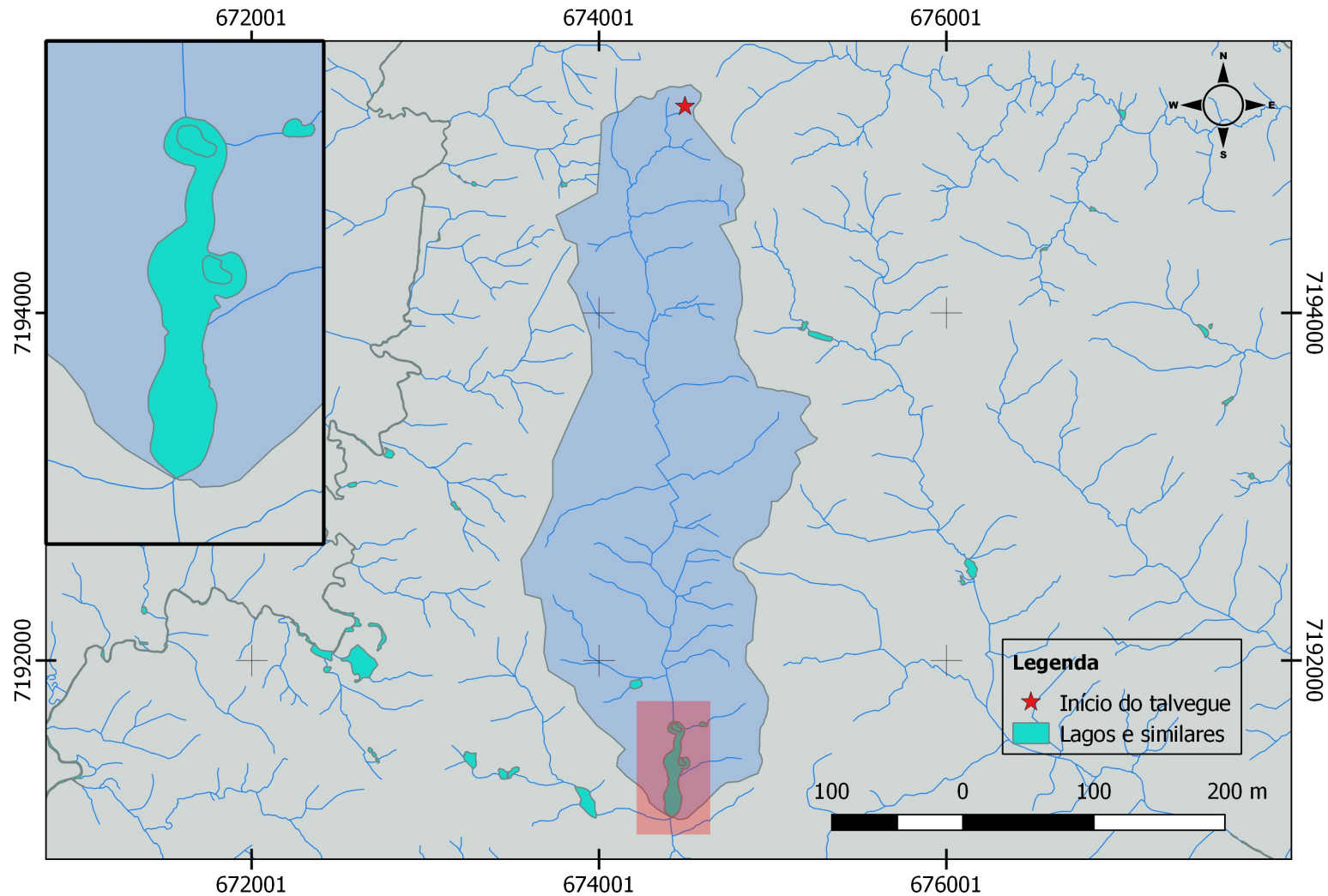
3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS FISIográfICOS E DE PRECIPITAÇÃO DA BACIA E RESERVATÓRIO

O Parque São Lourenço está localizado nas coordenadas UTM (7162781 ; 655756) Córrego Alegre (Figura 7). Para a coleta de dados como: área da bacia (A), perímetro da bacia (P), área do reservatório (A') e comprimento do canal principal (L), foi utilizado o *software Quantum Gis*. Para a determinação dos contornos da bacia que drena para o reservatório do lago São Lourenço, foram utilizados camadas de hidrografia, altimetria no formato *shapefile* e ortofotos da região. O *download* foi feito do site do Instituto das Águas do Paraná ([SUDERHSA, 2000](#)).

Dispondo das curvas de nível da região e das ortofotos, pudemos definir o contorno da área de drenagem (A), área do reservatório e comprimento do canal principal (L), usando as ferramentas de cálculo de área e comprimento do próprio *Software*. Na figura 7, estão destacadas a área da bacia e o término do canal principal.

Figura 7 – Mapa da bacia hidrográfica que drena ao lago do parque São Lourenço.

Bacia e lago de interesse I



3.1.1 Declividade (De)

A declividade da bacia é obtida facilmente analisando a diferença de cotas entre o exutório e do início do canal principal (ΔH), e é calculada pela relação (IBGE, 2017):

$$De = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.1)$$

3.1.2 Coeficiente de compacidade (Kc)

Relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo com a mesma área. Quanto mais o valor do coeficiente se afasta da unidade, mais a bacia difere de uma forma circular. Apesar de sozinho não ser suficiente para predizer se a bacia é mais vulnerável a enchentes; quanto mais próximo Kc for da unidade maior a tendência a enchentes (TUCCI, 1993).

$$Kc = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.2)$$

3.1.3 Intensidade de chuva (I)

Para chuvas intensas, a relação entre Intensidade, Frequência e Duração se dá através de relações observacionais. As curvas IDF são específicas para cada região e são dadas por Fendrich (2003) para região de Curitiba-PR por:

$$I_{max} = 5726,64 \times \frac{TR^{0,159}}{(t + 41)^{1,041}} \quad (3.3)$$

Onde I_{max} é dado em mm/h, TR é dado em anos e t é dado em min

3.1.4 Tempo de concentração (tc)

Para pequenas bacias normalmente é usado o tempo de concentração (tc) como tempo crítico, e corresponde ao tempo necessário para que toda a bacia passe a contribuir para a vazão no exutório. O tempo de concentração é obtido usando fórmulas empíricas e foi obtido pela fórmula de Kirpich (TUCCI, 1993):

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (3.4)$$

Onde L é dado em [km] e H é dado em [m]

3.2 DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA AFLUENTE

Para a transformação da precipitação em vazão, optou-se por um dos métodos mais comuns em pequenas bacias e largamente utilizado nesse tipo de abordagem, que é o método desenvolvido pelo *Soil Conservation Service*, conhecido como *Método SCS* de

hidrograma triangular unitário. Segundo Tucci (1993), a área do triângulo da figura (8) corresponde ao volume precipitado Q , ou seja :

$$Q = \frac{q_p t'_r}{2} + \frac{q_p t_e}{2} \quad (3.5)$$

$$q_p = \frac{2Q}{t'_r + t_e} \quad (3.6)$$

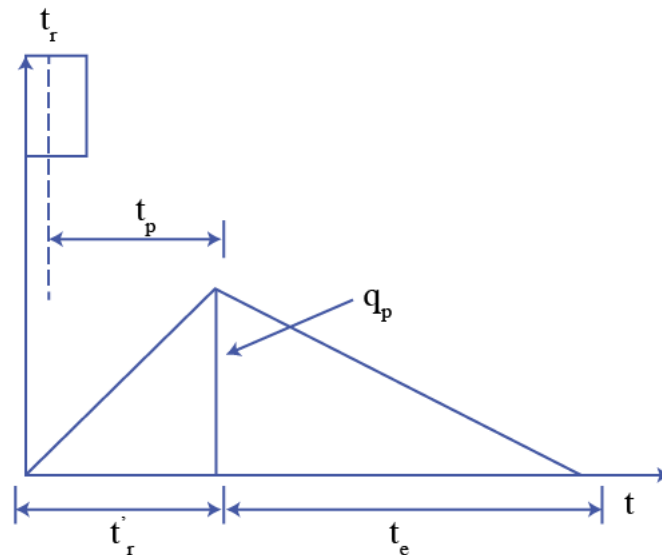
$$q_p = \frac{2Q}{(h + 1) t_p} \quad (3.7)$$

O parâmetro h é estimado como equivalente a 1,67 e representa uma proporção entre a parte ascendente e parte descendente do hidrograma. A equação para o tempo de pico t_p é dado por:

$$t_p = 0,6 t_c \quad (3.8)$$

O tempo de início da precipitação até o pico de vazão (t'_r) e o tempo do centro de massa da precipitação t_p para chuvas de curta duração são tem valores próximos e podem ser considerados como equivalentes A equação para o tempo de pico t_p é dado por:

Figura 8 – Hidrograma triangular de entrada



Fonte: adaptado de (TUCCI, 1993, p.434)

Utilizou-se também de um coeficiente de escoamento superficial(C), típico para a região para estimar a porção da chuva que efetivamente escoar da área de drenagem até a exutória, o qual tem por objetivo sintetizar processos de infiltração e interceptação, que não foram o foco do trabalho

3.3 HIDROGRAMA EFLUENTE

Foi utilizado o método da Propagação de Vazões em Reservatórios de Pulz (TUCCI, 1993), onde pelo princípio da conservação da massa podemos determinar o escoamento em reservatórios de uma forma simplificada. Sabendo a vazão de entrada $I(t)$ obtida na etapa anterior, pode-se determinar a vazão de saída $Q(t, V)$ do reservatório. A equação diferencial que relaciona as vazões $I(t)$ e $Q(t, V)$ e o armazenamento S é a seguinte:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t, V) \quad (3.9)$$

Em sua forma discretizada:

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_{t+1} + I_t}{2} - \frac{Q_{t+1} + Q_t}{2} \quad (3.10)$$

Onde I_t e $I_{(t+1)}$ são as vazões de entrada, Q_t e $Q_{(t+1)}$ são as vazões de saída e S_t e $S_{(t+1)}$ os armazenamentos, todos nos tempos referidos. Reorganizando a equação, deixando somente incógnitas do lado esquerdo, temos:

$$Q_{t+1} + \frac{2S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + \frac{2S_t}{\Delta t} \quad (3.11)$$

No processo de cálculo inicialmente se estabelece o volume inicial S_o , em nosso estudo estabelecido como sendo igual a zero, para cada intervalo de tempo seguinte determina-se o lado direito da equação 3.11, que é conhecido com base no hidrograma de entrada e valores iniciais de S_o e vazão de saída inicial.

Sendo a vazão de entrada estimada pelo hidrograma triangular de entrada, pode-se então determinar a vazão de saída $Q_{(t+1)}$ por meio de uma função entre cota e vazão para vertedor sem descarregador de fundo, dada por:

$$Q = Cv \times Lv \times (H - H_0)^{1,5} \quad (3.12)$$

Sendo Cv o coeficiente de descarga do vertedor estimado em $Cv = 2 (Lv)$ a largura do vertedor obtida em medição local. A relação para a curva de armazenamento considerou o lago como um prisma de seção reta. Com base no método descrito, em rotinas em Matlab foram calculadas as curvas de armazenamento associadas a bacia, com base em uma função f entre a vazão de saída e o armazenamento:

$$Q = f\left(Q + \frac{2S}{\Delta t}\right) \quad (3.13)$$

Na sequência foram calculadas as vazões de entrada e saídas máximas, I_{max} e Q_{max} respectivamente, assim como percentual de amortecimento de picos de vazão e a

elevação no nível do lago (H), para diferentes tempos de duração de precipitação (tr) e diferentes tempos de retorno para chuvas (TR). Foram feitas simulações do método para chuvas com tr variando de 0 a 150 minutos e (TR) variando de 0 a 50 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BACIA DO LAGO SÃO LOURENÇO

Na tabela(1) estão compilados os dados fisiográficos obtidos.

Tabela 1 – Tabela resumo de dados da bacia e lago

Área da bacia	4,168	km ²
Largura do Vertedouro	4,7	m
Área do reservatório	0,04	km
Coefficiente de escoamento superficial	0.25	-
Perímetro da bacia	10,953	km
Comprimento do talvegue	4,182	km
Declividade da bacia	2,008	%

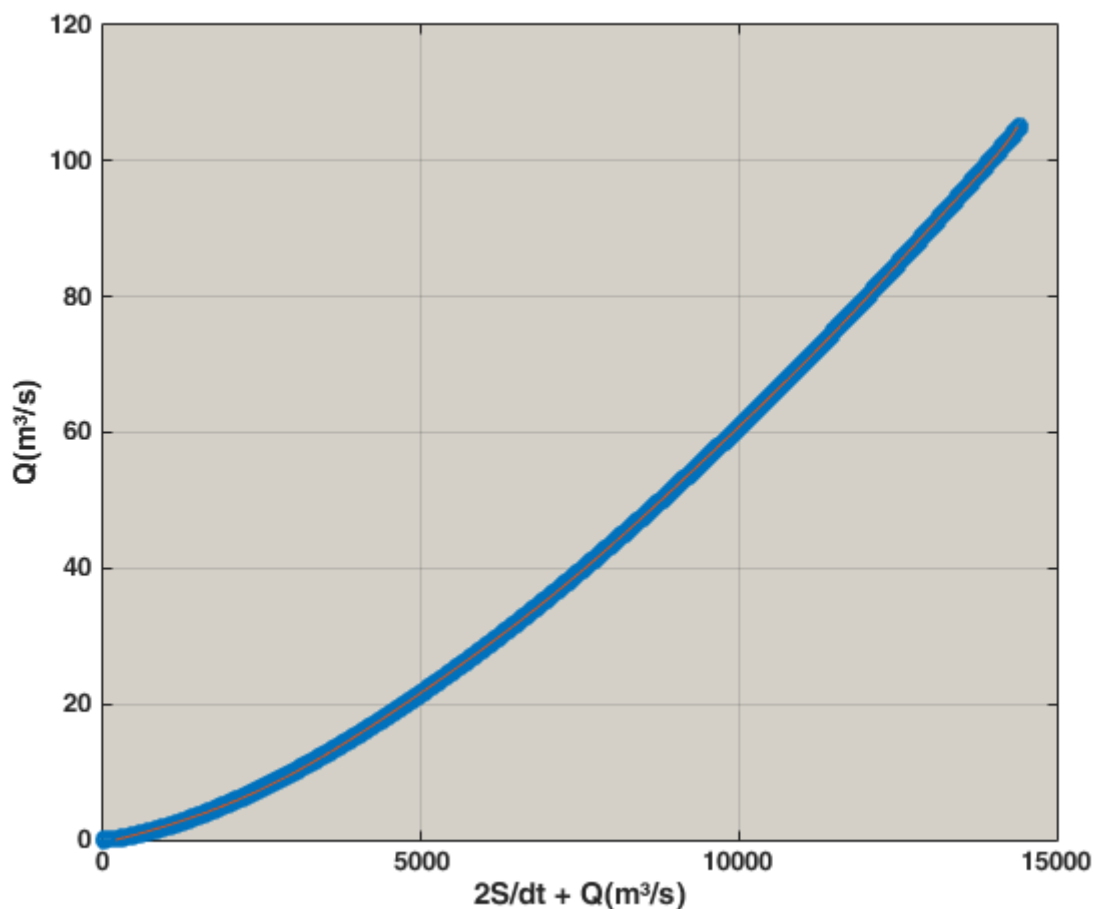
Levando em conta que o método de Pulz é um método numérico foi, simulada a equação 3.12, com base nas características do lago, obteve-se a curva de armazenamento mostrada na figura 9 que serviu de base para aplicação da metodologia de Pulz.

A bacia em questão é de pequeno porte com tempo de concentração calculado em 55 minutos, e baixa declividade com somente 80 m de variação entre o ponto mais alto e o exutório da bacia. O coeficiente de compacidade para bacia foi calculado em 1.502. Para o cenário de um tempo de retorno de 100 anos e tempo de precipitação de 30 min, obtemos os gráficos das figuras 10 e 11. Nos gráficos, a vazão (Q) e a elevação do nível do lago (H) são dadas em função do tempo, revelando valores de vazão de pico Im e Qm de 14.42 e 8.89 m³/s respectivamente, e, portanto uma redução de 42% nos valores de pico entre saída e entrada para o cenário de tempo de retorno de 100 anos e tempo de duração de precipitação de 30 minutos. A elevação máxima (Hm) para esse cenário foi de pouco mais de 0.9 metros. Percebe-se que o efeito do lago sobre o hidrograma de entrada é o redução e dos picos e mudança na forma do hidrograma de saída como indicado na literatura (figura 6). Esse comportamento do hidrograma resultante de aproximação do hidrograma natural pré-urbanização é o comportamento esperado de um lago regulador de vazão.

Com base nos dados obtidos de simulações para diferentes tempos de duração de precipitação (t) e tempo de retorno (TR) e considerando o vertedouro do lago com 4,70 m de largura e coeficiente de descarga igual a dois, foram gerados os seguintes mapas de cores.

Na Figura 12 percebe-se que a faixa de valores de TR entre 30 anos a 50 anos e tempos de precipitação maiores que 35 minutos apresenta os maiores picos de vazão de entrada, o que evidencia uma combinação crítica de duração de precipitação e tempo de retorno que resultam em um máximo de entrada no reservatório. Para chuvas com

Figura 9 – Curva de armazenamento pela equação do vertedouro



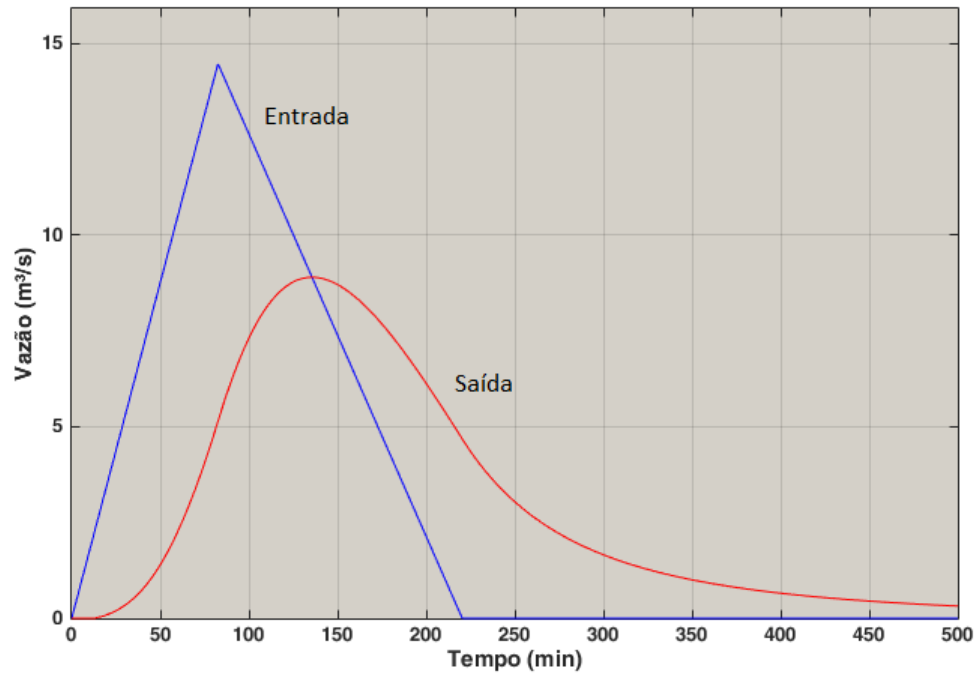
Fonte: Acervo do autor

mesmo (TR), a intensidade da vazão (Im) aumenta à medida que se aumenta tr até valores próximos do tempo de concentração da bacia. Para tempos de duração de precipitação maiores que t_c , a intensidade de vazão decresce. Na Figura 13, que corresponde à vazão de saída, observa-se o mesmo comportamento crítico para determinadas combinações de t e TR , mas deslocados na duração da precipitação. Os valores máximos de Q_m foram alcançados nas faixas de TR superior a 30 anos e tr maiores que 50 minutos. O deslocamento e abatimento do pico de vazão é esperado devido à influência do lago no escoamento.

Na Figura 14, que corresponde à redução percentual, percebe-se que atenuação de picos se mantém acima de 50% para tempos de duração de precipitação de até 60 minutos, tendo um máximo de abatimento em torno de 80% e chegando a um mínimo de 30% nos cenários analisados. Pela forma do gráfico fica claro que embora os picos de vazão (Im) e (Q_m) apresentem seus valores máximos em combinações específicas de tr e TR , o abatimento de picos é tanto menor quanto maiores forem os valores de tr e TR .

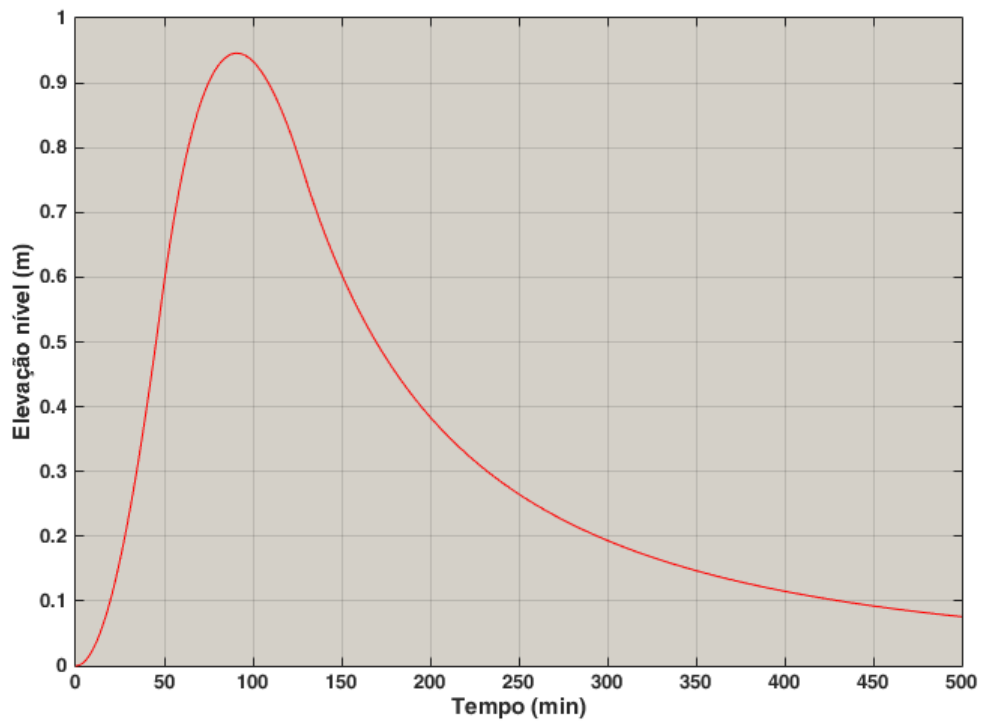
Na figura 15, que representa a elevação do nível do lago em função de tr e TR , mostram um comportamento parecido com o obtido na figura 13, o máximo de elevação no

Figura 10 – Vazões de entrada e saída para TR=100 anos e tr=30 minutos



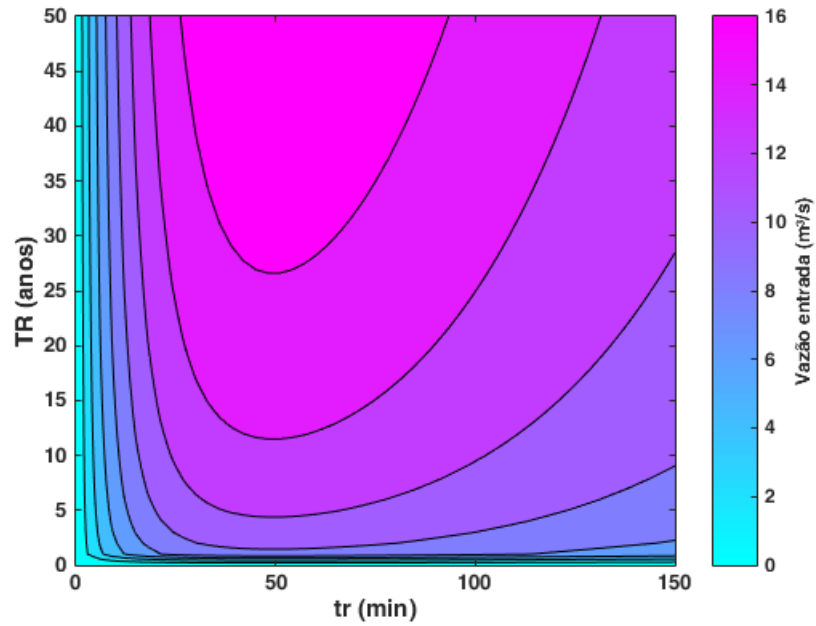
Fonte: Acervo do autor

Figura 11 – Elevação do nível para TR= 100 anos e tr= 30 min



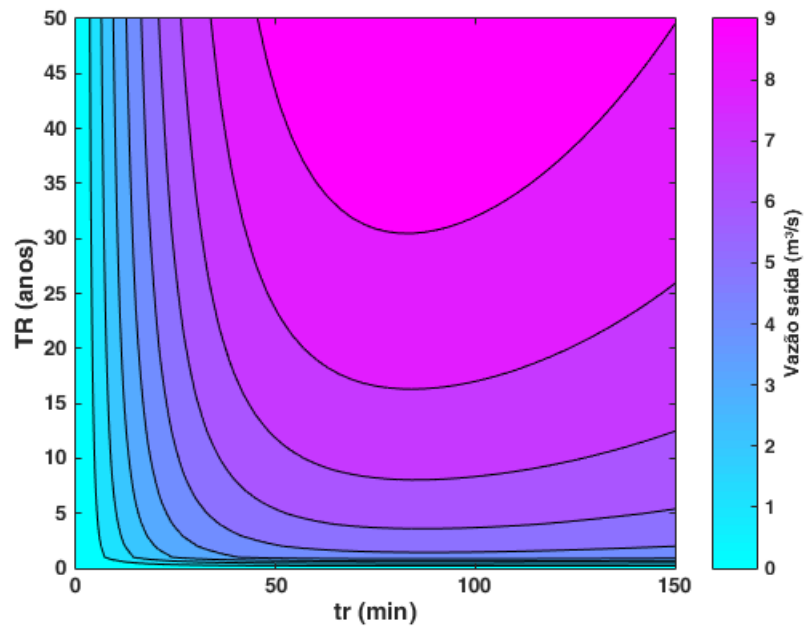
Fonte: Acervo do autor

Figura 12 – Vazão de pico de entrada (Im) em função de TR e tr



Fonte: Acervo do autor

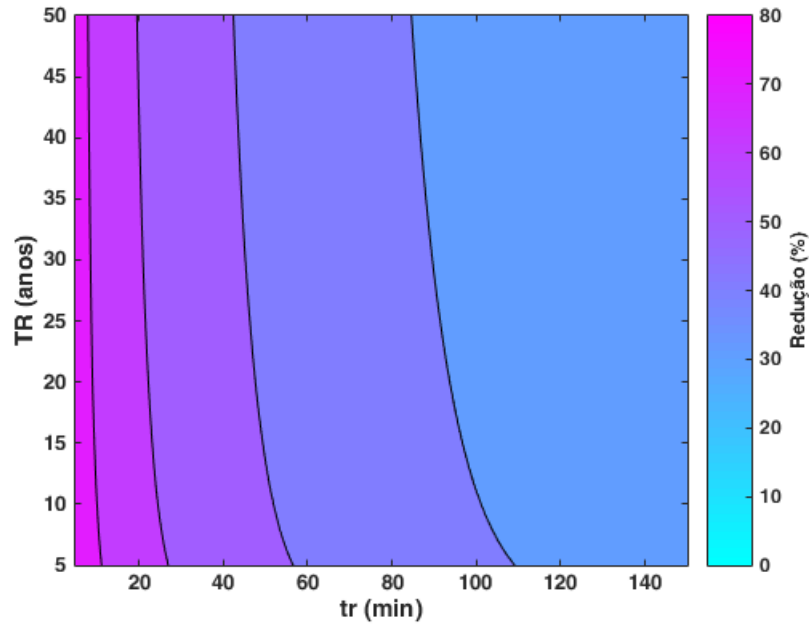
Figura 13 – Vazão de pico de saída (Qm) em função de TR e tr



Fonte: Acervo do autor

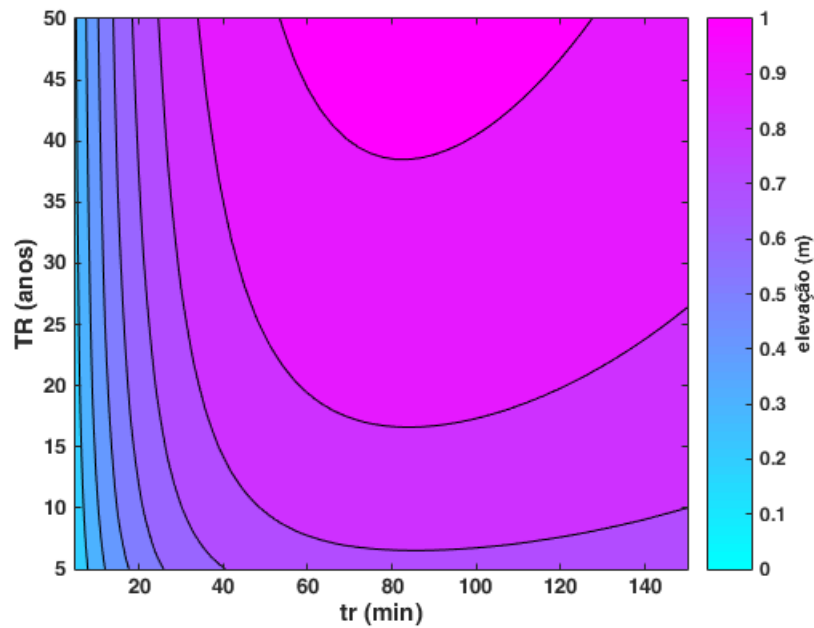
nível se dá entre as faixas de 60 a 120 min para tr e TR superiores a 40 anos, exatamente com a mesma combinação de tr e TR para qual Qm atinge seu máximo como esperado. Para os valores considerados, o nível do lago pode subir em até um metro.

Figura 14 – Redução percentual da vazão de pico em função de TR e tr



Fonte: Acervo do autor

Figura 15 – Elevação do nível do lago em função de TR e tr



Fonte: Acervo do autor

4.2 BACIA DO LAGO BARIGUI

A metodologia utilizada anteriormente foi aplicada ao reservatório localizado no Parque Barigui, mostrado em detalhe na figura 17. A bacia em questão é consideravelmente maior, tendo uma área de drenagem de 137 km². O método SCS utilizado para gerar o hidrograma de entrada por diversas vezes é citado na literatura pela falta de diretrizes de

uso, uma vez que foi desenvolvido com um conjunto de bacias rurais norte-americanas. Assume-se, na falta de melhores critérios, que seja usado para bacias de até 250 km². O coeficiente de escoamento superficial utilizado em uma primeira análise foi o mesmo da bacia do Rio Belém para fins de comparação com a bacia do Rio Barigui. O tempo de concentração obtido pela fórmula de Kirpich foi aproximadamente 515 minutos.

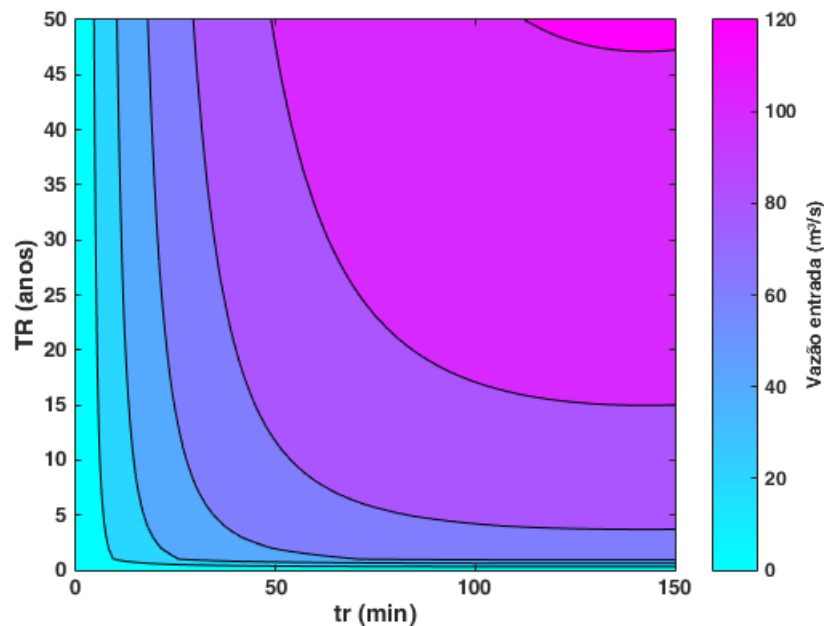
A Tabela 2 resume a análise fisiográfica para bacia do rio Barigui

Tabela 2 – Tabela resumo de dados da bacia do Rio Barigui e lago

Área da bacia	136.86	km ²
Largura do Vertedouro	10	m
Área do reservatório	21.27	ha
Coeficiente de escoamento superficial	0.25	-
Comprimento do talvegue	36.96	m
Declividade da bacia	0,44	%

As vazões de entrada obtidas nas simulações para $C=0,25$, (figura 16), foram da ordem de 120 m³/s para os casos de grandes tempo de duração e de retorno, cerca de 7 vezes maior que as vazões obtidas para uma mesma chuva na bacia do belém. A tendência observada nas curvas se manteve, apesar de alguma distorção, tornando-as menos agudas. Essa suavização é esperada, uma vez que a bacia em questão, devido ao tamanho e declividade, responde mais lentamente ao evento de precipitação simulado.

Figura 16 – Vazão de pico de entrada no vertedouro para $C= 0.25$



Fonte: Acervo do autor

A vazão de saída, assim como a de entrada, obteve valores altos de vazão se comparados à bacia do Belém, segundo a figura 18. As bacias em questão são de difícil

comparação em termos absolutos de vazão, uma vez que diferem bastante quanto à forma e principalmente tamanho. A porção da bacia do Rio Belém analisada encontra-se bastante próxima da cabeceira e no extremo norte da bacia, onde as vazões são baixas e a velocidade de escoamento elevada por conta da declividade. Portanto, das regiões mais elevadas, seguindo-se pelo talvegue em poucos quilômetros encontra-se o lago. Diferentemente, o lago do parque barigui encontra-se em uma região onde talvegue de sua bacia está mais desenvolvido como escoamento, iniciando-se nas cotas mais altas da bacia do Alto Iguaçu e culminando no lago após aproximadamente 36 quilômetros.

Figura 17 – Mapa da bacia hidrográfica que drena ao lago do parque Barigui em comparação à bacia do São Lourenço.

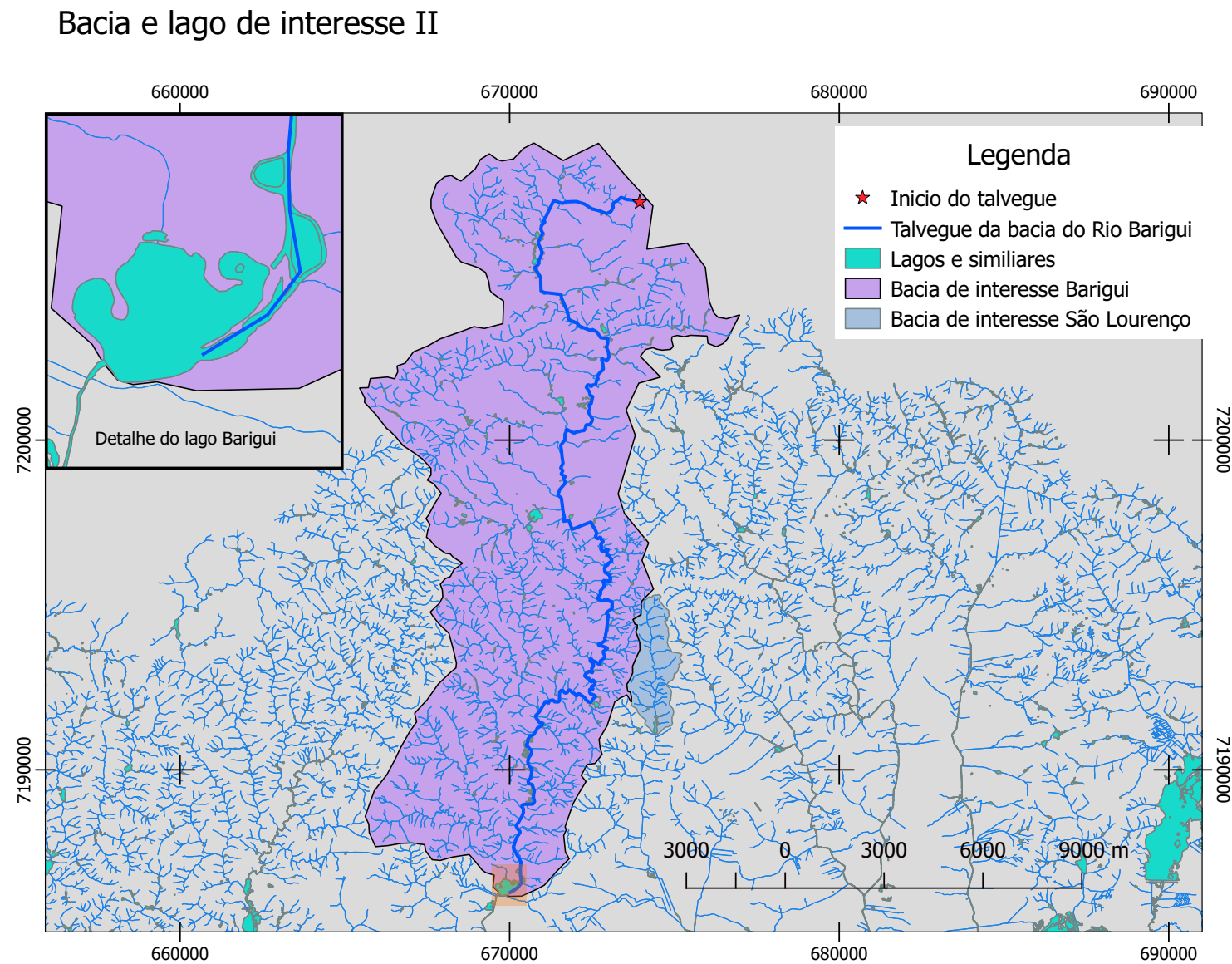
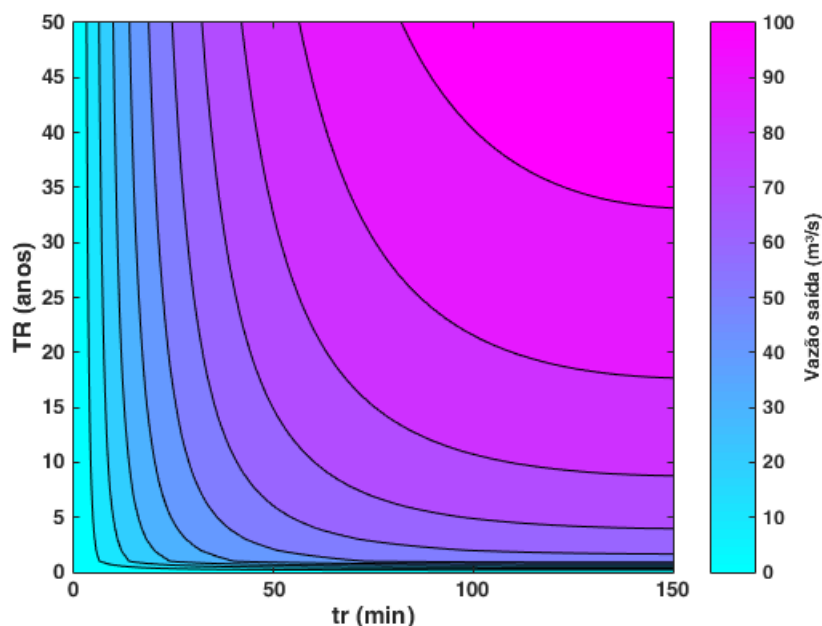


Figura 18 – Vazão de pico de saída no vertedouro para $C = 0.25$



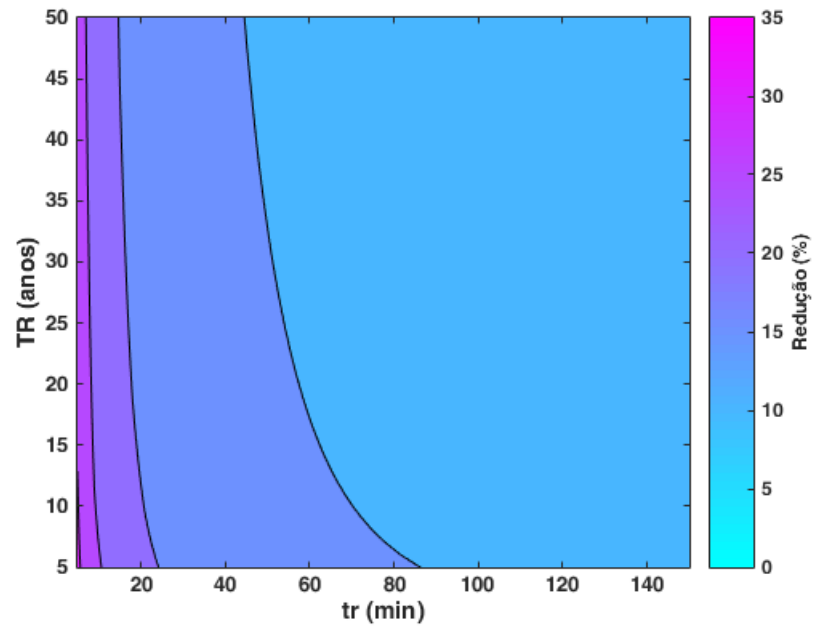
Fonte: Acervo do autor

Porém se pode analisar o abatimento de vazões de pico simuladas aos reservatórios em seus respectivos contextos. O lago da bacia do Rio Belém obteve desempenho superior como papel de regulador de vazões avaliando os cenários considerados. Em mais de 50% dos casos analisados, o primeiro lago obteve redução superior 40% enquanto o lago do Parque Barigui obteve redução máxima de 35%, mesmo nos casos mais brandos das simulações realizadas (tempos de duração maiores que 100 minutos).

4.2.1 Coeficiente de escoamento superficial $C=0,45$

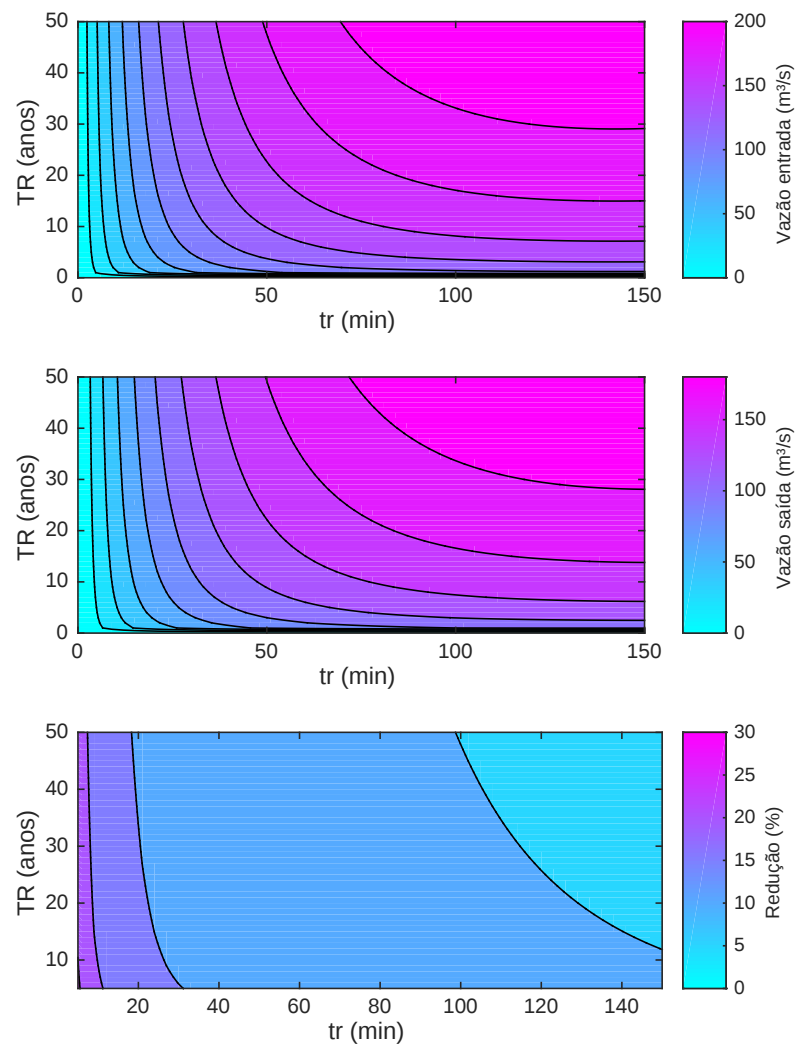
Estudos realizados por Nunes, Fiori e Firpo (2011), para bacia do Rio Atuba com uma área de 127 km², apontam um coeficiente de escoamento para solos secos (menor dos casos) de 0,47, considerando cenários de urbanização similares entre as bacias e levando em conta as áreas de mesma magnitude, cabe uma análise com um coeficiente mais próximo do apontado no estudo da bacia do Rio Atuba. Na figura 20, estão compilados os resultados de vazão de entrada, saída e redução dos picos de vazão para coeficiente de escoamento superficial de 0,45. Percebe-se pelos gráficos que o abatimento dos picos não passou de 25%. Nos piores casos teve redução de apenas 10%. A forma entre os gráficos de entrada e saída foram bastante similares, diferindo mais na magnitude dos valores absolutos de vazão, revelando a baixa capacidade do lago em abater e deslocar no tempo o hidrograma de entrada nos cenários em questão.

Figura 19 – Redução percentual de picos de vazão para $C=0.25$



Fonte: Acervo do autor

Figura 20 – Vazões de pico de entrada e saída respectivamente e redução para $C=0.45$



Fonte: Acervo do autor

4.3 PLANO DIRETOR DE DRENAGEM DO BACIA DO ALTO IGUAÇU

O Plano Diretor de Drenagem para Bacia do Alto Iguaçu que teve por objetivo desde toda caracterização a da região, simulações hidrodinâmicas dos escoamentos, mapeamento das faixas de inundação, proposição de medidas de controle diversas, estimativas de custo e fornecer subsídios para elaboração de projetos que seguem o Plano Diretor, como por exemplo o presente trabalho que nada mais é que uma avaliação de uma das medidas estruturais presentes no Plano.

O Plano Diretor propõe uma abordagem generalista, avaliando condições de ocupação e paisagísticas, fisiográficas e modelagem dos processos. O estudo Hidrológico desenvolvido o volume 3, tomo 3.2, foi realizado para cenários distintos procurando retratar as condições atuais e futuras quanto de urbanização. A metodologia para o estudo do escoamento superficial utilizou o método SCS-CN (Número da curva). Foram estimadas chuvas de projeto por relações IDF (intensidade-duração-frequência) entre elas a equação 3.3. Para análise dos escoamentos a Bacia do alto Iguaçu foi segmentada nas bacias de seus afluentes, entre eles os Rio Barigui e Belém. Foram estimados tempos de concentração por diversos métodos entre eles o método de Kirpich e a modelagem do escoamento utilizou entre outros métodos o método de Puls. Em suma, muitos métodos consagrados foram utilizados, assim como no presente trabalho.

O aumento da capacidade do reservatório do Parque São Lourenço faz parte das dezenove lagoas, entre outras medidas, propostas no plano após a realização das simulações. Localizada no extremo norte da bacia é considerada na região de microdrenagem da bacia, apesar das proporções da lagoa, isso deve muito provavelmente, pelas vazões reduzidas e pelo fato de toda análise é conduzida para avaliar a Alto Iguaçu como um todo. Porém o estacamento utilizado no Plano não é favorável a comparação das vazões uma vez que não são discriminadas as vazões logo na entrada e saída do lago, porém de modo geral o lago parece contribuir de forma significativa em uma pequena área de influência mais próxima da região do parque.

Para os cenários considerados no plano (TR=10 e 25 anos), a faixas de inundação foram modeladas porém, de forma geral, o sistema proposto como um todo funcionou bem na minimização dessas faixas e redução das potenciais prejuízos causados pelos eventos considerados. Faixas de inundação foram identificadas na região da bacia abrangida pelo parque (extremo norte da bacia do Belém) mas principalmente nas regiões centrais de Bacia e próximas da foz.

Quanto a bacia do Rio Barigui as modelagens indicaram áreas de inundação ao longo de toda bacia, devidas basicamente pela insuficiência na condutividade hidráulica do leito menor do rio. O reservatório encontra-se em uma região central da bacia e apresentou vazões medidas nos estacamentos próximos ao lago vazões bem maiores que as

dos estacamentos das cabeceiras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a porção da bacia do Rio belém, levando-se em conta que dentro do intervalo analisado, os valores de redução mantêm-se acima de 50% para valores de (tr) menores que 50 minutos, o reservatório desempenha satisfatoriamente seu papel de regulador de vazões, para chuvas de curta duração e grande intensidade, principais responsáveis por inundações de curto prazo, considerando suas dimensões reduzidas e limitações dentro de uma ambiente densamente urbanizado. Para chuvas de longa duração os efeitos benéficos de abatimento e retardo são minimizados, como aponta a literatura, muito por conta das próprias características da precipitação e de condições extremas de saturação do solo, que aumentam a velocidade do escoamento, ou seja, para cenários de duração muito longa da precipitação, o coeficiente de escoamento superficial estático adotado passa a tornar-se irreal e acabar por superestimar o abatimento real.

O coeficiente de compacidade calculado, igual 1,5, revela certo grau de alongamento da bacia, ou seja, uma bacia menos propensa a enchentes. Vale ainda ressaltar que os resultados de abatimento são conservadores, visto que o lago foi modelado como um prisma de volume igual a área superficial do lago e de altura igual ao nível do reservatório, todavia deve ser levado em consideração que o local em questão é uma sub-bacia da bacia do Rio Belém, esta por sinal, bastante propensa a alagamentos, como apontam os estudos feitos na região. Em análise preliminar, a importância do reservatório no controle de enchentes do Rio Belém a jusante do lago se confirma à medida que o Rio corta o município de Curitiba de norte a sul e por diversas vezes permeia regiões centrais ou de moradias familiares, porém limita-se a uma área de influência próxima ao lago. A medida que a bacia ganha tamanho o efeito de abatimento "dilui-se" na área da bacia. Por outro lado a abordagem de não propagação das vazões a jusante é exercida em paralelo aos fins recreativos e paisagísticos.

Torna-se interessante num cenário desses avaliar o efeito de diversos reservatórios nas cabeceiras exercendo o efeito dos lagos para bacia como um todo, todavia em um ambiente já urbanizado custos de desapropriação devem ser considerados, os quais podem deixar soluções a nível de macrodrenagem com custos superiores a soluções pontuais a nível de lotes.

O uso do solo e zoneamento também tem de ser considerado nos planos diretores dos municípios. Este por sinal deve auxiliar o gestor na tomada de decisão, uma vez que alteradas as condições de escoamento a montante, lagos de armazenamento como os que são foco desse trabalho podem ter suas capacidades de retenção excedidas e seu potencial de redução de vazões comprometido.

Em relação ao lago do parque Barigui, seu potencial de abatimento percentual mostra-se menor se comparado ao lago do parque São Lourenço, apesar do seu maior volume de detenção. Muito do resultado é consequência da posição dos lagos em suas respectivas bacias, um estando próximo a cabeceira e outro em uma região bem mais central e com vazões consideravelmente maiores. Em termos de vazão absoluta o reservatório do Barigui obteve resultados significativos de redução, sendo estes de $20\text{ m}^3/\text{s}$ ($C=0.25$) e de $50\text{ m}^3/\text{s}$ ($C=0.45$), questões como a condutividade hidráulica reduzida também contribuem para o alargamento da faixas de inundações.

REFERÊNCIAS

- CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E.; SILVEIRA, A. Controle do escoamento com detenção em lotes urbanos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 4, p. 19–31, 1998. Citado na página 29.
- FENDRICH, R. Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana. p. p, 2002. Citado na página 30.
- FENDRICH, R. Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do paraná. *Gráfica Vicentina Editora Ltda. Curitiba/PR*, p. p, 2003. Citado na página 35.
- FLAGSTAFF, C. of. Low impact development guidance manual for site design and implementation. 211 West Aspen Avenue Flagstaff, Arizona 86001, 2009. Citado na página 27.
- IBGE. *Noções básicas de Cartografia*. 2017. IBGE. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/aplicacoes_uso.html>. Citado na página 35.
- KAVISKY, E.; CUNHA, L. M. D.; GARCIA, C. S. Propagação de cheias em reservatórios: o caso do lago municipal de cascabel-pr. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 31.
- LENGLER, C.; LEUCK, M. F.; MENDES, C. A. B. Modelo para criação de incentivo fiscal ao amortecimento de vaz  em lote: Simulação para o município de porto alegre, rs. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2014. Citado na página 30.
- LOHMANN, M. Regressão logística e redes neurais aplicadas   previsão probabilística de alagamentos no município de curitiba, pr. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- MAHUNGUANA, M. J.; BRAVO, J. M. Avaliação do efeito de critérios de projeto no dimensionamento de redes de macrodrenagem através da simulação hidrológico-hidráulica. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 2, p. 484 – 495, abr/jun 2015. Citado na página 28.
- NOGUEIRA, D. * rea tradicional com perfil consolidado*. 2010. Jornal Gazeta do Povo. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/imoveis/area-tradicional-com-perfil-consolidado-0bfq3cdjhxtwfsnga1omh3ri>>. Citado na página 21.
- NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio atuba: Curitiba e região metropolitana paraná/brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 65, 2011. Citado na página 47.
- PEDROSA, V. D. A. *O Controle da urbaniza   na macrodrenagem de Maceió : Tabuleiro dos Martins*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1996. Citado na página 21.

REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. Manejo de águas urbanas e sua relação com o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis integradas—estudo de caso dos rios pilar-calombé. *Duque de Caxias/RJ. Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 2, p. 149–163, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.

SERRANO, S. E. *Hydrology for engineers, geologists, and environmental professionals*. [S.l.]: HydroScience, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

SILVA, P. O. d.; CABRAL, J. J. d. S. P. Atenuação de picos de vazão em Área problema: Estudo comparativo de reservatórios de retenção em lote, em logradouros e em grande Área da bacia. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 2, p. 7–18, 2014. Citado na página 29.

STEFFENS, E. J.; PINTO, P. D. Designing for lid: An in-depth look at integrated management practices and design considerations. *Professional Development Advertising Section — CONTECH Construction Products Inc.*, 2009. Citado na página 27.

SUDERHSA. MS Windows NThidrografia bacia do alto iguaçu. 2000. Accessed: 2016-09-10. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=91%3E>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 33.

SUDERHSA, C. H. D. B. Manual de drenagem urbana—região metropolitana de curitiba/pr-versão 1.0. *SUDERHSA—Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Não publicado*, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 30.

TASSI, R.; VILLANUEVA, A. O. Análise do impacto dos microrreservatórios de lote nos custos de uma rede de drenagem urbana. *RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n. 3, p. 89–98, 2004. Citado na página 30.

TAVANTI, D. R.; BARBASSA, A. P. Análise dos desenvolvimentos urbanos de baixo impacto e convencional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, p. 1–10, 2012. Citado na página 27.

TUCCI, C. E. Água no meio urbano. *Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, v. 2, p. 475–508, 1999. Citado na página 30.

TUCCI, C. E. Apreciação do pnrh e visão prospectiva e programas e ações. *ANA Agência Nacional de Águas*, 2001. Citado na página 25.

TUCCI, C. E. Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. *Avaliação e controle da Drenagem Urbana*, v. 2, 2001. Citado na página 21.

TUCCI, C. E. Drenagem urbana. *Ciência e cultura*, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 55, n. 4, p. 36–37, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 30.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. [S.l.]: ABRH, 1993. Citado 5 vezes nas páginas 21, 23, 35, 36 e 37.