

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA DE ARQUITETURA E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO URBANA**

ALESSANDRO BERTOLINO

**MEDIDAS DE BAIXO IMPACTO PARA O CONTROLE DAS INUNDAÇÕES E
ALAGAMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS APLICADAS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM, CURITIBA, PARANÁ**

CURITIBA

2013

ALESSANDRO BERTOLINO

**MEDIDAS DE BAIXO IMPACTO PARA O CONTROLE DAS INUNDAÇÕES E
ALAGAMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS APLICADAS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM, CURITIBA, PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Mello Garcias

CURITIBA

2013

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

B546m 2014	<p>Bertolino, Alessandro</p> <p>Medidas de baixo impacto para o controle das inundações e alagamentos em bacias hidrográficas urbanas aplicadas na bacia hidrográfica do Rio Belém, Curitiba, Paraná / Alessandro Bertolino ; orientador, Carlos Mello Garcias. – 2014.</p> <p>124 f. : il. ; 30 cm</p> <p>Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2014</p> <p>Bibliografia: f. 118-124</p> <p>1. Planejamento urbano. 2. Bacias hidrográficas. 3. Belém, Rio (PR). 4. Inundações. 5. Controle de inundações. I. Garcias, Carlos Mello. II. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana. III. Título.</p> <p>CDD 20. ed. – 711.4</p>
---------------	--

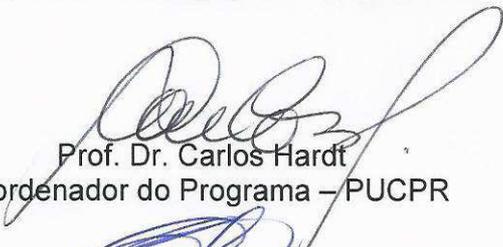
TERMO DE APROVAÇÃO

“MEDIDAS DE BAIXO IMPACTO PARA O CONTROLE DAS INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS APLICADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM, CURITIBA, PARANÁ”

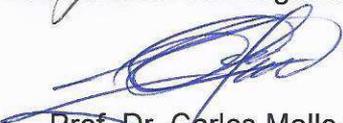
Por

ALESSANDRO BERTOLINO

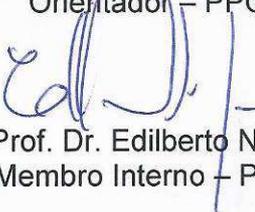
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, área de concentração em Gestão Urbana, da Escola de Arquitetura e Design, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.



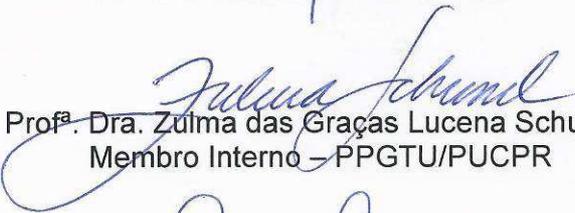
Prof. Dr. Carlos Hardt
Coordenador do Programa – PUCPR



Prof. Dr. Carlos Mello Garcias
Orientador – PPGTU/PUCPR



Prof. Dr. Edilberto Nunes de Moura
Membro Interno – PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Zulma das Graças Lucena Schussel
Membro Interno – PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Maria Paula Casagrande Marimon
Membro Externo – UDESC

Curitiba, 06 de dezembro de 2013.

Àqueles que amo: Meus pais, minha irmã,
minha namorada e o Quarteto Fantástico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus e a Nossa Senhora do Perpétuo Socorro por me darem forças para conseguir finalizar essa dissertação, sem fé não se vai a lugar nenhum.

A toda minha família, em especial, meus pais, Sonia e Edmilson e minha irmã Sandra pela dedicação, amor e ajuda em todos os momentos alegres e difíceis.

A minha Stéphanie, namorada, amiga, companheira. Mais da metade desse trabalho é seu. Não existem palavras para demonstrar todo meu agradecimento por sua ajuda.

Ao Madruga, sempre cãopanheiro, mas querendo brincar quando não dava. Contentava-se em deitar e dormir sobre meus pés enquanto eu escrevia.

Ao meu orientador, prof. Dr. Carlos Mello Garcias, que me deu a oportunidade de trabalhar na Revitalização do Rio Belém. Sempre foi paciente ao ouvir minhas ideias e mudar insistentemente minha metodologia até acertar, não me deixando desanimar e insistindo que a pesquisa era e é boa.

Ao prof. Dr. Edilberto Nunes de Moura, pela chance de realizar a especialização em Geoprocessamento, sempre disposto a tirar dúvidas e me auxiliar.

A família do Projeto de Revitalização do Rio Belém. Companheiros de mesa, conversas, risadas. Vocês fazem parte disso também.

Ao Quarteto Fantástico de amigos engenheiros. Quase todos longe, mas sempre juntos de mim, dentro do coração.

A Federação Internacional das Universidades Católicaas por proporcionar a possibilidade da pesquisa de Revitalização do Rio Belém.

E a todos, que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

“Have you ever seen the rain?”
(FOGERTY,1970)

RESUMO

Para a humanidade além da importância sobre o metabolismo vital, a água orienta o desenvolvimento, o progresso e a prosperidade das civilizações e culturas ao longo dos séculos. O ambiente urbano é formado por dois sistemas intimamente inter-relacionados: o sistema natural, composto do meio físico e biológico, e o sistema antrópico, onde se inserem o homem e suas atividades. Porém, o processo de urbanização e a noção de desenvolvimento a todo custo, provocaram modificações no ambiente natural, alterando suas estruturas físicas. A água, durante o seu ciclo, é o elemento que mais sofre com interferências humanas, pois o processo de seu armazenamento e transferência no solo é modificado com a impermeabilização da superfície. A constante busca por novas áreas de ocupação geram, na maioria das vezes, um planejamento urbano mais superficial do que o necessário para que se evitem problemas socioambientais. Um exemplo de medida que não é a ideal, porém tomada, é a canalização de rios urbanos para minimizar as enchentes. Uma técnica que recentemente vem sendo implantada é a do desenvolvimento de baixo impacto, a qual atua no gerenciamento e controle do escoamento das águas pluviais, adotando métodos de armazenamento, infiltração, evaporação e amortecimento do escoamento superficial. Assim, o objetivo desta dissertação é analisar medidas de baixo impacto para controle de inundações e alagamentos passíveis de aplicação no meio urbano da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Paraná. Para isso, elaborou-se um estudo de caso referente à bacia hidrográfica do Rio Belém, no qual foi estudada a viabilidade local de implantação de medidas de baixo impacto para o controle de inundações. O levantamento de informações se deu por meio de textos técnicos e científicos, além da interpretação e análise de mapas com o auxílio de um sistema de informação geográfica. As condicionantes de locação de medidas de baixo impacto foram estudadas e em seguida, através do *software* ArcGIS 10.2 e com um banco de dados, criou-se um mapa para cada condicionante. Por fim foi realizado o cruzamento de informações entre os mapas para se chegar ao mapa final, com as aptidões locais para receber tais medidas. Observou-se que ao avaliar a bacia hidrográfica do Rio Belém de forma ampla, o desenvolvimento de baixo impacto não parece ser uma solução adequada. Porém, em nível de subbacias, a implantação do método mostra-se viável, embora sejam necessárias obras complementares na maioria das áreas. Obras de maior porte, como a descanalização e a renaturalização do rio Belém e seus afluentes, reconstituindo seus meandros, são opções que devem ser consideradas e estudadas, mesmo que por ora, pareçam inviáveis.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Rio Belém. Inundações e Alagamentos. Geoprocessamento. Desenvolvimento de Baixo Impacto.

ABSTRACT

For humanity beyond the importance about the vital metabolism, water guides the development, progress and prosperity of civilizations and cultures over the centuries. The urban environment is formed by two closely interrelated systems: the natural system consisting of the physical and biological and anthropic system, comprising the man and his activities. However, the process of urbanization and the notion of development at all costs, caused changes in the natural environment, altering their physical structures. The water during its cycle is the element that suffers most from human interference, because the process of storage and transfer in soil is modified with surface sealing. The constant search for new areas of occupation generates, in most cases, an urban planning more superficial than necessary for avoiding environmental problems. An example of a measure that is not ideal, but it is taken, is the canalization of rivers to minimize urban flooding. One technique that has recently been implemented is the low-impact development, which operates in the management and control of storm water runoff, adopting methods of storage, infiltration, evaporation and runoff cushioning. The objective of this dissertation is to analyze low-impact measures for flood control that could be applied in the urban environment of the River Basin Belém, Curitiba, Paraná. So, was elaborated a case study related to river basin Belem, where was studied the viability of site implantation of low-impact measures for flood control. The extraction of information occurred from reading technical and scientific texts, and the interpretation and analysis of maps with the assistance of a geographic information system. The conditions for implementing low impact measures were studied and then by ArcGIS 10.2 software and a database, a map was created for each condition. Finally, was done the crossing data between maps to get the final map, with the ability to receive these local measures. It was observed that when evaluating river basin Belém broadly, the low impact development does not seem an appropriate solution. However, at the level of sub-basins, the implementation of low impact development is practicable, although additional works is needed in most areas. Larger works, such as renaturalisation and reopen channels of Belem River and its tributaries, reconstituting its meanders, are options that should be considered and studied, even for a moment, do not seem viable.

Key-words: River Basin Belem. Floods. Geographic Information System. Low-Impact Development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Número de Ocorrências de Desastres por Inundação por País (1974 – 2003)	15
Figura 2 - Inundação do Ribeirão Arrudas	19
Figura 3 - Inundação no Vale do Itajaí	36
Figura 4 - Inundação do Rio Belém, no campus da PUCPR em Curitiba.....	37
Figura 5 – Locais suscetíveis à enchentes e inundações.	38
Figura 6 - Representação de enchente, inundação e alagamentos	40
Figura 7 – Diferenças de escoamento, infiltração e evapotranspiração em áreas naturais e impermeabilizadas.....	45
Figura 8 - Bacia de Retenção no Parque Barigui	48
Figura 9 - Bacia de Retenção no Parque São Lourenço	48
Figura 10 - Reservatório de águas pluviais junto a galeria subterrânea em Tóquio..	49
Figura 11 - Reservatório de águas pluviais subterrâneo em Tóquio.	49
Figura 12 - Medida de baixo impacto para contenção de alagamentos em Seattle. .	53
Figura 13 - Sistema de drenagem de águas pluviais alternativo em Portland.....	54
Figura 14 - Bioretenção.....	55
Figura 15 - Poço Seco.....	56
Figura 16 - Faixa Filtrante	57
Figura 17 - Vala de Infiltração	58
Figura 18 - Barril de Chuva	59
Figura 19 - Cisterna.....	60
Figura 20 - Trincheira de Infiltração.....	61
Figura 21 - Telhados Verdes.....	62
Figura 22 - Pavimento permeável no estacionamento da PUCPR.....	63
Figura 23 - Representação dos modelos geográficos no modelo vetorial.....	67
Figura 24 - Representação dos modelos geográficos no modelo raster	68
Figura 25 - Representação através do grid dos elementos geográficos no modelo raster	69
Figura 26 - Rio Belém	70
Figura 27 - Macrolocalização da Bacia Hidrográfica do Rio Belém.....	71
Figura 28 - Divisão das sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Belém.....	72
Figura 29 - Evolução da Ocupação Urbana na Bacia Hidrográfica do Rio Belém.....	74

Figura 30 - Áreas Verdes na Bacia Hidrográfica do Rio Belém.....	75
Figura 31 - Erosão das margens devido à falta de vegetação	76
Tabela 2 - Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Belém	77
Figura 32 - Litologia da Bacia Hidrográfica do Rio Belém	79
Figura 33 - Pedologia na Bacia do Rio Belém.....	81
Figura 34 - Inundações e Alagamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Belém	83
Figura 35 - Relação entre áreas suscetíveis a inundações e alagamentos e a renda média da população	84
Figura 36 - Cheia no Rio Belém	85
Figura 37 - Início de trecho subterrâneo	86
Figura 38- Relação entre trechos abertos e canalizados na Bacia Hidrográfica do Rio Belém	87
Figura 39 - Fluxograma de aplicação da metodologia desenvolvida.....	93
Figura 40 - Áreas Livres da Bacia Hidrográfica do Rio Belém.....	95
Figura 41 - Alagamento na região central da bacia.....	96
Figura 42 - Evolução Urbana x Áreas Livres	97
Figura 43 - Mapa de permeabilidade dos solos na Bacia Hidrográfica do Rio Belém	99
Figura 44 - Operação de desassoreamento do Rio Belém	100
Figura 45 - Profundidade do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Rio Belém ...	101
Figura 46 - Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Belém	103
Figura 47 – Trincheira de Infiltração.....	104
Figura 48 - Declividade x áreas inundáveis e alagáveis.....	105
Figura 49 - Mapa de aptidão para as medidas de baixo impacto	108
Figura 50 - Percentual de áreas aptas	109
Figura 51 - Aptidão x áreas de inundações e alagamentos	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registros de Inundações no Brasil no período de 1940 a 2013.....	15
Tabela 2 - Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Belém	77
Tabela 3 – Reclassificação para os as características dos solos.....	90
Tabela 4 - Resultados Possíveis	106

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo Geral	22
1.3.2	Objetivos Específicos	22
2	CIDADES E MEIO AMBIENTE	23
2.1	EVOLUÇÃO DO ESPAÇO URBANO	23
2.2	VULNERABILIDADE EM ESPAÇOS URBANOS	33
2.3	ENCHENTES, INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS	38
3	DRENAGEM PLUVIAL URBANA	42
3.1	MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES.....	46
3.1.1	Medidas Estruturais	46
3.1.2	Medidas Não Estruturais.....	49
3.2	MEDIDAS DE CONTROLE ALTERNATIVAS.....	51
3.2.1	Exemplos de técnicas LID	55
3.2.2	Restrições locais para implantação do LID.....	63
4	METODOLOGIA.....	65
4.1	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E A BACIA HIDROGRÁFICA.	65
4.2	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM	70
4.3	MÉTODO DE PESQUISA – MAPEAMENTO DE CONDICIONANTES LOCAIS.....	87
4.3.1	Mapeamento das Condicionantes.....	89
4.3.1.1	Espaço Requerido	90
4.3.1.2	Permeabilidade dos Solos	90
4.3.1.3	Declividades	91
4.3.1.4	Lençol Freático	91
4.3.1.5	Quadro resumo.....	92
4.3.2	Aplicação do método	92
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94

5.1	MAPAS DE RESTRIÇÃO	94
5.1.1	Áreas Livres	94
5.1.2	Permeabilidade dos solos	98
5.1.3	Profundidade do lençol freático	100
5.1.4	Declividades.....	102
5.2	MAPA FINAL DE APTIDÃO ÀS MEDIDAS DE BAIXO IMPACTO.....	106
6	CONCLUSÃO.....	113
	REFERÊNCIAS.....	118

1 INTRODUÇÃO

“Para a humanidade além da importância sobre o metabolismo vital, a água tem orientado o desenvolvimento, o progresso e a prosperidade das civilizações e culturas ao longo dos séculos” (ANDREOLI, 2003).

É possível verificar que as grandes civilizações, historicamente, se desenvolveram e prosperaram em vales e às margens de rios, já que além da fertilização do solo, contribuindo para a produção de alimentos, a proximidade com os cursos de água permitia também o abastecimento da população, provendo água para o consumo. Com o passar do tempo, a água passou a ter outras serventias em maior escala, como o uso para geração de energia, indústrias, transporte de matérias primas, entre outros. Juntamente com as novas utilidades, a necessidade por água também aumentou gradativamente ao longo do tempo. Assim, a água, como elemento indispensável à vida humana, tem sido fator importante na localização e desenvolvimento de cidades (GARCIAS *et al*, 2010).

O ambiente urbano é formado por dois sistemas intimamente inter-relacionados, conforme Mota (1999): “o sistema natural, composto do meio físico e biológico (solo, vegetação, animais, água, etc.) e o sistema antrópico, consistindo do homem e de suas atividades”. Porém, o processo de urbanização e a noção de desenvolvimento a todo custo, provocou modificações no ambiente natural, como no clima, relevo, recursos hídricos, vegetação, fauna, formações geológicas, solos, enfim, alterando suas estruturas físicas. Ainda segundo Mota (1999), a água, durante o seu ciclo, é o elemento que mais sofre com interferências humanas, pois o processo de seu armazenamento e transferência no solo é modificado com a impermeabilização da superfície.

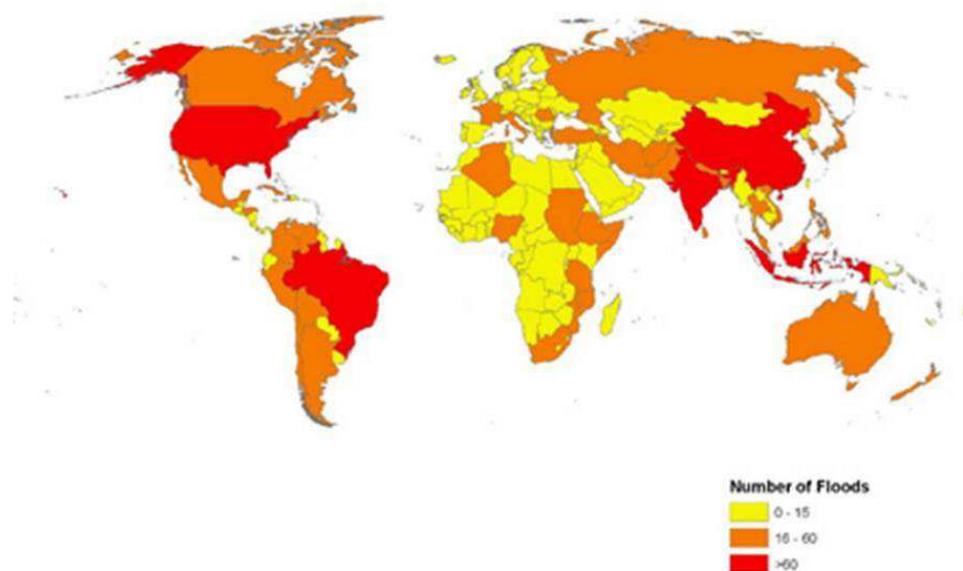
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Ao analisar as informações sobre desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2004, disponibilizados pelo EM-DAT Internacional Disaster Database¹, Kobiyama *et al.* (2004) explicaram que no Brasil, as inundações são os

¹ EM-DAT Internacional Disaster Database é um banco de dados de desastres, criado com apoio da Organização Mundial da Saúde e do Governo belga. O banco de dados é compilado a partir de várias fontes, incluindo as agências da ONU, organizações não governamentais, companhias de seguros, instituições de pesquisa e agências de notícias.

desastres naturais que mais provocam perdas humanas. Este tipo de desastre é inevitável, porém, existem meios de se reduzir os danos e prejuízos (COSTA E TEUBER, 2001). Na Figura 1 pode-se visualizar o número de ocorrências de inundações por país durante o período de 1974 a 2003. Verifica-se que o Brasil é considerado como um dos países do mundo mais afetados por inundações, com mais de 60 desastres cadastrados no período de 1974 a 2003.

Figura 1 - Número de Ocorrências de Desastres por Inundação por País (1974 – 2003)



Fonte: Emergency Database - EM-DAT (OFDA/CRED, 2013)

A Tabela 1 exibe as estatísticas históricas de desastres ocasionados por inundações cadastradas no Brasil, da década de 1940 até o ano de 2008.

Tabela 1 - Registros de Inundações no Brasil no período de 1940 a 2013

Período	Nº de Eventos	Nº de Mortes	Nº de Afetados (Desabrigados/Desalojados)
2010-2013	14	1375	1.870.582
2000-2009	34	937	4.335.455
1990-1999	20	386	317.793
1980-1989	23	1598	8.789.613
1970-1979	11	1142	2.902.371
1960-1969	13	1818	825.986
1950-1959	2	212	Sem registro
1940-1949	1	200	Sem registro

Fonte: Emergency Database - EM-DAT (OFDA/CRED, 2013)

Percebe-se que somente no período de 2010 a 2013 o número de mortes é aproximadamente 50% maior que o número total de mortes ocorridas na década anterior. Em Curitiba, cidade onde se localiza a bacia hidrográfica objeto desta

pesquisa, a Defesa Civil do Estado do Paraná registrou desde 1980 até a primeira quinzena de 2014, 42 ocorrências de eventos ligados a alagamentos, enxurradas e inundações, as quais atingiram 28.503 pessoas.

Segundo Tucci (2005), as regiões urbanas são mais favoráveis a inundações e alagamentos, pois o solo dessas regiões é impedido, pelo asfalto e diversos tipos de pavimentações, de absorver a água e até pela insuficiência de vegetação que naturalmente contribui para a absorção da água. A pavimentação de vias esteve e ainda está presente nas ideias de progresso. Promover facilidades de tráfego de pessoas e veículos faz com que o asfalto tome conta de áreas onde antes a infiltração da água se fazia de maneira fácil.

Para Mota (1999), o processo de urbanização pode provocar alterações no ciclo hidrológico, principalmente sob os seguintes aspectos: aumento da precipitação – causado principalmente pelas mudanças climáticas; diminuição da evapotranspiração – com o processo de urbanização, a redução da evapotranspiração vem como consequência da redução da vegetação; aumento da quantidade de líquido escoado; diminuição da infiltração da água, devido à impermeabilização e compactação do solo; aumento do consumo de água superficial e subterrânea, para abastecimento público, usos industriais e outros; mudanças no nível do lençol freático, podendo ocorrer redução ou esgotamento do mesmo; maior erosão do solo e consequente aumento do processo de assoreamento dos cursos de água superficiais; aumento da ocorrência de inundações e alagamentos; poluição de águas superficiais e subterrâneas.

Ainda para Mota (1999),

(...) a urbanização provoca alterações na drenagem das águas pluviais, resultando no aumento do volume de água escoada, bem como em um pico de vazão maior e de ocorrência mais rápida. Isto tem sido a causa dos problemas de cheias em muitas cidades.

Em consequência da densidade de ocupação crescente nas cidades, as precipitações, que fazem parte do ciclo hidrológico e, portanto, são naturais, são cada vez mais vistas como fator determinante para que ocorram situações de desastres. Desta forma, a chuva é tratada como vilã, como sendo o único e mais importante fator para a ocorrência de eventos calamitosos, como as inundações e escorrimientos de massa. Não se deve perpetuar esse olhar com que a sociedade enxerga a ocorrência de precipitações de maior volume. Em decorrência desse

ponto de vista, ocorrem processos de pressão popular para que obras sejam realizadas em regiões atingidas por inundações e alagamentos. Assim, as opiniões voltam-se à “solução” da canalização. Leite (1993) expõe que os problemas das cidades decorrem de uma urbanização sob a ótica de um produto, e não de um processo. Assim, os produtos “canalização” e “solução do problema” são priorizados ao invés de se ter como objeto de gestão, o processo de enchente. Saber como acontece o processo de cheias, oposto à ação de simplesmente esconder as falhas do processo.

Portanto a água, seja como precipitação, ou como escoamento, não deve ser tachada como o principal problema, mas sim, necessita-se que haja o convívio com essas questões hídricas.

Em Curitiba, atualmente existem cerca de 90 áreas que já sofreram ou são passíveis de ocorrência de inundações e alagamentos (IPPUC, 2012). Mesmo assim, a política de controle dos impactos na drenagem da cidade, ainda se baseia no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível. Porém, soluções como a magnificação do implante de redes de microdrenagem em nível de loteamento e a utilização de pavimentos permeáveis começam a ser mais utilizados.

Com relação às políticas públicas adotadas no país como um todo, Almeida (2012) afirma que:

Os instrumentos de planejamento e gestão urbana utilizados no Brasil são inadequados e ineficazes e contribuem para o estabelecimento de ocupações e urbanização com padrões irregulares e informais. O maior problema é que estas ocupações irregulares estão em processo de adensamento constante e boa parte delas está localizada em áreas de preservação, de proteção de mananciais e de risco socioambiental.

Assim, os problemas decorrentes das chuvas e inundações nas áreas urbanas têm aumentado, também, em decorrência da falta de políticas públicas mais efetivas no que diz respeito à drenagem urbana. A gestão pública também é frágil em relação ao tema. A prefeitura de Curitiba, por exemplo, apresentou somente em 2013 o seu Plano Diretor de Drenagem e também o seu Plano Municipal de Saneamento. Estes planos ainda não rompem paradigmas, visto que os problemas que sempre são vistos em períodos de chuvas intensas são tratados como há algumas décadas, onde a principal ação era esconder o problema, canalizando recursos hídricos e transferindo o problema a jusante.

1.2 JUSTIFICATIVA

Problemas como esses podem e devem ser amenizados por meio do planejamento urbano, buscando-se soluções para reduzir os eventos e os danos causados pelas inundações. Dentre as diferentes formas de controle para a proteção contra inundações e os riscos que as mesmas podem trazer, existem meios estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são fundamentalmente projetadas e construídas unicamente para o controle de cheias. As medidas não estruturais têm como objetivo a melhor coexistência da população com as inundações e fundamenta-se em princípios que disciplinam o uso do solo, a tipologia das construções transitáveis, seguros e sistemas de alerta (TUCCI, 2003).

Para o controle das cheias urbanas, a tendência geralmente tem sido a implantação de medidas estruturais. Na maioria das vezes adotam-se processos de canalização dos trechos que possuem características de criticidade em relação às enchentes. A opção por esse recurso é realizada considerando-se somente um trecho da bacia, sem que as implicações sejam previstas para o restante da mesma e não levando em conta o aspecto da ocupação urbana. Assim, a canalização dos pontos nevrálgicos acaba somente transferindo a inundação de um ambiente para outro na bacia. Segundo Tucci (2002), esse processo, em geral, ocorre na seguinte sequência:

- a) *Fase 1:* Inicia-se o processo de urbanização de uma bacia de forma distribuída e com uma densificação maior a jusante, surgindo, no leito natural, as zonas de inundação como consequência dos estrangulamentos naturais na extensão do seu curso;
- b) *Fase 2:* na jusante na bacia, são executadas as primeiras canalizações, com base na urbanização atual; assim, o hidrograma a jusante aumenta, porém é contido por áreas que inundam a montante e porque a bacia não está inteiramente densificada;
- c) *Fase 3:* com a crescente densificação, a influência popular faz com que os gestores persistam com o processo de canalização para montante. Quando o processo se finaliza, ou até antes, as inundações retornam a jusante, devido ao acréscimo da vazão máxima, no momento em que esta não tem mais condições de ser ampliada. As regiões a montante

funcionavam como reservatórios de amortecimento. Nessa fase, a canalização transfere unicamente a inundação para jusante. Nesse estágio, não existem mais os espaços laterais para expandir os canais a jusante, visto a crescente ocupação das áreas, e as soluções encaminham-se para a escavação e aprofundamento do canal, podendo a chegar a custos extremamente altos.

Segundo Tucci (2003),

“o paradoxo é que países ricos verificaram que os custos de canalização e condutos eram muito altos e abandonaram esse tipo de solução, enquanto países pobres adotam sistematicamente essas medidas, perdendo duas vezes: custos muito maiores e aumento dos prejuízos”.

Ainda segundo o Tucci (2003), no rio Tamanduateí, em São Paulo, o custo da canalização foi de US\$ 50 milhões por quilômetro, ainda com inundações como consequências, enquanto que no ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte, chegou a US\$ 25 milhões por quilômetro, e também sofreu com inundações após a sua conclusão. Observa-se que ambos os valores empregados foram muito altos, porém não obtiveram sucesso no que se propunham.

Como já citado, o ribeirão Arrudas, o qual cruza a região central de Belo Horizonte, apesar de ter sido canalizado com a intenção de minimizar o efeito das cheias, ainda é atingido por inundações, como representado na Figura 2:

Figura 2 - Inundação do Ribeirão Arrudas



Fonte: Projeto Ribeirão Arrudas, 2010

Na imagem percebe-se que as muretas de proteção feitas para proteção do canal acabam por criar uma barreira, que não permite que a água escoe para dentro do canal, criando um “segundo rio” às suas margens.

Além das medidas estruturais também se pode optar pelas medidas não estruturais que visam a prevenção e minimização do impacto causado pelas enchentes. Podem ser agrupadas em três categorias, como a regulamentação do uso do solo, seguro de enchente e previsão e alerta de inundação. A regulamentação do uso do solo deve ser prevista no Plano Diretor da cidade, e constitui-se principalmente na definição dos riscos de inundação nas diferentes cotas ribeirinhas e definição de que usos se poderiam fazer das áreas de maior e menor risco. O seguro de enchente visa à proteção e redução de perdas das pessoas que podem ser atingidas pelas cheias. O objetivo da previsão e alerta é o monitoramento em tempo real que possibilita alertar com antecedência a Defesa Civil, as autoridades e a população para que se possam reduzir os prejuízos (TUCCI, 2002).

As práticas convencionais de drenagem baseiam-se no transporte das águas pluviais para mais longe, o mais rápido possível. Porém quanto mais as águas das chuvas nas cidades são retardadas para chegar ao curso d'água, menor o risco de inundações.

Uma prática para que ocorra esse retardamento é a retenção no início do escoamento, como por exemplo, nos próprios lotes, ou pela infiltração ou armazenamento quando se trata de macrodrenagem. Essas medidas visam evitar a transferência dos impactos causados pelas cheias em áreas à jusante.

Uma técnica que recentemente vem sendo implantada é a do desenvolvimento de baixo impacto, a qual atua no gerenciamento e controle do escoamento das águas pluviais, adotando métodos de armazenamento, infiltração, evaporação e amortecimento do escoamento superficial. Tais técnicas são consideradas medidas estruturais, porém não convencionais. Cidades americanas, como Seattle e Portland, são exemplos de locais que já aderiram a esses sistemas.

Deste modo, esse trabalho abordará as medidas de baixo impacto, as quais são utilizadas para minimização de inundações e alagamentos causados pela deficiência da drenagem pluvial nos centros urbanos e analisará a possibilidade de aplicação de tais medidas na Bacia Hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Paraná.

Após essa introdução, o estudo prevê uma revisão da literatura, a qual abordará conceitos e questões referentes à evolução das cidades e o ambiente que em se encontram, além de uma abordagem sobre os atuais conceitos de drenagem pluvial urbana, visto que estudos atuais mostram que a simples prática de despejar águas pluviais em galerias não é suficiente para os volumes gerados pelo escoamento superficial. Em seguida, apresentar-se-á a metodologia escolhida para o estudo da possibilidade de aplicação destas novas práticas de drenagem urbana e uma breve descrição da área escolhida como objeto da pesquisa. Posteriormente serão apresentados os resultados e a discussão das análises de aplicação do método na bacia hidrográfica selecionada e por fim, serão realizadas as considerações finais e a conclusão desta dissertação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade de implantação de medidas de baixo impacto para o controle de inundações e alagamentos no meio urbano da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Paraná.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Relacionar a urbanização à vulnerabilidade a inundações e alagamentos;
- b) Estudar medidas de baixo impacto para o controle de inundações e alagamentos aplicáveis no meio urbano;
- c) Criar metodologia para análise da aptidão para implantação de medidas de baixo impacto na Bacia Hidrográfica do Rio Belém;
- d) Aplicar a metodologia de análise desenvolvida na pesquisa;
- e) Verificar a aplicabilidade das medidas estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Belém.

2 CIDADES E MEIO AMBIENTE

2.1 EVOLUÇÃO DO ESPAÇO URBANO

As antigas civilizações iniciaram sua fixação em locais como o sul da Mesopotâmia, no Egito, no vale do rio Indo, no Paquistão, no vale do rio Amarelo, na China, no vale do México, nos pântanos da Guatemala e Honduras e nas encostas do Peru. Estas foram seguidas das civilizações póstumadas compostas por Creta, Micenas, Hititas, Grécia e Roma (MORRIS, 1998).

Em comum a essas regiões pode-se verificar a ocupação junto aos cursos d'água. De forma geral, o homem necessita da água para suprir o consumo, higiene e a diluição de despejos. Considera-se também como importante fator de ocupação, a forma plana do relevo geralmente situada próxima aos rios, o que facilita os assentamentos humanos (GARCÍAS et al, 2010).

Em civilizações antigas como a da China e do Egito, já existiam obras de infraestrutura para adução de água para irrigação de regiões com terras agricultáveis, além dos cursos d'água já serem utilizados como vias de comércio, caso houvesse possibilidade de navegação. A defesa dos territórios, no caso de invasões, também motivava as civilizações a construir suas cidades próximas a cursos d'água.

Porém, períodos de chuvas prolongadas ocasionavam a subida do nível das águas dos cursos e conseqüentemente provocavam inundações nas cidades próximas. Por um lado, essas inundações carregavam sedimentos para as planícies próximas dos rios, tornando a terra fértil e apta para o cultivo, entretanto, causavam prejuízos às comunidades ribeirinhas.

Na Idade Média, com o constante crescer das cidades, e conseqüentemente, com o aumento da população, práticas sanitárias antes suficientes para os habitantes, não supriam mais as demandas. Deste modo, a origem de várias epidemias acompanhou o crescimento de problemas causados pela falta de saneamento.

A partir da segunda metade do século XVII, segundo Benévolo (1994), o advento da revolução industrial trouxe conseqüências sobre o ambiente construído em todo o mundo. Pelo elevado número de novas habitações constituídas pelos

trabalhadores que imigravam até os novos centros, as deficiências higiênicas, suportáveis no meio rural, tornaram-se insuportáveis nas cidades.

A cidade industrial durante esse período caracterizava-se pela insalubridade. Não havia sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário, muito menos uma coleta de resíduos que atendesse à população de operários. Deste modo, surgiam epidemias difíceis de serem controladas, além de enfermidades que molestavam toda a população (ABIKO, 1995).

Ao final do século XVIII, iniciaram-se várias ações médicas, as quais pesquisavam sobre a influência que o meio exercia sobre a comunidade. A essa corrente de pensamento chamou-se de higienismo, também conhecida como sanitarismo.

Sobre o assunto, Góis Júnior e Lovisolo (2003) afirmam:

O 'movimento higienista' na Europa teve como objetivo central a proteção da população. Os higienistas mediavam, gerando 'soluções científicas', nos conflitos entre o capital e os trabalhadores, procurando desenvolver a saúde da população trabalhadora, a resistência do trabalhador, e melhores condições de trabalho no horizonte do aumento da produtividade ou acumulação das empresas.

Considera-se, portanto que o urbanismo sanitarista teve participação na concepção de leis sanitárias, já que nasceu com a finalidade de melhorar as condições de saúde das cidades.

Ainda para os autores Góis Júnior e Lovisolo (2003), na Europa, em meados do século XIX, a eliminação sistemática de águas paradas ou empoçadas nas cidades, assim como os dejetos domésticos jogados nas vias públicas era adotada como medida de saúde pública. Para os higienistas era necessária a circulação dos elementos da natureza, especificamente o ar e a água. Assim, a estagnação de tais elementos era combatida, conforme os princípios de higiene por eles propostos.

No Brasil, durante o final do século XIX até 1930, realizaram-se vários planos de melhoramentos, embelezamento e expansão, influenciados pelo renascentismo francês, e refletindo o monumentalismo burguês e a negação ao colonialismo. Estas reformas urbanísticas eram parte de alguns objetivos governamentais da época, tomados pela ideia de livrar a cidade das águas nocivas o mais rápido possível, conduzindo-as para um corpo d'água receptor (VILLAÇA, 1998).

Ações como o alargamento de ruas, retirada de cortiços ou bairros insalubres, implantação de redes subterrâneas de água potável e de esgotos pluviais e

domésticos eram o cerne do sanitarismo (SOUZA; DAMASIO, 1993). Tais atuações sanitárias foram responsáveis por alterações nos hábitos e no modo de viver dos cidadãos. Para Silveira (1998), nessa época iniciou-se a relação quantitativa entre precipitação e escoamento para dimensionamento de obras de efluentes.

De acordo com Andrade (1992), no Brasil, o modelo higienista teve início com o engenheiro urbanista Saturnino de Brito. Os seus princípios urbanísticos eram firmados sob a ótica das tecnologias de saneamento, intervenções com um padrão estético moderno, e no planejamento de expansão, com o intuito de controlar o processo de crescimento urbano. O engenheiro também defendia a organização e a previsão do crescimento das cidades ao argumentar que expansão urbana não deveria depender das vontades dos proprietários ou das administrações locais. Suas intervenções na área urbana compreendiam a cidade como um todo, ao conciliar o passado, redesenhando a cidade existente, e o futuro, planejando e projetando o crescimento urbano.

Ao se trazer exemplos locais, pode-se verificar a urbanização de Curitiba. Raros são os relatos sobre os rios da cidade, que não sejam do ponto de vista econômico. Com relação ao saneamento, no século XVII as referências diziam respeito principalmente a dois rios: o Ivo e o Belém. A população utilizava as águas do rio Ivo para beber e o rio Belém recebia as águas servidas, ou seja, o esgoto. Questões referentes ao saneamento na cidade também são observadas quando se remonta à história do Passeio Público, com sua inauguração em 1886. Neste local foi realizada a primeira obra na cidade de Curitiba que usou canais, lago e comportas para formar uma bacia de acumulação represando as águas do rio Belém, para controlar enchentes (DUDEQUE, 2010).

Em 1940 a cidade possuía aproximadamente 140 mil habitantes e a necessidade de organização eram prementes. Nesta época, o rio Ivo já se encontrava em partes canalizado e o rio Belém retificado, em alguns trechos. Existem registros de ações de caráter urbanístico e de saneamento anteriores às ações de planejamento (BOLETIM CASA ROMÁRIO MARTINS, 2006) e posteriormente com o Plano Agache elaborado entre 1941 e 1943 pelo urbanista francês Alfred Agache. O Plano Agache para a cidade de Curitiba englobava o plano das avenidas da cidade, os centros funcionais ou especializados, o código de obras e zoneamento, os espaços livres e sua distribuição. Esse foi o primeiro Plano Diretor

da Urbanização de Curitiba, contendo técnicas para ordenamento do espaço urbano (BARZ et al.2000).

O Plano Agache se propunha a descongestionar, sanear e embelezar Curitiba. [...] O Plano Agache distinguia as obras sanitárias das obras de embelezamento. Saturnino de Brito considerava que obras sanitárias também embelezavam. [...] Nota-se a influência das ideias sanitárias de Saturnino de Brito nos projetos do Plano Agache. Havia referências diretas... para projetar meios de conter enchentes, dimensionar e distribuir os canais de água (DUDEQUE, 2010).

Embora inovador, o Plano Agache não foi suficiente para organizar o enorme crescimento populacional da cidade, que em 20 anos (entre 1940 e 1960) passou de 140 mil para mais de 350 mil habitantes. Nessa época a prefeitura sugeriu modificações no Plano Agache, porém estas não foram suficientes. Assim, com a necessidade de um novo Plano Diretor, em 1965 a municipalidade contratou empresas paulistas para elaborarem um plano preliminar, no ano seguinte transformado em Plano Diretor de Curitiba (BARZ et al.2000).

O urbanismo, como um todo, não apenas desenha a cidade que se busca, porém determina, também, como ela deve ser alcançada e aproveitada. As propostas apresentadas em um planejamento urbano permitem gerar uma diversidade de conhecimentos na procura de soluções para os chamados problemas urbanos (HAYAKAWA, 2008). Com o crescimento das cidades, o processo da urbanização evidenciou-se cada vez mais.

Eldridge e Thomas (1964) definem urbanização como “um processo de concentração da população em dois níveis: a proliferação de pontos de concentração e o aumento do tamanho de cada um destes pontos”. Portanto o urbano indicaria uma configuração específica de ocupação do espaço por uma população, ou então, o aglomerado resultante de uma intensa concentração e de uma densidade relativamente alta.

O período anterior ao desenvolvimento urbano pode ser explicado conforme Santos (2008):

“Quando tudo era meio natural, o homem escolhia da natureza aquelas suas partes ou aspectos considerados fundamentais ao exercício da vida, valorizando, diferentemente, segundo os lugares e as culturas, essas condições naturais que constituíam a base material da existência do grupo. Esse meio natural generalizado era utilizado pelo homem sem grandes transformações.”

Castells (1983) tem uma visão mais social das cidades:

As cidades são a forma residencial adotada pelos membros da sociedade cuja presença direta nos locais de produção agrícola não era necessária. Estas cidades só podem existir na base do excedente produzido pelo trabalho da terra. Elas são o centro religioso, administrativo e políticos, expressão espacial de uma complexidade social determinada pelo processo de apropriação e de reinvestimento do produto do trabalho.

Segundo Castells (1983) e Ultramari (2007), os atuais problemas decorrentes da urbanização giram em torno de quatro fenômenos básicos:

- a) Urbanização acelerada no contexto mundial: Um exemplo desse crescimento é processo de urbanização das últimas décadas no Brasil, principalmente a partir de 1970, quando importantes modificações neste panorama, começaram a ser notadas como o aumento das áreas urbanizadas, crescimento das cidades médias, formação de periferias adjacentes às grandes cidades e observação de aglomerações urbanas, sem respeitar limites político-administrativos dos municípios que os compõem, o que caracteriza as regiões metropolitanas;
- b) Concentração do crescimento urbano em regiões subdesenvolvidas: Os municípios brasileiros circunvizinhos às grandes cidades, mesmo com quedas nas suas taxas de crescimento, continuam compondo territórios de grande densidade demográfica. Deve-se levar em conta também os diferentes valores de terra entre municípios periféricos e polos e uma urbanização acompanhada a uma generalização da pobreza;
- c) Advento de novas formas urbanas, especialmente de grandes metrópoles: Toma-se como exemplo a atual conformação da rede urbana brasileira. Esta se define a partir da dimensão dos seus centros urbanos e do modo como ocupam os espaços. Isto significa a identificação de fluxos de pessoas, de mercadorias e de informações aptas à criação de estruturas territoriais que cidades, muitas vezes, não estão preparadas;
- d) A ocupação do território nacional com a abertura da economia brasileira para o mercado internacional criou novas relações regionais e de alguns locais com economias estrangeiras. Um exemplo é o polo automobilístico formado pelas industriais automotivas em Curitiba. Com a crescente demanda por mão-de-obra, há um estímulo à imigração. Com a falta de espaço no polo regional, inicia-se uma aglomeração urbana metropolitana.

Além dos problemas citados anteriormente, Hayakawa (2008) elenca um quinto fenômeno a ser julgado na gestão urbana, a degradação ambiental:

(...) esta degradação tem várias causas; uma delas é a ausência de controle e monitoramento da ocupação das áreas urbanas. Independentemente das causas, tal degradação ocorre na maioria das cidades brasileiras: a ocupação nas encostas dos morros causando deslizamentos como, por exemplo, na cidade do Rio de Janeiro; a ocupação das bacias dos mananciais da represa de Guarapiranga, em São Paulo, comprometendo a qualidade do abastecimento de água da cidade, obrigando-a a trazer água de outro Estado, a 70 quilômetros de distância; a ocupação desordenada ao longo do rio Tietê também em São Paulo; ocupações próximas a áreas de mangue e restingas. Algumas dessas degradações ambientais decorrem das ações antrópicas como nas construções de barragens, linhas de transmissões elétricas, rodovias, aeroportos e retificações de rios, em função de canalizações e planos de drenagens equivocados.

Assim, ações que "controlam" a natureza, como por exemplo, a drenagem de pântanos, a canalização e a retificação de rios para escoar as águas da chuva com maior velocidade, com obras de embelezamento e saneamento, estende-se, mesmo que em menor escala, até hoje.

Percebeu-se então que com o desenvolvimento e crescimento da zona urbana, a qual cada vez mais pressiona as margens dos rios, problemas de drenagem e vazão ao longo dessas áreas começaram a se tornar frequentes, pois, além de o solo estar sendo impermeabilizado, resíduos estavam sendo jogados nos rios, diminuindo a calha da parte canalizada. Tal fato dificulta o acesso para a limpeza dos rios e córregos, o que resulta no estrangulamento da calha do rio, ocasionando problemas de inundações e vulnerabilidade a doenças.

Segundo Castells (1983), o processo de urbanização demanda de estudos que integrem a análise do espaço considerando as questões ambientais, com as lutas sociais e os processos políticos.

Para Mota (1999), o planejamento das cidades deve ser executado baseado com o ponto de vista do desenvolvimento sustentável, o qual introduz o objetivo global de um desenvolvimento econômico e social duradouro, ponderando com igualdade e certeza científica, e que não desperdice o patrimônio natural das nações ou perturbe os equilíbrios ecológicos, assim como diz a Agenda 21, documento resultante da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992.

Na Agenda 21, destaca-se o Capítulo 7, o qual trata da Promoção do Desenvolvimento Sustentável dos Assentamentos Humanos e tem algumas bases

de ação, como: “promover o planejamento e o manejo sustentáveis do uso da terra”, “promover a existência integrada de infraestrutura ambiental: água, saneamento, drenagem e manejo de resíduos sólidos” e “promover o planejamento e o manejo dos assentamentos humanos localizados em áreas sujeitas a desastres” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002).

O uso do solo nas cidades está fortemente ligado à preservação dos recursos hídricos, uma vez que o assentamento humano configura-se hoje, no maior agente transformador do espaço natural em curto prazo. Ecossistemas vulneráveis devem ser preservados de um modo de ocupação intensivo, que não respeita seu ciclo de vida e seus fluxos de matéria. Sabendo-se a distribuição e a extensão de classes de uso e ocupação do solo, pode-se realizar a interação com outras classes, identificar regiões próprias para certas atividades, auxiliar no planejamento socioambiental das cidades. Assim, pode-se prevenir eventos decorrentes da ocupação irregular e/ou desordenada do meio urbano, como acidentes relativos a deslizamentos em áreas de encostas ou subsidência de solo e conseqüente danificação ou destruição de edificações, assim como as já referidas inundações e suas conseqüências.

Platt (1994, apud Mota, 1999) vê a sustentabilidade de um meio sob dois aspectos. O primeiro diz respeito à proteção e restauração das características e processos biológicos remanescentes dentro da comunidade urbana. O segundo considera o impacto das cidades nos recursos terrestres, aquáticos e atmosféricos da biosfera, nos quais ela está presente, se mantém e causa efeitos nocivos.

O processo de urbanização no Brasil, principalmente a partir da década de 1950 causou um grande número de impactos no meio ambiente, como por exemplo, os desmatamentos, os movimentos de terra, erosões, modificações de ecossistemas, a impermeabilização do solo e o aterramento de várzeas (WILHEIM, 1993). Em São Paulo, de forma contrária ao que propunha o engenheiro sanitário Saturnino de Brito, as várzeas localizadas em vastas baixadas, as quais eram periodicamente tomadas pelas águas dos rios, foram aterradas, loteadas, vendidas e ocupadas, alterando o regime do rio, diminuindo seu espaço e submetendo os moradores às inundações. Tais eventos foram maximizados pela crescente impermeabilização do solo, fato esse que levava as águas de chuvas torrenciais com rapidez às calhas dos rios, os quais não suportavam tamanha vazão.

Percebe-se, portanto a presença da questão do saneamento em vários períodos da história de formação e evolução das cidades. Por exemplo, na Índia

foram encontrados banheiros com redes de esgoto nas construções e drenagem nas ruas que datam de 4000 anos. O antigo testamento bíblico expõe abordagens de práticas sanitárias do povo judeu como, por exemplo, o uso da água para limpeza de roupas sujas que favoreciam a aparição de doenças. Desta forma os poços para abastecimento eram conservados tampados, limpos e longe de prováveis fontes de poluição. Das práticas sanitárias coletivas mais marcantes na antiguidade destacam-se a construção de aquedutos, banhos públicos, termas e esgotos romanos, tendo como símbolo histórico a conhecida Cloaca Máxima de Roma. Contudo, a falta de difusão dos conhecimentos de saneamento levou os povos a um retrocesso, originando o pouco uso da água durante a Idade Média, quando o consumo per capita de certas cidades europeias chegou a um litro por habitante por dia. O quadro característico desse período é o lançamento de dejetos na rua (Guimarães, Carvalho e Silva, 2007).

Atualmente, com a expansão das áreas urbanas e com as obras de saneamento não acompanhando esse crescimento, os mananciais com qualidade para abastecimento das cidades ficam cada vez mais distantes, e sua exploração mais onerosa.

Conclui-se que a grande concentração de pessoas, principalmente em espaços que não permitem a vida em condições salubres, determina uma “resposta” do ambiente com o aparecimento de efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social do homem. Tais efeitos estão ligados principalmente à falta de infraestrutura de saneamento nas cidades.

No Brasil, com a Lei nº 11.445/07, foi oficializado o conceito de saneamento básico. Definiu-se então como sendo “o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas” (BRASIL, 2007).

Mais detalhadamente em seu artigo 3º a lei define:

I - saneamento básico: conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (BRASIL, 2007).

Entre os problemas citados, para esse estudo serão considerados aqueles referentes à infraestrutura de drenagem pluvial já que pela ocupação urbana próxima a cursos de água, existe a possibilidade de essas áreas ocupadas estarem sujeitas a problemas como inundações e alagamentos.

São essas as regiões mais afetadas com as enchentes, pois na maioria das vezes, os canais são cobertos e passam por processos de impermeabilização, assim, grandes vias asfaltadas são construídas em fundos de vale a fim de facilitar o fluxo entre regiões de uma cidade.

Devido à elevada concentração de pessoas no meio urbano, o Brasil perde anualmente grandes quantias com as inundações urbanas. Em 2007 foram desembolsados R\$241.286.008,01 dos recursos federais com as questões relativas à drenagem urbana (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

O meio urbano transmite imagens a cada cidadão e cada um a vê de uma maneira diferente, de formas mais ou menos positivas. Os elementos que compõem as cidades lembram formas físicas, e podem ser distribuídos em cinco tipos de elementos: vias, limites, bairros, pontos nodais e marcos. Um desses elementos são as vias, as quais “são canais de circulação ao longo dos quais o observador se locomove de modo habitual, ocasional ou potencial. Podem ser ruas, alamedas, linhas de trânsito, canais, ferrovias (...)” (LYNCH, 1997).

As modificações na bacia hidrográfica alteram a frequência das inundações. A influência praticada pelo crescimento populacional resulta na exclusão de parte da população, principalmente da mais carente, a qual se instala na planície de inundação. Este tipo de problema é habitual em áreas urbanas e de tal modo, devem

ser introduzidos novos conceitos e técnicas para uma melhor convivência da comunidade com este fenômeno (PLATE, 2002).

Com a construção de edificações e pavimentação de ruas e estradas ocorre um processo de impermeabilização do solo, que é compactado e recoberto por concreto, asfalto ou outros materiais. Desta forma as águas das chuvas são impedidas de serem absorvidas pelo solo e escoam diretamente para os rios, aumentando rapidamente seu nível.

Outro fator que aumenta o escoamento superficial e acelera o processo de perda de solo, ocasionando o assoreamento dos cursos d'água é o desmatamento, pois diminui a interceptação do fluxo de água no terreno.

O aporte de substâncias carregadas pelo escoamento superficial para água dos rios é chamado de poluição difusa. As fontes difusas de poluição se caracterizam pelo lançamento direto ou indireto de contaminantes líquidos ou sólidos nos cursos d'água. (BILBAO; GARCÍAS, 2006).

Os resíduos sólidos provenientes desse tipo de poluição podem entupir o sistema de drenagem pluvial que levariam as águas diretamente para os rios, alagando áreas que normalmente não eram invadidas pelas águas. Na própria calha do rio, os resíduos também podem funcionar como uma barragem, proporcionando o acelerado aumento do seu nível.

A vazão dos cursos de água também é alterada pelas retificações, pelas canalizações e pelo assoreamento. Com a supressão dos meandros existentes na maioria dos cursos d'água, os quais são responsáveis pela redução gradual da velocidade da água, ocorre a concentração do fluxo em pouco tempo, e gera as chamadas "inundações relâmpagos".

Em resumo, as cidades rompem o equilíbrio do ciclo hidrológico. A impermeabilização impede a recarga do lençol freático, polui águas superficiais e aumenta a proporção das inundações.

O processo de urbanização deve ser frequentemente avaliado, visto o dinamismo das cidades. Essas se modificam a todo o momento em decorrência das adaptações que a modernidade exige dos seus moradores. A história exhibe como algumas cidades influenciaram e influenciam na forma de ocupação de outras, até o presente período, seja pelo seu desenho, pela sua aptidão, ou pelo perfil e cultura de seus habitantes. Os problemas das cidades e as inquietações dos gestores em resolvê-los são comuns à maior parte delas. Curitiba não foge à regra: a questão do

seu crescimento com infraestrutura adequada, a preocupação com seu papel social, com a constituição do espaço urbano e a deterioração ambiental. Tais fatores resultam em periferias que ultrapassam os limites político-administrativos, característica das atuais regiões metropolitanas. A deficiência na gestão das cidades provoca impactos na urbanização, como a ocupação em zonas de risco em decorrência do ritmo de urbanização. Curitiba mostra um processo de urbanização junto a seus rios. Como foco, cita-se a Bacia Hidrográfica do Rio Belém, o qual nasce e possui sua foz dentro da capital paranaense, local onde há ocupações de áreas consideradas vulneráveis a inundações.

2.2 VULNERABILIDADE EM ESPAÇOS URBANOS

Um mesmo tipo de evento pode provocar respostas totalmente diferentes em meios distintos, causando mais ou menos danos. Isso ocorre porque um meio se difere de outro em função de suas particularidades naturais e antrópicas, chamadas de condições intrínsecas. Essas condições são chamadas de vulnerabilidades, e sua alteração em resposta a um evento de certo tipo e magnitude pode resultar em danos ambientais capazes de comprometer uma população ou um ecossistema (SANTOS, 2007; MINAS GERAIS, 2012).

Segundo Castro (2004), a vulnerabilidade de um meio também pode ser definida por alguns conceitos:

- Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis.
- Relação existente entre a magnitude da ameaça, caso ela se concretize, e a intensidade do dano consequente.
- Probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça ou risco potencial de desastre, estabelecida a partir de estudos técnicos.
- Corresponde ao nível de insegurança intrínseca de um cenário de desastre a um evento adverso determinado.
- Vulnerabilidade é o inverso da segurança.

Com isso, percebe-se que uma ocorrência e a intensidade dos desastres dependem muito mais do grau de vulnerabilidade dos cenários e dos ecossistemas

afetados do que da magnitude dos eventos adversos. Por exemplo, um determinado evento de pequena magnitude em área vulnerável pode causar impacto maior do que um mesmo evento, de maior magnitude, em outra área. Neste sentido, os efeitos de tais eventos podem ser evitados ou minimizados quando se tem uma atenuação no grau de vulnerabilidade de uma área.

Deve-se também atentar para o fato que a vulnerabilidade é em si um sistema dinâmico. Depende da interação de diversos fatores, sejam eles internos ou externos, que convergem em uma determinada comunidade ou local. Essa interação resulta na incapacidade da comunidade ou região de resistir ou responder adequadamente a determinado evento (WILCHES-CHAUX, 1993 apud FONSECA, 2010).

Dentro das cidades, espaços ocupados tornam-se potencialmente suscetíveis a episódios de ordem natural. Para alguns tipos de eventos, o risco é maximizado pelo homem através da impermeabilização do solo e pela ocupação de áreas impróprias, como nos casos de inundações, alagamentos, deslizamentos, entre outros, os quais tem base em causas naturais, como, por exemplo, chuvas e instabilidade de terrenos.

Em geral nos centros urbanos a vulnerabilidade não se manifesta desassociada de outros fatores, sejam eles sociais, econômicos ou políticos. Wilches-Chaux (1993, apud Fonseca, 2010) afirma que existem diversas vulnerabilidades, que se entrelaçam entre seus tipos criando uma vulnerabilidade global. Dentre os tipos de vulnerabilidade destacam-se para o caso urbano:

- a) Vulnerabilidade Física: A localização dos assentamentos em áreas de risco e falhas nas estruturas que não conseguem suportar os efeitos adversos;
- b) Vulnerabilidade Econômica: Apontada pelo autor como o mais importante eixo da vulnerabilidade global. Comunidades não favorecidas economicamente são mais vulneráveis aos perigos naturais;
- c) Vulnerabilidade Social: “O nível de trauma social resultante de uma catástrofe é inversamente proporcional ao nível de organização da comunidade afetada”;

- d) Vulnerabilidade Política: A vulnerabilidade nesse caso é o inverso da autonomia política. Quanto maior a autonomia política, menor a vulnerabilidade política da comunidade;
- e) Vulnerabilidade Institucional: A ação institucional travada por burocracias se constitui numa vulnerabilidade institucional. Os mecanismos da máquina pública por vezes impedem respostas de curto prazo do governo às rápidas mudanças de ordem social.

Além dessas apresentadas, Barcellos e Oliveira (2008) apresentam a vulnerabilidade socioambiental:

Os estudos sobre os processos que levam às vulnerabilidades e riscos socioambientais, no âmbito das ciências sociais, têm demonstrado que a degradação ambiental possui um vínculo estreito com a perpetuação da pobreza e com a inacessibilidade à terra, tornando a população de baixa renda mais vulnerável aos desastres naturais. Entretanto, não é apenas o quadro de desigualdades ao acesso a terra o único responsável pela degradação ambiental e os consequentes riscos. A especulação imobiliária, o uso inadequado do solo, o desmatamento, o não cumprimento à legislação, geram um ambiente propício aos processos de risco.

É visível o entrelaçamento dessas vulnerabilidades nas comunidades mais atingidas por desastres naturais em meio urbano. Comunidades economicamente vulneráveis, que se instalam em locais inapropriados (vulnerabilidade física) por falta de acesso a melhores opções de moradia, resultam em comunidades desorganizadas (vulnerabilidade social), com pouca ou nenhuma condição de responder adequadamente a um evento adverso. Sem autonomia política e respostas rápidas da máquina pública que realmente resolvam o problema, eventos que poderiam não resultar em quase nenhum dano se transformam em situações caóticas. Alguns exemplos de desastres causados pela vulnerabilidade das áreas atingidas em cidades brasileiras são:

- a) Vale do Itajaí – SC (novembro/2008): Chuvas com mais de 600 mm de intensidade atingiram a região do Vale do Rio Itajaí, em Santa Catarina. Mais de dois milhões de pessoas atingidas, 99 municípios em situação de emergência com 137 pessoas mortas. Deslizamentos e enchentes causados pelas chuvas comprometeram moradias, rodovias,

infraestrutura, turismo, entre outras atividades (DEFESA CIVIL – SC, 2009). Uma vista panorâmica da região pode ser observada na Figura 3:

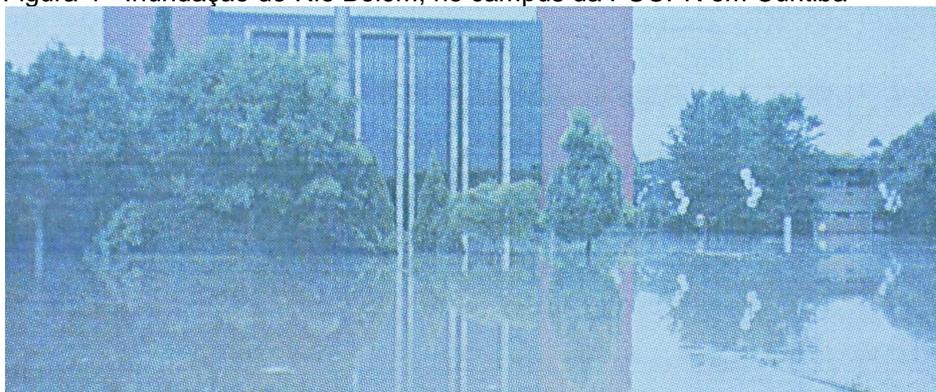
Figura 3 - Inundação no Vale do Itajaí



Fonte: Honorato, 2009.

- b) Região Serrana – RJ (janeiro/2011): Chuvas de aproximadamente 300 mm em 24 horas causaram deslizamentos de terra e deixaram em torno de mil mortos. Os fatores causadores do desastre foram a topografia acidentada, solo espesso em diversos locais e a ocupação desordenada de encostas e margens de cursos de águas (TAVARES, 2011);
- c) Morro do Bumba – Niterói – RJ (abril/2010): Chuvas fortes provocaram a desestabilização de um antigo lixão, ocupado por famílias. O morro cedeu e causou a morte de dezenas de pessoas (REDAÇÃO ÉPOCA, 2010);
- d) Inundação no Rio Belém – Curitiba – PR (1999): Chuvas com intensidade média de 100 mm em aproximadamente uma hora e meia fizeram o Rio Belém se elevar cerca de 5,5 metros, alagando várias regiões da bacia hidrográfica (FENDRICH, 2002). Uma das áreas atingidas foi o campus da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, em Curitiba, conforme pode ser visto na Figura 4. A imagem apresenta a Biblioteca Central do campus tomada pela água da chuva.

Figura 4 - Inundação do Rio Belém, no campus da PUCPR em Curitiba



Fonte: Fendrich, 2002

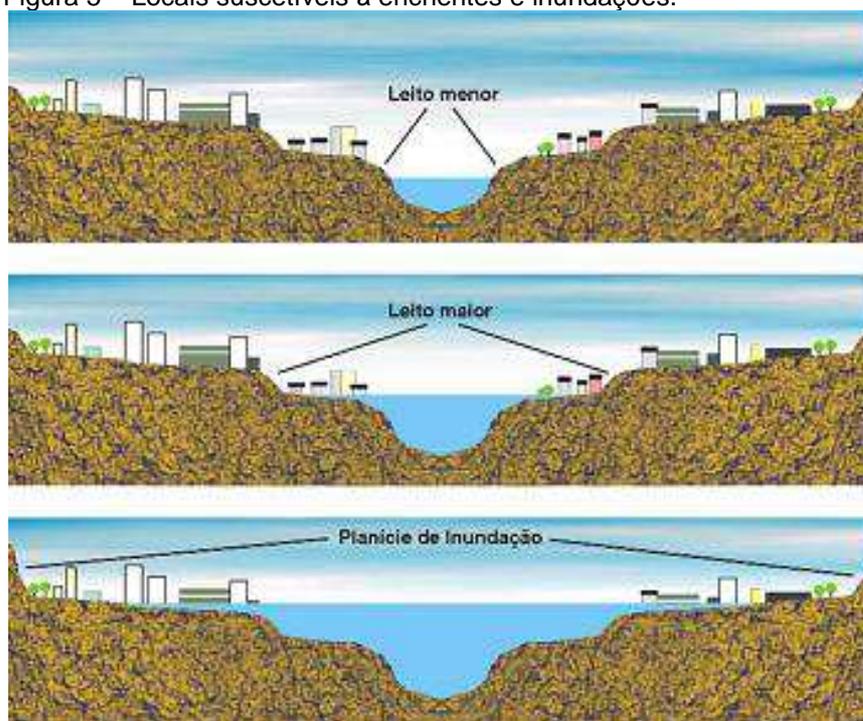
Os desastres causados por fortes precipitações talvez sejam os mais comuns nas cidades brasileiras. Entre esses estão as inundações, que aliadas à vulnerabilidade das várzeas, causam tragédias de ano em ano. Em geral os mais afetados são membros de comunidades carentes residentes em áreas de risco, enquadrados nos tipos de vulnerabilidade anteriormente descritos.

Além da vulnerabilidade dos residentes, é preciso considerar também a vulnerabilidade da região. O regime de chuvas altera o nível das águas dos rios e as enchentes e inundações são eventos completamente naturais. Passam a ser adversas e potencialmente causadoras de desastres quando existem ocupações na planície de ocupação, área 'projetada' para receber a vazão excedente advinda das chuvas. Sempre que ocupadas as várzeas tornam-se áreas vulneráveis a esse tipo de evento.

A natureza já providenciou uma solução a custo mínimo das futuras enchentes, na forma de extensas várzeas que moderam as variações extremas de correnteza. Mais prudente e econômico é não perturbar o regime hidrológico estabelecido em milênios (SPIRN, 19--., *apud* FREITAS, 1998).

Assim, a vulnerabilidade do espaço urbano está ligada às ocupações de várzeas, áreas consideradas como parte do leito do rio. Na Figura 5 observa-se essa questão, onde se verifica que áreas que não deveriam estar ocupadas podem sofrer consequências em decorrência das enchentes.

Figura 5 – Locais suscetíveis à enchentes e inundações.



A Lei Federal 12.651 (BRASIL, 2012), que dispõe sobre a Proteção da Vegetação Nativa, tem como um dos seus objetivos regulamentar o uso da terra para proteger o patrimônio florestal do país também em áreas de várzea. Um dos instrumentos utilizados para essa proteção é a definição das Áreas de Preservação Permanente (APPs) que por sua função ambiental relevante devem ser mantidas e cujo uso tem que atender diversas premissas dispostas na Lei.

As ocupações de várzeas não são raras e demonstram como a vulnerabilidade global, somada a inadequada gestão e fiscalização que permite ocupações em áreas sensíveis, pode resultar em sérios danos à infraestrutura e mobilidade das cidades, além de perdas ambientais e humanas.

2.3 ENCHENTES, INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS

É comum na sociedade a confusão entre os termos enchente, inundação e alagamento. Tais terminologias são tomadas como se fossem sinônimos, quando, cientificamente, não são. A mídia, na maior parte das vezes, tenta levar de forma mais simples informações referentes aos eventos resultantes do escoamento superficial das precipitações pluviométricas. Porém, na tentativa de simplificar, acabam distorcendo alguns conceitos.

Considera-se a enchente como o aumento do nível regular dos cursos de água, no qual o rio ocupa seu leito maior, sem que ocorra o extravasamento além da sua calha. É um fenômeno natural que pode ocorrer em áreas urbanas ou rurais, independente da dimensão do corpo hídrico, podendo ser observado em todos os cursos de água. É um fato sazonal, o qual depende de precipitações na bacia hidrográfica (PINHEIRO, 2007).

A partir do momento em que as águas extravasam a calha dos rios e atingem as áreas de várzea próximas ao curso d'água, tem-se a inundação. Da mesma forma que as enchentes, as inundações são fenômenos naturais e não evidenciam um desastre. Falar em qualquer tipo de catástrofe envolvendo inundações somente tem sentido se houver uma ocupação antrópica. Portanto, tal situação passa a ser considerada como um problema socioambiental quando o homem não respeita os limites das condições naturais do meio e se instala nessas regiões. No passado, as inundações eram avaliadas como benéficas, pois “permitiam o aporte de material rico em nutrientes e desejáveis à agricultura das várzeas”. Entretanto, atualmente, provocam impactos ambientais negativos, com perdas materiais e, em alguns casos, de vidas humanas (PINHEIRO, 2007).

Por fim, alagamento é considerado o acúmulo de água devido à deficiência do escoamento da água pelo sistema de drenagem urbano. O fenômeno não é ligado, necessariamente, à presença de cursos de água em uma bacia hidrográfica. Pode ser causado, por um acúmulo indevido de água pluvial em uma determinada área com problemas de drenagem.

No Figura 6 pode-se observar um esquema de representação dos conceitos apresentados:

Figura 6 - Representação de enchente, inundação e alagamentos

✓ Enchente, inundação e alagamento;

SÃO PREOCUPANTES PORQUE CAUSAM **EFEITOS IMEDIATOS** (DIRETOS) E **EFEITOS POSTERIORES** (INDIRETOS) À SAÚDE HUMANA;



Fonte: DEFESA CIVIL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2011.

As bacias hidrográficas urbanas apresentam superfícies impermeáveis que aceleram o escoamento superficial através da canalização e drenagem superficial, o que gera o aumento da vazão máxima dos rios e antecipa o tempo de pico de vazão. Isso faz com que, em épocas sem precipitação os rios urbanos se tornem “calhas secas” e naqueles mais chuvosos a população seja atingida por uma onda de cheia, resultando em prejuízos.

Com o crescimento acelerado e desordenado pela falta de disciplinamento da ocupação urbana das cidades, as áreas de risco de inundações, como várzeas inundáveis, foram sendo ocupadas, cada vez mais densamente por uma população geralmente com menor poder aquisitivo. Os problemas causados por inundações tais como prejuízos materiais e humanos dependem do seu grau, sua frequência e da ocupação da área. O prejuízo é ainda maior quando ocorre a densificação da área pela pouca frequência das inundações. Assim, a pressão para a ocupação aumenta, e conseqüentemente cresce a confiança adquirida pela população quanto à segurança na área, desprezando o risco.

Segundo Freitas (2008), os tipos de inundações nas áreas urbanas são:

a) Devido à urbanização:

- Impermeabilização do solo;
- Aumento da capacidade de escoamento (drenagem urbana) através de condutos e canais.

- b) Devido à ocupação ribeirinha:
 - Inundações naturais que ocorrem nos rios de médio e grande porte, onde o rio extravasa de seu leito menor para o seu leito maior.
- c) Devido a problemas localizados:
 - Obstrução ao escoamento;
 - Projetos inadequados.

Ainda para Freitas (2008), a ocorrência das inundações pode ser ocasionada por condições meteorológicas ou hidrográficas. A condição meteorológica considerada como fator para que ocorram as inundações é o total precipitado e a duração da precipitação em uma região. Já as condições hidrológicas podem ser separadas em naturais e em artificiais.

As condições hidrológicas naturais dependem de alguns fatores:

- a) Relevo: Quanto mais próximo a foz, mais plano é o relevo, maior a quantidade de meandros, menor é a velocidade das águas e maior a probabilidade de inundações;
- b) Cobertura vegetal: A cobertura vegetal intercepta a precipitação e retarda o escoamento das águas;
- c) Capacidade de drenagem do terreno;

As condições hidrológicas artificiais também dependem de diversos fatores, ligados à ação antrópica:

- a) Obras hidráulicas;
- b) Urbanização;
- c) Desmatamento (mesmos efeitos da urbanização, somando a erosão e o assoreamento do leito do rio);
- d) Reflorestamento;
- e) Uso Agrícola.

Para tentar minimizar o efeito das enchentes, causadas pela modificação do espaço urbano, o homem começou a utilizar técnicas que auxiliam no escoamento das águas pluviais, como medidas preventivas aos eventos de inundações e alagamentos: a drenagem.

3 DRENAGEM PLUVIAL URBANA

Considerando o artigo 3º da Política Nacional de Saneamento Básico, o subsistema de drenagem pluvial urbana busca promover o adequado escoamento das massas líquidas originárias das chuvas que precipitam nas áreas urbanas, garantindo o trânsito público, o conforto dos transeuntes, dirigibilidade dos veículos e a proteção das edificações, bem como evitando efeitos danosos das inundações e dos alagamentos, principalmente em áreas consideradas vulneráveis habitadas pela população (BRASIL, 2007).

Nas cidades medievais, onde o tráfego de pedestres era maior, as águas pluviais fluíam sobre o pavimento das vias, geralmente em sua parte central. Com o passar do tempo, o desenvolvimento e o aumento das cidades, além do seu progresso, visto principalmente pelo surgimento dos veículos automotores, este processo de drenagem foi substituído pela utilização de galerias pluviais subterrâneas. Para essas galerias se adotavam medidas e formas de modo a atender à dupla função de escoar as águas pluviais e os esgotos, além da previsão de um espaço destinado a circulação de pessoas. Também deveriam permitir a realização de tarefas de inspeção e limpeza, em épocas de estiagem. Este método combinado de escoamento de águas e de esgotos, chamados de sistema unitário, ou unificado, o qual vem sendo substituído ao poucos por um sistema separador absoluto, dificulta e impede o tratamento dos esgotos além de favorecer o surgimento de vetores e doenças infectocontagiosas. O sistema separador absoluto encaminha os efluentes e as águas pluviais por galerias distintas (MASCARÓ, 1987).

Ainda para Mascaró (1987), o subsistema de drenagem de águas pluviais constitui-se de duas partes: ruas pavimentadas, incluindo as guias e sarjetas; e redes de tubulações e seus sistemas de captação. De forma mais específica, para o autor, tem-se:

- a) Meios-fios ou Guias: são elementos utilizados entre o passeio e o leito carroçável, colocados paralelamente ao eixo da rua, construídos usualmente de pedra ou concreto pré-moldado e compõem um conjunto com as sarjetas. Devem possuir uma altura aproximada de 15 cm em relação ao nível superior da sarjeta. Uma altura maior impediria a abertura

das portas dos automóveis, e uma altura menor diminuiria a capacidade de transportar as águas nas vias.

- b) Sarjetas: são faixas do leito carroçável, arranjadas junto ao meio-fio, concebidas comumente em concreto moldado in loco ou pré-moldadas. Compõem, junto ao meio-fio, canais triangulares para receber e dirigir as águas pluviais para o sistema de captação.
- c) Sarjetões: são calhas na maioria das vezes compostas de material semelhante das sarjetas em forma de “V”, posicionadas nos cruzamentos de vias e que conduzem o fluxo de águas perpendiculares. Um dos pontos críticos desse sistema acontece nos cruzamentos de ruas, onde as águas, na medida do possível, não devem atrapalhar o tráfego.
- d) Bocas-de-lobo: são caixas utilizadas para captação das águas provenientes do escoamento superficial, situadas ao longo das sarjetas, e conduzi-las para dentro das galerias. Geralmente, “são situadas nos cruzamentos das vias a montante da faixa de pedestres, ou em pontos intermediários, quando a capacidade do conjunto meio-fio x sarjeta fica esgotado”.
- e) Galerias: canalizações para receber as águas pluviais captadas na superfície e dirigi-las ao seu destino. São situadas em valas construídas comumente no eixo das ruas, com revestimento de 1,0 m e na maioria das vezes, são pré-moldadas em concreto, com diâmetros entre 400 e 1500 mm.
- f) Poços de visita: componentes do subsistema de drenagem de águas de chuva que permitem o acesso às canalizações, para realização de limpeza e inspeção. São indispensáveis quando existe variação de direção ou declividade na galeria, nas junções de galerias, ou quando há modificações de diâmetro das galerias. As paredes são concebidas, na maioria das vezes, em tijolos ou concreto, o fundo em concreto e a tampa em ferro fundido.

O projeto e principalmente, o traçado da rede de canalizações componentes deste subsistema dependem da topografia e do subsistema viário da região a ser drenada. O sistema que compõe a rede e seus equipamentos de infraestrutura necessária para o funcionamento da drenagem é dimensionado segundo:

- a) O ciclo hidrológico local, pois quanto maiores os índices pluviométricos, maior será o subsistema;
- b) A topografia, pois quanto maiores as declividades, o escoamento das águas se dará de maneira mais rápida;
- c) A cobertura e impermeabilização da bacia, pois quanto menos água for absorvida pelo terreno, mais deve ser esgotada.
- d) O traçado da rede de outros subsistemas, como abastecimento de água, esgotamento sanitário, gás, entre outros, para que não haja interferência.
- e) A área e a forma da bacia: quanto maior for a área a ser drenada, mais água é captada e a forma é determinante para a concentração do fluxo de água em uma bacia (MASCARÓ, 1987).

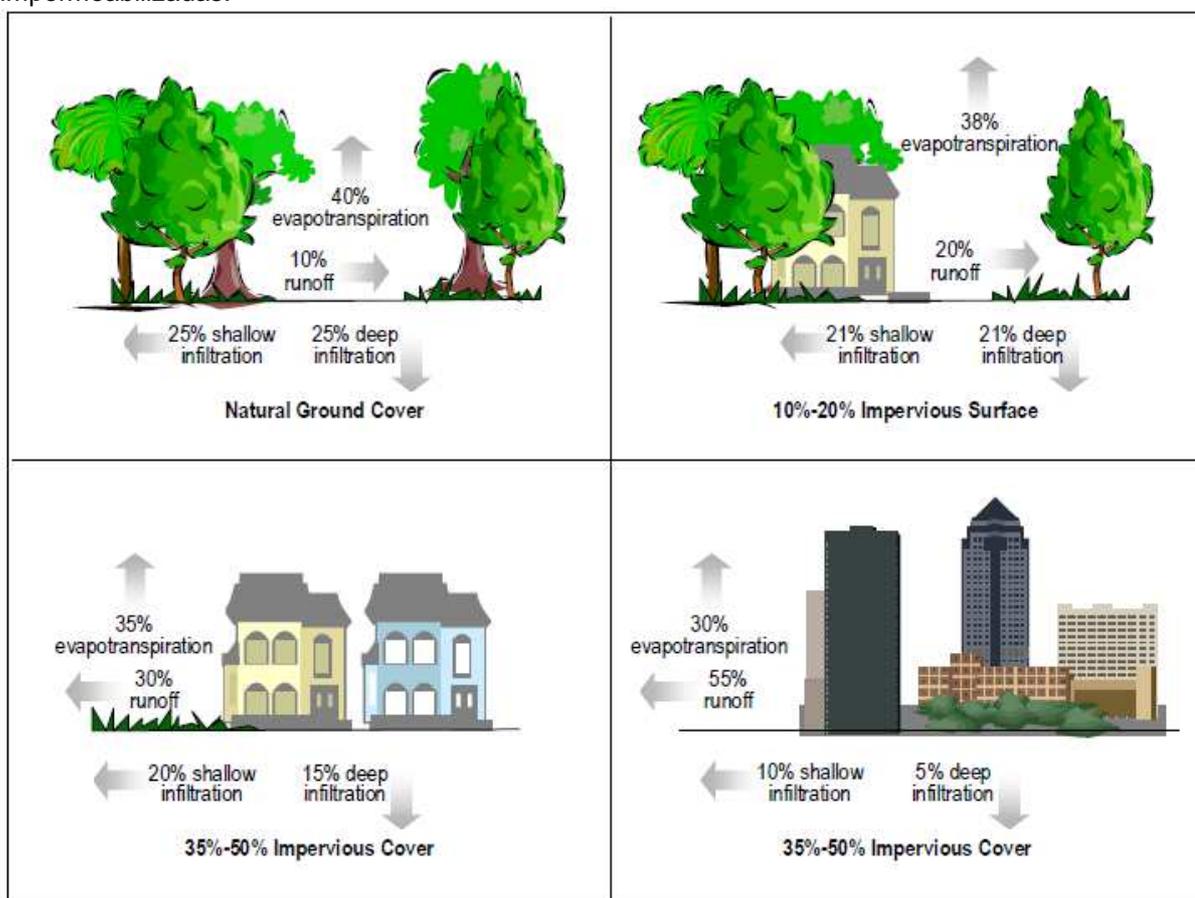
Segundo Villela e Mattos (1978), há dois indicadores de forma da bacia, o fator de forma e o coeficiente de compacidade. O fator de forma é a relação entre a largura média da bacia (divisão entre a área da bacia pelo seu comprimento) e seu comprimento axial (comprimento do curso de água mais extenso, a partir da sua cabeceira até sua foz). O fator de forma é um índice que indica a tendência de cheias de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma alto é mais sujeita a cheias que outra de mesmo tamanho, mas com menor fator de forma. Isso porque em bacia estreita e alongada, com fator de forma baixo, há menor probabilidade de ocorrência de chuvas intensas afetando toda sua extensão ao mesmo tempo.

O coeficiente de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia. Este coeficiente é adimensional e se altera com a forma da bacia, independente do seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. O valor mínimo do coeficiente, igual a um, corresponderia a uma bacia circular. A tendência para maiores enchentes é mais elevada quanto mais próximo de um for esse coeficiente. Isso se deve pelo fato que em uma bacia próxima a forma circular, a água escoada na bacia tende a alcançar o exutório da bacia ao mesmo tempo.

As intervenções humanas existentes ao longo de uma bacia hidrográfica são geradoras de danos ou então, podem agravar ou reduzir a intensidade das inundações e alagamentos. As principais interferências estão vinculadas à urbanização e aos obstáculos que se criam ao escoamento da água. Como já

mencionado, a urbanização impermeabiliza os solos, o que provoca o aumento do volume de água escoado superficialmente, já que a vegetação intercepta e obstrui a passagem da água acima do solo. A Figura 7 apresenta as transformações decorrentes no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização. Observa-se na figura situações desde o comportamento da água em um ambiente natural, até uma impermeabilização de 50% do solo. Enfatiza-se que, os atuais centros urbanos brasileiros apresentam porcentagens consideravelmente maiores de impermeabilização do solo, portanto os índices de escoamento superficial são maiores do que os índices de infiltração e evapotranspiração.

Figura 7 – Diferenças de escoamento, infiltração e evapotranspiração em áreas naturais e impermeabilizadas.



Fonte: EPA, 2005.

Ao se considerar o aumento do escoamento superficial, verifica-se também um aumento nas velocidades dos escoamentos e a redução do tempo de resposta da bacia. Uma bacia urbanizada pode apresentar um tempo de resposta de 5 a 20 vezes menor do que uma bacia natural (SANTOS, 2007).

A redução do tempo de resposta apresentada torna a bacia hidrográfica mais sensível às precipitações mais curtas, as quais geralmente são mais intensas. A expansão dos espaços urbanos, com a implantação de zonas industriais e de novos loteamentos tende a agravar a situação.

Pode-se concluir, portanto que quanto mais as águas das chuvas nas cidades são retardadas para chegar ao curso d'água, menor é o risco de ocorrência de inundações.

Quando o escoamento não é retardado naturalmente pelas características do terreno, é necessária a intervenção humana para o controle das inundações e alagamentos. Segundo Tucci (2005), essa intervenção é obtida por:

[...] uma combinação de medidas estruturais e não estruturais que permita à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. As ações incluem medidas de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo. A pesquisa para a combinação ótima dessas ações constitui o planejamento da proteção contra a inundação ou seus efeitos.

Deste modo, as cidades começaram a se preocupar com a implantação de tais medidas, visto que o sistema de drenagem convencional, com os elementos já mencionados, não suportava mais os volumes de escoamento gerados.

3.1 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES

3.1.1 Medidas Estruturais

As medidas estruturais são obras de engenharia e servem para modificar o sistema fluvial, minimizando os prejuízos causados pelas inundações. Tais medidas podem ser extensivas, quando agem sobre toda a bacia, ou intensivas, as quais agem especificamente em um rio (FREITAS, 1998).

As medidas extensivas tendem a modificar a relação entre a precipitação e vazão, como por exemplo, a alteração da cobertura vegetal do solo. Esta reduz e retarda os picos das inundações, além de conter a erosão da bacia. Também evita que sedimentos sejam levados ao leito ou do leito dos rios, o que modifica sua morfologia.

As medidas estruturais intensivas para o controle de enchentes atuam nos rios e podem envolver uma ou mais das seguintes ações (SIMONS et al., 1977 apud TUCCI, 2002):

- a) Acelerar o escoamento ao se aumentar a capacidade de descarga do corpo d'água;
- b) Criação de canais de desvio de escoamento ou extravasão de vazão;
- c) Controle da cobertura vegetal da bacia, para proteção do solo com as raízes, redução do escoamento superficial e manutenção da umidade e fertilidade do solo;
- d) Controle da erosão (diminuir assoreamento) com ações de reflorestamento, construção de pequenos reservatórios, estabilização das margens e práticas agrícolas corretas (plantio em curvas de nível, por exemplo);
- e) Construção de diques e polders para o confinamento do fluxo das águas, aumento da velocidade das águas e redução do tempo de concentração à jusante, porém, podem agravar a situação em outros locais;
- f) Modificações no leito do rio, como aumento da seção do rio, utilização de materiais com menores rugosidades, aumento das declividades com corte de meandros, aprofundamento do rio, dragagem e desobstrução;
- g) Retardar o escoamento das águas com a construção de bacias ou reservatórios. Os reservatórios podem reter ou deter o volume das enchentes, e reduzir a vazão natural, mantendo o rio com vazão inferior a que provocará extravasamento do leito. O volume retido, ou detido, é escoado após a redução à vazão normal, podendo parte deste ser utilizado, como por exemplo, para lavar calçadas, desde que obedçam a critérios de enquadramento de qualidade da água.

Ao se dimensionar tais bacias, pode-se escolher se as mesmas irão manter uma lâmina de água permanente, ou seja, se será uma bacia de retenção, ou uma bacia de detenção, a qual após a chuva irá secar e poderá ser utilizada para outras finalidades durante o tempo em que estiver sem água. O seu uso pode estar associado junto a parques e outros espaços públicos a fim de permitir um ambiente recreacional (TAVANTI, 2009).

Curitiba possui em alguns parques, lagos que atuam como bacias de retenção, como o intuito do amortecimento das cheias a jusante. Como exemplo pode-se citar o lago do Parque Barigui, um dos parques mais conhecidos da cidade,

que é situado na Bacia Hidrográfica do Rio Barigui (Figura 8) e o lago do Parque São Lourenço, este localizado na porção norte da Bacia Hidrográfica do Rio Belém (Figura 9).

Figura 8 - Bacia de Retenção no Parque Barigui



Fonte: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2010

Figura 9 - Bacia de Retenção no Parque São Lourenço



Fonte: IPPUC, 2002

Também se enquadram como medidas estruturais os reservatórios de águas pluviais subterrâneos. Alguns sistemas podem possuir tamanhos colossais, como os construídos em Tóquio, para combate das inundações e alagamentos. Após as chuvas, a água fica armazenada nessas estruturas e é lançada aos poucos nas

galerias e nos corpos d'água. As estruturas criadas em Tóquio podem ser observadas na Figura 10 e na Figura 11.

Figura 10 - Reservatório de águas pluviais junto a galeria subterrânea em Tóquio.



Fonte: Rezende, 2013.

Figura 11 - Reservatório de águas pluviais subterrâneo em Tóquio.



Fonte: Setti, 2012

3.1.2 Medidas Não Estruturais

As medidas estruturais não são projetadas para uma proteção completa. Essas medidas podem criar uma falsa sensação de segurança, pois admite a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, o que pode gerar resultados danosos para a população residente dessas áreas no futuro. As medidas não estruturais

podem complementar as medidas anteriores e podem minimizar as perdas com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não estruturais (TUCCI, 2005). Geralmente, medidas não estruturais têm como objetivo a prevenção. Freitas (1998) arrola algumas tipologias de medidas não estruturais:

- a) Estabelecimento de cotas de risco de inundação na bacia hidrográfica;
- b) Regulamentação do uso da terra, com a proibição da habitação ou a permissão somente de usos para recreação de baixo investimento, como parques e campos de esportes, para áreas de maior risco;
- c) Instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das edificações;
- d) Elevação de estruturas existentes;
- e) Construção de novas estruturas sobre pilares de sustentação de prédios;
- f) Construção de pequenas paredes ou diques circulando a estrutura;
- g) Proteção de artigos que podem ser danificados ou relocação para fora da área de inundação;
- h) Uso de material resistente a água;
- i) Regulamentação do desenvolvimento das áreas próximas por cercamento;
- j) Subdivisão de regulamentação e código de construção para as áreas de inundações e próximas a elas;
- k) Seguro de inundações;
- l) Instalação de sistemas de previsão e alerta de cheias com planos de evacuação;
- m) Adoção de incentivos fiscais para uso prudente de áreas suscetíveis a inundação;
- n) Instalação de sinais de alertas na área;
- o) Adoção de política de desenvolvimento sustentável;
- p) Planejamento junto à Defesa Civil para ações de previsão, alerta, apoio e evacuação;

Outra medida não citada por Freitas e que deve ser considerada é a questão da educação. Por vezes, o conhecimento da população sobre as causas de inundações e alagamentos é insuficiente e torna questões simples, como o despejo

de resíduos em vias, em problemas que vão prejudicar os próprios moradores e pessoas que transitam pela bacia hidrográfica.

Considerando todos esses aspectos, pode-se afirmar que a providência mais efetiva é o zoneamento das áreas inundáveis. Nesse caso evita-se o uso das áreas sujeitas ao aumento do nível dos cursos d'água (FREITAS, 1998; TUCCI, 2005).

3.2 MEDIDAS DE CONTROLE ALTERNATIVAS

Como já descrito, as práticas convencionais de drenagem tem como base o transporte das águas pluviais para longe o mais rápido possível. Porém sabe-se que quanto mais as águas das chuvas nas cidades são retardadas para chegar ao curso d'água, menor o risco de inundações.

Algumas práticas para que ocorra esse retardamento é a retenção no início do escoamento, como por exemplo, nos próprios lotes, ou pela infiltração ou armazenamento quando se trata de macrodrenagem. Essas medidas visam evitar a transferência dos impactos causados pelas cheias em áreas à jusante.

Para Freitas (1998), o conceito ambiental da drenagem, considera que todo espaço ao início de sua urbanização vai causar efeitos no ambiente e, portanto, devem conter um modo de compensação. Deste modo, a população pode perceber a existência e participar da manutenção do ciclo hidrológico no meio urbano. Com o objetivo de reconstituir as características pré-ocupação, as alternativas de infiltração, detenção e retenção tentam beneficiar os processos hidrológicos modificados no processo de urbanização, ou seja, reestabelecer a infiltração natural, a interceptação e o amortecimento do escoamento.

Essas práticas, chamadas de alternativas, compensatórias, ou até mesmo de sustentáveis agregam novas técnicas de controle da drenagem na fonte, utilizando, por exemplo, trincheiras, pavimentos permeáveis, bacias de retenção e detenção, valas, telhados verdes e áreas e poços de infiltração.

A maioria dessas novas práticas para drenagem é o objeto de estudo do método de desenvolvimento urbano de baixo impacto (Low Impact Development - LID). O método LID abrange a gestão e o controle do escoamento das águas pluviais na tentativa de reconstituir as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento do local, como explicado anteriormente, usando práticas de armazenamento, infiltração, evaporação e amortecimento do escoamento superficial.

O Departamento de Recursos Naturais do Condado de Prince George, no estado de Maryland, Estados Unidos, criou um manual em 1999 com o intuito de explicar o funcionamento e expor estratégias de implantação desse método. O documento explica que as estratégias e técnicas de baixo impacto discutidas pelo LID facilitam a gestão de águas pluviais. O LID considera, além da estética e dos custos de implantação, projetos moldados de acordo com topografia natural, sem modificar o rendimento do lote e o desempenho hidrológico do local (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Deste modo, conforme Prince George's County (1999), ações como a detenção ou retenção para armazenamento permanente, controle e captura de poluentes, recarga subterrânea, valorização estética da propriedade e uso múltiplo das áreas, são desafios que o LID se propõe a solucionar.

Ressalta-se que essas medidas de baixo impacto não dependem somente de técnicas estruturais, mas também de fatores externos, como por exemplo, condições socioeconômicas, condições de solo, condições climáticas e da educação da população.

A abordagem realizada pelo Departamento Recursos Naturais do Condado de Prince George (1999) considera pontos importantes a serem considerados no processo de planejamento de uma área com potencial para receber o LID:

- a) Usar a hidrologia como componente de integração do projeto: projetos que utilizam o LID reconstróem uma situação natural do local como uma tentativa de recriar o processo original da drenagem de águas pluviais;
- b) Considerar a microgestão: objetiva trabalhar com microbacias, mudando a perspectiva de funcionamento da drenagem convencional.
- c) Controlar águas pluviais na fonte: busca, pelo controle e/ou tratamento do fluxo superficial da água, reduzir ou extinguir riscos associados à condução de poluentes para jusante.
- d) Usar métodos simples e não estruturais: alterações do solo, paisagismo, ou revegetação como forma de interceptar a água e filtrar poluentes, por exemplo.
- e) Criar uma paisagem multifuncional: a técnica empregada não precisa ter uma só função. Ela pode incorporar a detenção, a retenção, filtração ou somente o uso para escoamento.

Conclui-se que as estratégias de implantação das medidas de baixo impacto estimulam os processos físico-químicos e biológicos naturais. O LID, portanto, pode minimizar impactos ambientais e despesas com sistemas de tratamento. Os benefícios proporcionados por esta concepção da drenagem urbana, controlando não apenas o volume de cheias, mas também a qualidade da água escoada refletem ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos.

O uso de tais soluções alternativas para a drenagem das águas pluviais já possui algumas experiências. Esses experimentos em algumas regiões permitem a produção e divulgação de manuais que norteiam a concepção de projetos, implantação e manutenção de várias estruturas. A Figura 12 e a Figura 13 mostram exemplos de medidas de baixo impacto tomado nas cidades americanas de Seattle e Portland, respectivamente. Na primeira delas, observa-se um sistema agregado de bioretenção e trincheira de infiltração junto a um sistema de drenagem convencional, o qual possui uma grelha para impedir que resíduos entrem no sistema de galerias. Já o segundo exemplo exhibe um sistema de bioretenção para as águas pluviais que advém das vias, auxiliando na filtragem de poluentes difusos.

Figura 12 - Medida de baixo impacto para contenção de alagamentos em Seattle.



Fonte: City of Seattle, 2007

Figura 13 - Sistema de drenagem de águas pluviais alternativo em Portland.



Fonte: Claro, 2007

No Brasil, Tavanti (2009) aplicou o método LID para uma área do Campus da Universidade Federal de São Carlos. A pesquisa apontou que o planejamento urbano com o emprego de medidas de baixo impacto é possível, com vantagens urbanísticas, ambientais e hidrológicas sob os sistemas convencionais, como aumento das áreas permeáveis, das áreas de cobertura vegetal, redução da vazão de pico e do volume de escoamento superficial.

Outra experiência foi realizada por Souza (2005). O autor desenvolveu um estudo que identificou e avaliou mecanismos técnico-institucionais que possibilitavam a implantação de um sistema de drenagem urbana sustentável (LID) em um condomínio, na cidade de Porto Alegre. Por meio de avaliações financeiras, o LID apresentou vantagens tanto para instalação, com reduções de custos na ordem de 23% e 30,5% em comparação com a ausência do controle no condomínio e o emprego de reservatório de detenção, respectivamente, como para manutenção, onde se obteve uma redução de 65% dos custos.

A seguir serão descritos alguns exemplos de medidas de baixo impacto estudados pelo Departamento de Recursos Naturais do Condado de Prince George.

3.2.1 Exemplos de técnicas LID

a) Bioretenção

A bioretenção é uma técnica que utiliza um solo apto para a plantação e com vegetais utilizados para fitorremediação. A gestão e tratamento do escoamento das águas acontecem dentro de uma depressão rasa. Tal sistema é baseado principalmente no tipo de solo, condições locais e uso do solo. Com uma aparência de jardim convencional, as células de bioretenção são capazes de remover metais pesados presentes nas águas derivadas do escoamento superficial (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999). Tal técnica pode ser utilizada, por exemplo, ao longo de vias, como forma de tratamento da poluição difusa causada por metais presentes em peças automotivas, como por exemplo, pastilhas de freio, conforme pesquisas de Garcias e Sottoriva (2010) e Garcias e Cidreira (2012). Um exemplo pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Bioretenção



Fonte: Strand Associates, 2011

b) Poço seco

Os poços secos, ou poços de infiltração, são estruturas de contenção na fonte do escoamento, mais recomendadas em locais que não dispõem de espaço. Trata-se de um fosso em forma cilíndrica ou retangular com preenchimento de pedras para manter a forma da escavação, conforme Figura 15. Também existe a possibilidade de ser arquitetado com a utilização de anéis de concreto perfurado ou pré-moldados. Durante a precipitação uma porção da água fica retida no poço, enquanto parte infiltra pelas suas paredes. Essa água infiltrada pode recarregar o lençol freático, além de reduzir os volumes a serem drenados pelos sistemas convencionais (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 15 - Poço Seco



Fonte: This Old House, 2012

c) Faixa Filtrante

As faixas filtrantes são faixas com vegetação de pequeno porte, geralmente grama, como mostra a Figura 16. Elas também podem ser usadas como saída ou

como um dispositivo de pré-tratamento para outras práticas de controle de águas pluviais (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 16 - Faixa Filtrante



Fonte: 3 Rivers Wet Weather, 2012.

d) Vala de infiltração

As valas de infiltração são canais responsáveis por infiltrar vazões originárias do escoamento em superfícies impermeáveis do entorno, o que permite também a filtração de alguns poluentes. São estruturas abertas e rasas, com vegetação plantada em seu interior, o que colabora na infiltração e na interceptação das águas (Figura 17). Este método objetiva a amortização dos volumes escoados, por meio de infiltração e/ou retenção. Difere-se da bioretenção principalmente pela área ocupada e pela capacidade de volume armazenado. No interior da vala, a água proveniente do escoamento é armazenada e em seguida é esvaziada pela infiltração no solo ou por deságue no corpo receptor. Esse método, portanto, reduz as vazões escoadas a jusante, possui fácil relação com o paisagismo e diminui o custo da drenagem convencional por reduzir as dimensões das tubulações (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 17 - Vala de Infiltração



Fonte: City of Seattle, 2007

A técnica pode ser empregada ao longo de vias, espaços de lazer e jardins, fato que contribui para criação de áreas verdes. Segundo a bibliografia consultada (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999; CITY OF SEATTLE, 2007) a locação das valas precisa ser pensada, pois pode causar incomodo em áreas residenciais pelo fato de oferecer condições favoráveis à proliferação de mosquitos.

e) Barril de chuva

Os barris de chuvas operam como um sistema de detenção de determinado volume proveniente do escoamento dos telhados das edificações. Esse volume é dirigido aos barris por meio de calhas. Este método é de baixo custo, eficaz e de fácil manutenção, além de poder ser aplicável em residências, comércios e indústrias. O volume armazenado pode ser reutilizado posteriormente para regar gramados e jardins, por exemplo. Uma imagem do sistema pode ser observado na Figura 18.

Devem ser utilizadas telas de filtragem nas calhas para impedir o entupimento por detritos, como por exemplo, folhas. Também deve possuir uma tampa para evitar a proliferação de mosquitos. Na lateral do barril, próximo ao fundo, deve conter uma

saída com dimensão que evite a passagem direta do fluxo de água que entra no barril. A este sistema pode ser acoplada uma conexão para uma mangueira que realize a irrigação de jardins por gotejamento. O tamanho do barril é estabelecido em função da área de superfície da cobertura, que drena para o tambor (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 18 - Barril de Chuva



Fonte: Local Philosophy, 2009.

f) Cisterna

Similar aos barris de chuva, as cisternas são dispositivos de gestão das águas que escoam pelos telhados, porém são armazenados em tanques subterrâneos, diferentemente dos barris, que ficam na superfície. Esta medida também possibilita a oportunidade para a redução de custos por conta da utilização da água. Também de maneira semelhante aos barris, as cisternas são aplicáveis em residências, comércios e indústrias, variando a capacidade de armazenamento devido ao tamanho dos telhados. Esse sistema pode ser visto na Figura 19. Cisternas individuais podem ser localizadas abaixo de cada calha, ou então, as calhas podem direcionar o volume para uma cisterna comum, porém com tamanho maior (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 19 - Cisterna



Fonte: Urban Design Tools, 2007

A cidade de Curitiba criou em 2003 a Lei 10.785 que estabelece o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA). Esta lei objetiva o uso de medidas que levem ao uso racional da água, o seu reuso e uso de fontes alternativas para captação de águas nas novas edificações. Neste caso, as cisternas são muito utilizadas pelas edificações que possuem o sistema de captação das águas pluviais para o uso doméstico (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2003).

g) Trincheira de infiltração

Uma trincheira de infiltração é um sistema escavado preenchido com pedra, o qual recebe o escoamento de águas pluviais, desviado de áreas impermeabilizadas, para que ocorra sua infiltração no solo, durante um período de vários dias. As trincheiras de infiltração são adaptáveis, isto é, podem possuir várias configurações práticas, o que as deixa aptas para pequenas áreas no meio urbano. Elas podem ser mais eficazes e possuir um ciclo de vida mais longo quando alguma forma de pré-tratamento é concebido juntamente no projeto (PRINCE GEORGE'S COUNTY,

1999). O pré-tratamento pode incluir técnicas como faixas filtrantes ou valas de infiltração, por exemplo, como demonstrado na Figura 20.

Figura 20 - Trincheira de Infiltração



Fonte: City of Bellingham, 2013.

h) Outras técnicas

Existem outras medidas consideradas de baixo impacto, como por exemplo, o uso de telhados verdes e de pisos permeáveis.

A técnica de telhados verdes (Figura 21) consiste no uso de vegetação rasteira, por exemplo, grama pré-cultivada nos telhados de edificações. A utilização de telhados verdes contribui na manutenção de áreas verdes e no tratamento e captura de água para futuro reuso. Também melhoram a qualidade do ar, amenizam temperaturas e aumentam a umidade pela evaporação natural. Demandam de manutenção periódica para garantir uma boa performance. Condiciona-se o uso dessa técnica à estrutura da edificação que deve suportar a carga que a medida representa e a utilização de manta impermeável revestindo a laje (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 21 - Telhados Verdes



Fonte: Spitzcovsky, 2013.

Os prédios públicos do Estado do Paraná, por exemplo, são obrigados a utilizarem telhados ambientalmente corretos, desde 2012, pela Lei Estadual 17.084. Esses telhados devem possuir grama ou jardins plantados para contribuir para o microclima local, além de realizar a interceptação das águas pluviais (PARANÁ, 2012)

Os pavimentos permeáveis reduzem o percentual de áreas impermeáveis em uma bacia. Esta técnica pode ser utilizada principalmente em regiões onde não haja grande fluxo, como estacionamentos, vias e passeios. O emprego de pavimentos permeáveis pode reduzir o volume do escoamento superficial. O principal tipo de pavimento permeável são os blocos vazados, porém existem variações de concreto e asfalto utilizados para facilitar a infiltração. Como outras medidas de baixo impacto, essa também necessita de manutenção preventiva, para evitar colmatação de materiais, o que pode causar a impermeabilização do sistema (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999). Um exemplo de uso pode ser visto na Figura 22. A Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) utiliza blocos vazados em algumas regiões do seu estacionamento.

Figura 22 - Pavimento permeável no estacionamento da PUCPR



Fonte: o autor, 2013

3.2.2 Restrições locais para implantação do LID

O desenvolvimento de baixo impacto estimula o planejamento local com base em soluções inovadoras para a gestão de impactos. Para isso, deve-se considerar que cada local tem características únicas e oportunidades para o controle de inundações e alagamentos. Assim, devem-se avaliar as oportunidades e restrições referentes às condições físicas dos locais para a implantação de medidas de baixo impacto. A tecnologia LID põe como restrições o espaço livre, a permeabilidade do solo, declividades das áreas livres, profundidade do lençol freático ou leito rochoso, distância de edificações, profundidade do solo (para construção) e manutenção.

Esse último pode se tornar fator determinante para a instalação das medidas, visto que são técnicas que demandam de conservação do sistema para que o mesmo apresente uma constância em relação a sua proposta. O Quadro 1 mostra um resumo dos requisitos físicos necessários para implantação do desenvolvimento de baixo impacto.

Por convenção do desenvolvimento de baixo impacto, os telhados verdes e os pisos permeáveis não necessitam de condicionantes para instalação, tratando-se apenas de um preparo da estrutura do local escolhido para implantação, como por exemplo, a impermeabilização das lajes para a locação dos telhados verdes.

Quadro 1 - Requisitos locais para implantação de medidas de baixo impacto

	Bioretenção	Poço seco	Faixa Filtrante/Proteção	Valas (Gramadas, Infiltração, molhadas)	Barris de chuva	Cisterna	Trincheira de Infiltração
Espaço requerido	Área superficial mínima: 4,7 m ²	Área superficial mínima: 0,8 m ²	Comprimento mínimo: 4,6 a 6,1 m	Largura da base: Mínimo: 0,6 m	Não influencia.	Não influencia	Área superficial mínima: 0,8 m ²
Solos	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 6,6 mm/h; Limitação de solos pode ser superada com uso de drenos subterrâneos	Recomenda-se solos permeáveis com taxas de infiltração > 6,6 mm/h	Solos permeáveis trabalham melhor; mas o solo não é uma limitação.	Solos permeáveis fornecem melhor desempenho hidrológico, mas o solo não é uma limitação. A seleção do tipo de vala (gramados, infiltração, molhadas) é influenciada pelo tipo de solo.	Não influencia.	Não influencia	Recomenda-se solos permeáveis com taxas de infiltração > 13,2 mm/h.
Declividades	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto.	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada a jusante de edificações e fundações.	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto.	Declividade lateral do valo: 3:1 ou mais aplainada. Declividade longitudinal: mínima: 1%; Máxima baseada em velocidades permissíveis	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto para localização de saída de barris.	Não influencia	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada a jusante de edificações e fundações.
Lençol freático	Recomenda-se no mínimo 0,6 m livres acima do lençol freático.	Recomenda-se no mínimo 0,6 m livres acima do lençol freático.	Geralmente não é uma restrição.	Geralmente não é uma restrição.	Geralmente não é uma restrição.	-	Recomenda-se no mínimo 0,6 m livres acima do lençol.
Proximidade a fundações de edificações	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Não influencia.	-	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.
Profundidade máxima	Profundidade de 0,6 a 1,2 m dependendo do tipo de solo.	Profundidade de 1,8 a 3,0 m dependendo do tipo de solo.	Não aplicável.	Não aplicável.	Não aplicável.	-	Profundidade de 1,8 a 3,0 m dependendo do tipo de solo.
Manutenção	Baixa necessidade; proprietário pode incluir na manutenção paisagística local.	Baixa necessidade;	Baixa necessidade; manutenção paisagística rotineira.	Baixa necessidade; manutenção paisagística rotineira.	Baixa necessidade;	-	Moderada a alta

Fonte: Adaptado de PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999.

4 METODOLOGIA

A estrutura metodológica da pesquisa organiza-se em três fases distintas: exploratória, descritiva e analítica. Para Gil (2010), a fase exploratória proporciona uma 'visão geral' do cenário da pesquisa, uma etapa de investigação para compilar informações e conhecimentos acerca de determinado assunto. Neste trabalho esta etapa é caracterizada pelo referencial teórico que aborda e aprofunda os tópicos necessários para a realização das fases seguintes. Como recursos, foram utilizados livros, artigos científicos, documentos de órgãos oficiais, relatórios técnicos, informações de bases de dados, entre outros.

A fase descritiva segundo Gil (2010) caracteriza-se por descrever características e estabelecimento de relações entre variáveis. É, neste trabalho, constituída pela coleta de dados referentes à área de estudo objetivando o levantamento de informações que auxiliem na caracterização da mesma. Os recursos utilizados foram o levantamento bibliográfico, pesquisa em bases de dados e apresentação gráfica, por meio de mapas, dos dados coletados.

Por fim, a fase analítica caracteriza-se por identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos (GIL, 2010) e neste trabalho constitui-se da reunião dos conhecimentos obtidos nas fases anteriores aplicando o levantamento bibliográfico à área de estudo descrita sob forma de estudo de caso.

Dentre as metodologias de pesquisa, o estudo de caso distingue-se das demais por se tratar do aprofundamento dos aspectos característicos de um determinado objeto de pesquisa (SANTOS, A., 2006). Para esta pesquisa o objeto é área da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Paraná, para a qual serão estudadas medidas de baixo impacto para o controle de inundações e alagamentos. Para esta fase foi utilizada como base o quadro com as condicionantes do LID e software de SIG para elaboração de mapas para apresentar as restrições do LID na Bacia Hidrográfica do Rio Belém e para a representação dos resultados.

4.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E A BACIA HIDROGRÁFICA

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como:

[...] uma região ou sistema físico em que a entrada é a chuva precipitada, que ocorre em qualquer ponto da mesma, e que forma o volume de entrada da bacia e drena por gravidade para uma determinada seção transversal, chamada de exutório. Sua definição é feita através do estudo do relevo da região, por meio de delimitação gráfica ou de geoprocessamento através dos modelos numéricos de terreno (Góis e Mendes, 2013)

Uma bacia hidrográfica pode ser trabalhada como a composição de infinitos pontos onde as características como urbanização e precipitação estão ligadas. Sabe-se também que as funções que modelam o fenômeno da transformação da precipitação em escoamento, ou seja, modelam a vazão, são dependentes da escala (espaço e tempo) em que este fenômeno é observado. Portanto, escrever relações que descrevem processos físicos, em escalas de interesse prático (horas ao invés de dias), não é uma tarefa corriqueira.

Para entender o que ocorre em uma bacia hidrográfica é necessário trabalhar de forma a representá-la como um elemento espacial. Então, o objeto de estudo deve ser representado por uma função $f(x,y,z)$, onde (x,y,z) representam as coordenadas espaciais dos infinitos pontos que representam a bacia e $f(x,y,z)$ representa um dado específico (topografia, precipitação, vazão, uso do solo, entre outros).

Desta forma, o tratamento da bacia como um elemento espacial que possui características socioambientais distintas necessita de dados de campo e *softwares* capazes de representar e processar tais informações em meio espacial. O conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico é denominado como geoprocessamento. O geoprocessamento possibilita o processamento de maior volume de dados, o cruzamento de dados provenientes de diversas fontes, maior velocidade de processamento dos dados e o uso de algoritmos mais complexos no tratamento dos dados.

Para a realização de análises de geoprocessamento, necessita-se de ferramentas computacionais que permitam realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Esses são os Sistemas de Informações Geográficas, conhecidos como SIG's (CÂMARA et. al, 2004).

Atualmente, os SIG's são aplicados em diversas áreas do conhecimento humano. Neste trabalho, o SIG foi utilizado para permitir o reconhecimento espacial e gestão futura da área de estudo. Os SIG's constituem uma ferramenta que prepara, armazena, atualiza, analisa e apresenta dados em conjunção com outros,

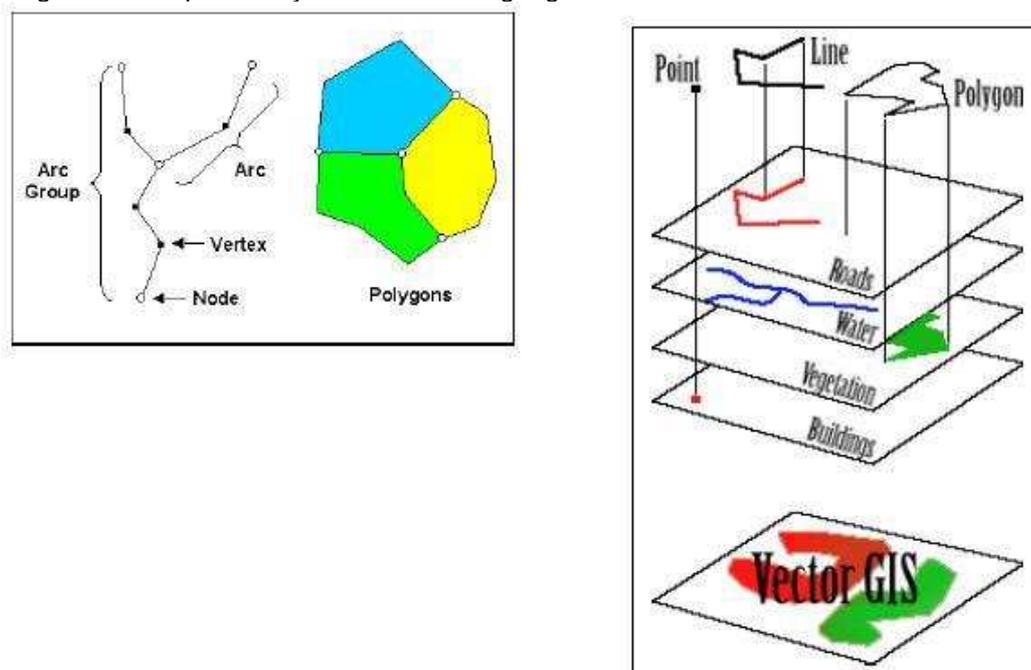
sempre dotados de uma referência espacial (ESRI, 2012). O sucesso da implementação em computador de um sistema de informação é dependente da qualidade e quantidade da transposição de objetos do mundo real e suas interações para uma base de dados informatizada. Deve-se lembrar de que as entidades a serem representadas têm formas, dados associados e localização.

O SIG pode ser entendido como um sistema de informações aplicado a dados georreferenciados. Georreferenciar é atribuir a um determinado elemento, suas coordenadas espaciais. Um sistema de informações é um conjunto de processos, que alimentado de dados, produz informação útil.

Os modelos de dados mais usados na representação gráfica digital de dados espaciais são os modelos Raster e Vetorial, que são modelos de estruturas de dados fundamentais nos SIG.

O modelo vetorial é composto por dados representados por pontos (representações discretas de dados e localizados por um par de coordenadas $[x,y,z]$), linhas (representações lineares, como rios, estradas, entre outros, localizadas por uma série de coordenadas $[x,y,z]$) e polígonos (áreas limitadas e fechadas por uma série de coordenadas $[x,y,z]$), como pode ser observada na Figura 23:

Figura 23 - Representação dos modelos geográficos no modelo vetorial

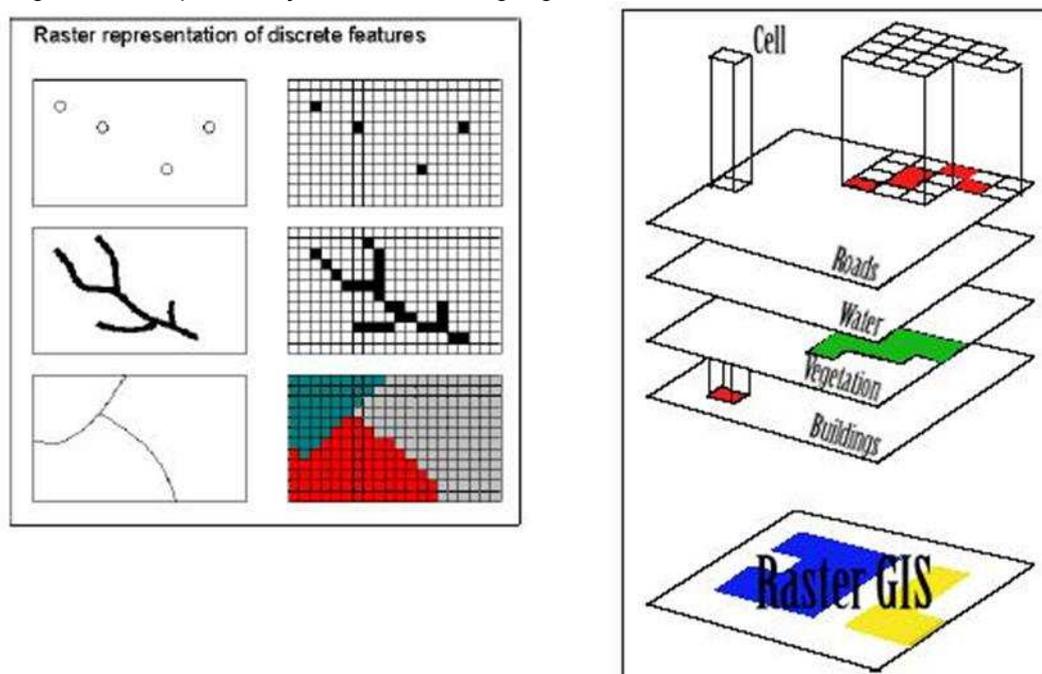


Fonte: Dias, 2003.

O modelo vetorial representa cada superfície como uma série de isolinhas, por exemplo, a pluviometria será representada como uma série de isoietas.

O modelo raster, ou matricial, representa o espaço geográfico dividindo-o em uma série de unidades de diversas formas. As formas mais comuns são as quadradas, designadas por célula ou pixel. O conjunto dessas células quadradas representa uma matriz regular chamada de grid, como se pode observar na Figura 24:

Figura 24 - Representação dos modelos geográficos no modelo raster

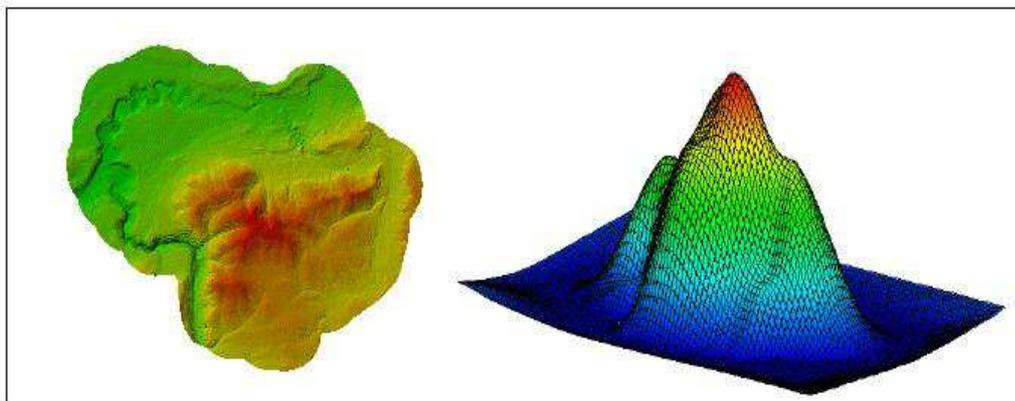


Fonte: Dias, 2003.

Qualquer tipo de dado pode ser representado no modelo matricial, principalmente dados contínuos, como por exemplo, altitude, relevo, características do solo, entre outros, como pode ser visto na Figura 25.

Deste modo, a cada célula é atribuído um valor que corresponde uma característica específica de cada dado contínuo. Por exemplo, em um mapa de altitude em formato raster, cada pixel contém um valor que representa a altitude naquela determinada coordenada geográfica. Ou em um mapa de solos, o pixel pode conter um valor que representa o fator de erodibilidade do solo naquele ponto.

Figura 25 - Representação através do grid dos elementos geográficos no modelo raster



Fonte: Dias, 2003.

Como exemplo pode-se citar dois tamanhos de célula, uma com 10 metros de resolução e outra com 20 metros. A definição da célula menor é melhor do que a célula maior, ou seja, para detalhar uma área representada por uma célula de 20 metros, seriam necessárias quatro células de 10 metros.

A partir da definição do tamanho das células, em algumas situações faz-se necessária a reclassificação das mesmas, sendo essa uma maneira facilitar a visualização e compreensão dos dados dispostos.

Um dos últimos passos e também um dos mais comuns é o cruzamento de dados. Nesse momento pode-se, por exemplo, inserir uma equação como modelo e pedir para que o SIG resolva a equação com a utilização dos dados presentes nas bases digitais. Assim, podem ser criados os mais diversos cenários de acordo os dados disponíveis e com os objetivos do trabalho.

Para esse estudo, o sistema de informação geográfica utilizado foi o software ArcGIS, versão 10.2 para mapear dados existentes da bacia hidrográfica escolhida e realizar as interações necessárias para ilustrar os requisitos para instalação do LID e da aptidão da bacia em estudo para recebê-las.

Com relação à apresentação dos resultados, existem normatizações com relação à cartografia, utilizados principalmente em projetos executivos. Para esse estudo, optou-se por uma representação mais simples dos dados, conforme as figuras que seguem nesta dissertação.

4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM

Um rio caracteriza-se pela sua disposição física, na qual ele materializa o talvegue do fundo de vale, com lâmina d'água perene ou não. Assim, o rio, como a figura do talvegue, escoar toda a água precipitada sobre a bacia hidrográfica que o delimita. Ou seja, o rio é materializado pelo lugar geométrico dos pontos de menor cota de uma bacia hidrográfica. Deste modo, não é o tipo de uso do solo na bacia que o define. Porém, é costume denominar como Rio Urbano o rio que nasce e tem sua foz dentro do perímetro urbano de um município. Denomina-se também Rio Urbano o trecho de um rio que cruza um perímetro urbano.

Assim como outras bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas, a Bacia Hidrográfica do Rio Belém é um ecossistema em desequilíbrio, onde o homem assumiu a condição de agente direto de degradação em sua constante busca de suprir necessidades imediatas. O talvegue do rio Belém atravessa regiões densamente povoadas, incluindo-se bairros periféricos da zona norte e sul e o perímetro central da cidade. Na Figura 26 tem-se uma vista do Rio Belém.

Figura 26 - Rio Belém

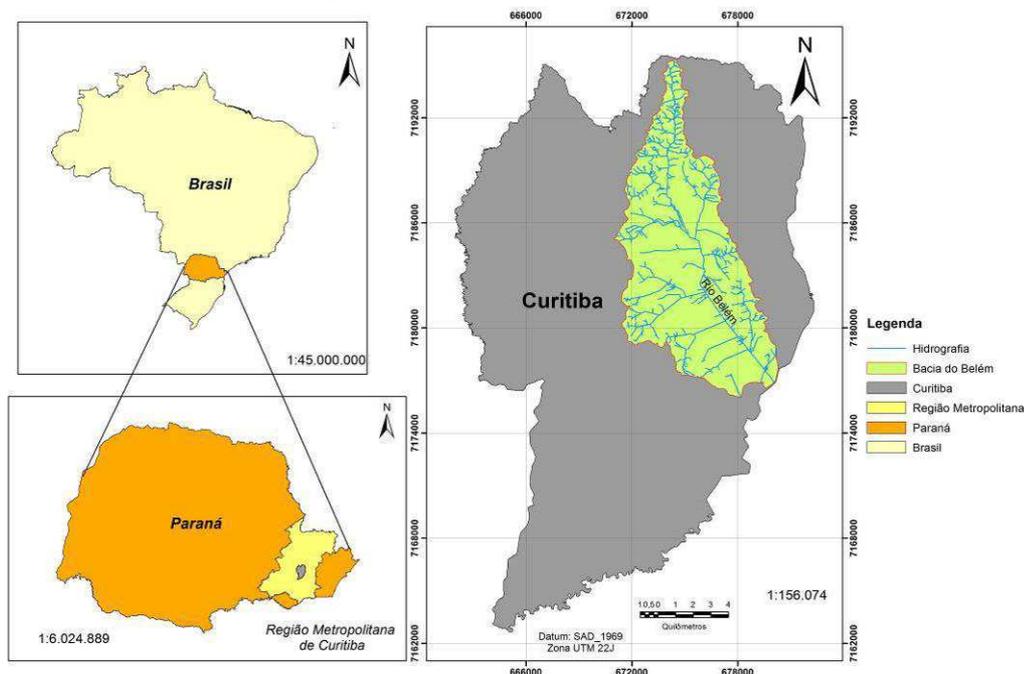


Fonte: o autor, 2013.

O rio Belém, inteiramente curitibano, nasce ao Norte de Curitiba, passa pela área central, toma sentido sudeste e tem sua foz na região sul da cidade, onde

descarrega suas águas no Rio Iguaçu, após percorrer 21 km. A Figura 27 apresenta a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Belém.

Figura 27 - Macrolocalização da Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Fendrich (2002) informa que a extensão do canal principal, somada aos 94 trechos de rios que compõem a bacia, totalizam 105,91 km de recursos hídricos superficiais. Estes estão distribuídos em 16 sub-bacias hidrográficas e uma área de contribuição direta do rio Belém, conforme Figura 28.

A população que habita os 48 bairros que se inserem na bacia corresponde a aproximadamente a 60% da população do município. Pelo fato de atravessar o perímetro da área central da capital paranaense, a bacia sofre com a pressão da urbanização, motivo pelo qual se nota uma degradação da qualidade das suas águas. A sua área ocupa em torno de 21% da área da cidade, correspondendo a cerca de 87 km². Além disso, importantes símbolos que representam a identidade da capital paranaense sob as diversas visões antrópicas estão presentes na bacia (KNOPKI, 2008). É possível agrupar essas visões antrópicas em contextos diversos, por exemplo: no âmbito político, incluem-se na bacia as sedes dos poderes municipal e estadual; num contexto turístico, parques como o São Lourenço, o Bosque do Papa, o Passeio Público, a Ópera de Arame e o Jardim Botânico; historicamente, o Largo da Ordem, o Teatro Guaíra, o Museu Oscar Niemeyer e a

Rua XV de Novembro, primeiro calçadão do país; econômica e socialmente, importantes bairros, destacando-se o Centro, o Centro Cívico e o Batel.

Figura 28 - Divisão das sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Belém



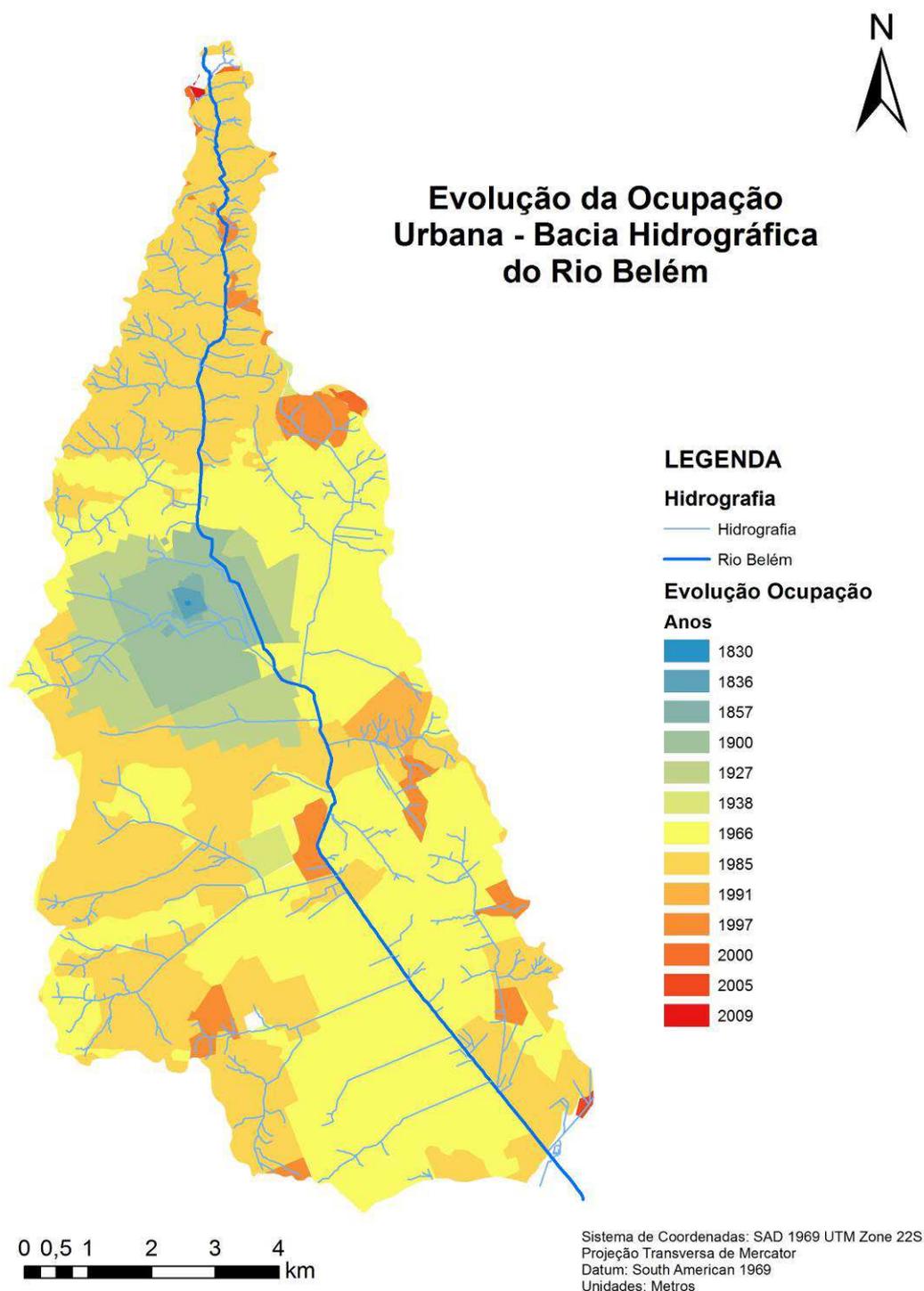
Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

A região em estudo apresenta chuvas bem distribuídas e sobre todo o planalto onde está localizada, a precipitação pluviométrica média anual está na faixa 1.400 mm. O clima é subtropical úmido, temperatura média de 16,5°C, sendo a média para o mês mais frio de 12,6°C e no mais quente igual a 20,1°C. A umidade relativa do ar apresenta variações médias anuais entre 82% e 84% (SUDERHSA, 1998).

A Bacia do Rio Belém, bem como em toda a Região Sul do Brasil que apresenta o domínio subtropical úmido, tem as suas condições meteorológicas e de dinâmica atmosférica influenciadas pelas massas de ar tropicais e polares (Massa Tropical Atlântica – MTA, Massa Tropical Continental – MTC e Massa Polar Atlântica – MPA). Nos verões, em especial, há a ocorrência das massas equatoriais (Massa Equatorial Continental – MEC), mas que também são responsáveis pela atuação de sistemas frontais durante todo o ano. A interação dessas massas de ar com grande umidade, sobre influência também das formações de relevo da Serra do Mar, é responsável pela ocorrência de chuvas orográficas que abastecem as nascentes dos rios na área de abrangência deste estudo.

Quanto ao uso e ocupação do solo, a porção norte da bacia apresenta um uso, em sua maior parte, residencial, unifamiliar com baixas e médias densidades e ocupações que datam do final da década de 80 e início da década de 90. A densidade populacional se torna alta na região central, onde além de residências unifamiliares, apresenta condomínios verticais residenciais, comerciais e de serviços e ocupações mais antigas. Na região sul da bacia, a densidade volta a ser considerada média, com a presença de residências unifamiliares, porém apresentando altos índices de crescimento demográfico. Sua ocupação data do final da década de 60. A evolução da ocupação na bacia hidrográfica pode ser observada na Figura 29.

Figura 29 - Evolução da Ocupação Urbana na Bacia Hidrográfica do Rio Belém

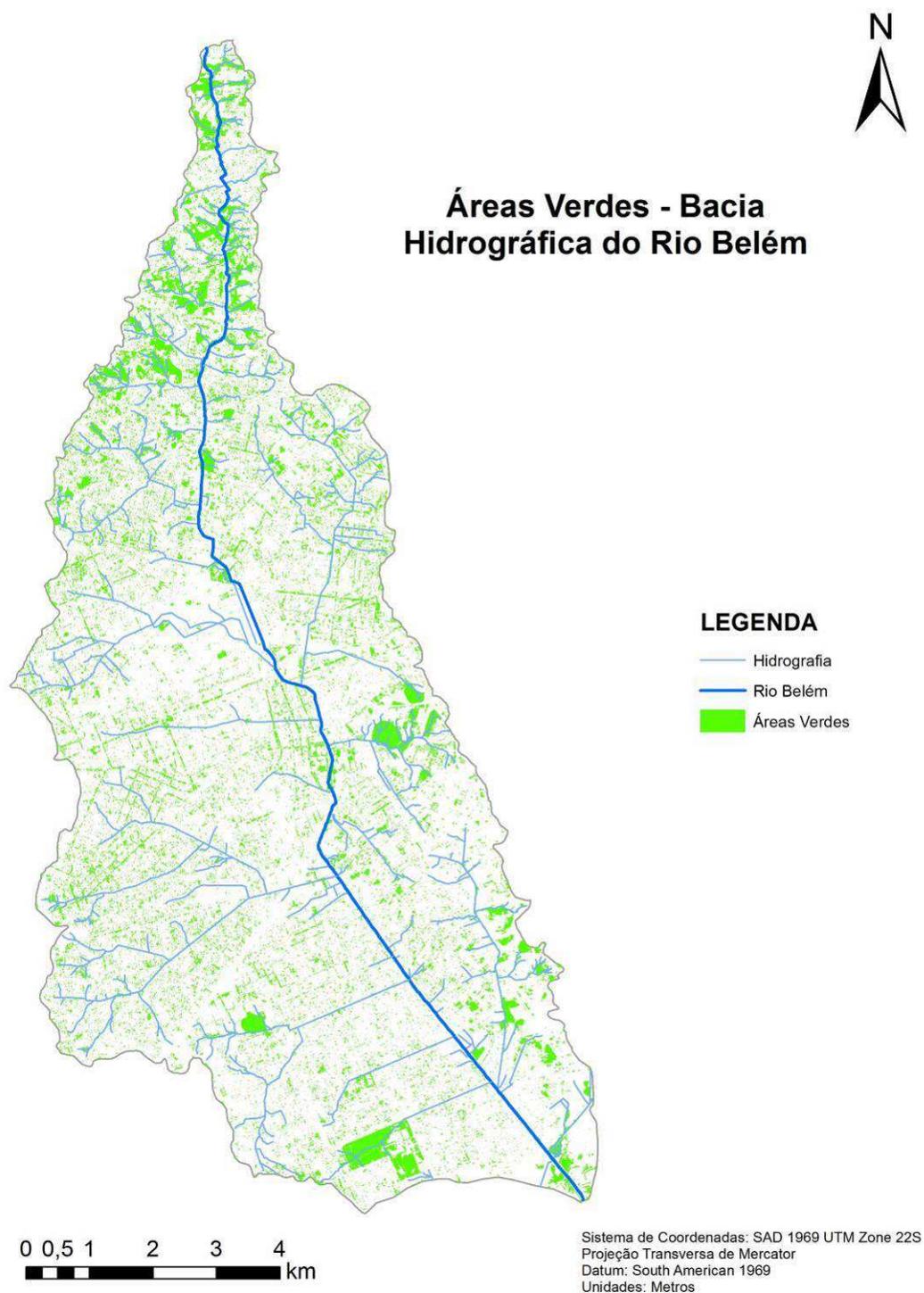


Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Pelo fato da bacia hidrográfica apresentar uma constante evolução urbana, apresenta poucas áreas verdes (como se pode ver na Figura 30) apesar de alguns parques importantes da cidade estar presentes na bacia. Nas regiões sem cobertura

vegetal, principalmente na região central da bacia, a taxa de impermeabilização reflete em um elevado coeficiente de escoamento superficial.

Figura 30 - Áreas Verdes na Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Outra questão levantada é a falta das áreas de preservação permanente ao nas margens do Rio Belém e seus tributários. São poucos os trechos desses cursos d'água que possuem uma faixa vegetada. Pode-se observar um exemplo pela Figura 31. A imagem mostra um trecho do Córrego Henry Ford, um dos afluentes do Rio Belém, e a erosão em sua margem, causada pela força da água. Esse trecho fica a jusante de um trecho canalizado e retificado. A água, ao passar por este trecho, amplia sua velocidade e chega com muita força às regiões onde a margem fica desprotegida, magnificando a retirada de solo dos taludes do rio.

Figura 31 - Erosão das margens devido à falta de vegetação



Fonte: o autor, 2013.

Sobre o relevo, considera-se que é bastante heterogêneo em sua extensão com grandes declividades na região das nascentes, apresentando cotas de aproximadamente 900 metros, um terreno mais suavemente ondulado, com colinas arredondadas em seu curso médio e com áreas planas próximas a sua foz, com cotas próximas aos 870 metros (FENDRICH, 2002).

Outra propriedade que normalmente é utilizada para a caracterização de bacias hidrográficas, como já visto, é a forma da bacia, já que as mesmas não são padronizadas e nem seguem tendências. A forma da bacia compõe o seu comportamento hidrológico. Duas relações, já explicadas, que caracterizam a configuração de uma bacia hidrográfica são o fator de forma e o coeficiente de compacidade.

O fator de forma da bacia hidrográfica do Rio Belém tem valor 0,211 e o coeficiente de compacidade, 1,44. Isto significa que a bacia possui uma forma mais alongada, o que dificulta as enchentes. Porém, devido ao fato da bacia ter em quase sua totalidade áreas impermeabilizadas, o fluxo de água chega muito rapidamente ao exutório da bacia, causando eventos de inundação.

A tabela a seguir apresenta um resumo das características da Bacia, determinadas por Medeiros em 1991:

Tabela 2 - Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Belém

Característica	Valor
Área Total da Bacia	87.85 km ²
Extensão do Canal Principal	21,00 km
Perímetro da Bacia	49.30 km
Ordem da Bacia	4ª ordem
Extensão dos Rios da Bacia	105,91 km
Densidade de Drenagem	1,28 km/km ²
Altitude Máxima (Nascente)	990,00 m
Altitude Média	908.93 m
Altitude Mediana	900,00 m
Altitude Mínima (Foz)	870,00
Coeficiente de Compacidade	1,44
Fator de Forma	0,211
Declividade Média da Bacia	0,554 m/m
Declividade entre Nascente e Foz	0,00571 m/m

Fonte: Medeiros, 1991 *apud* Fendrich, 2002.

Apresentando-se como um arranjo de unidades em formas complexas e por vezes descontínuas, a composição litológica da Bacia caracteriza-se por rochas metamórficas e sedimentares consolidadas e inconsolidadas. A evolução geológica remonta a mais de dois bilhões de anos, registrando sucessivos episódios de metamorfismo, intrusões magmáticas, deformações, erosão e deposição de sedimentos (FREITAS, 1998).

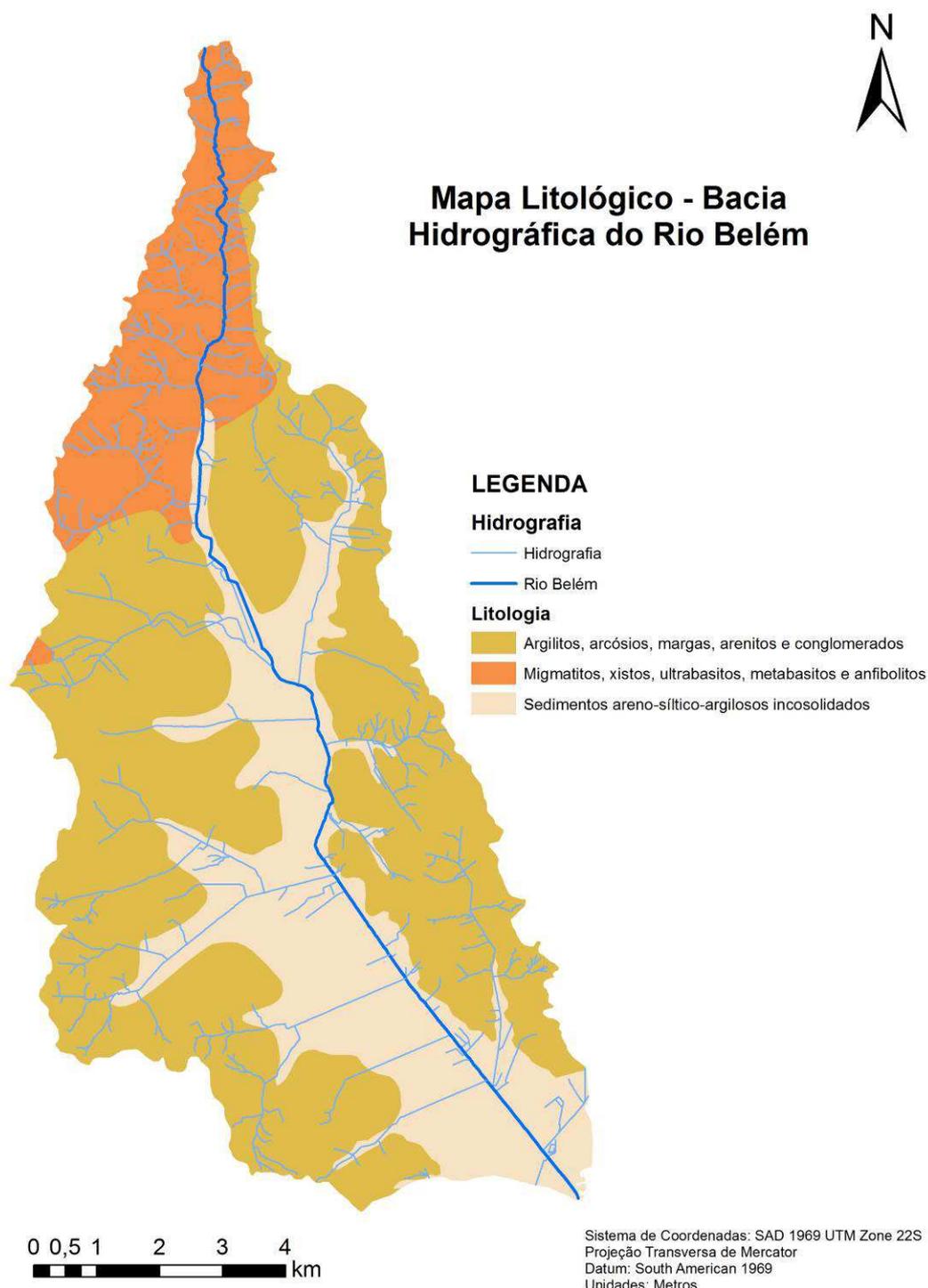
Na porção norte da bacia hidrográfica observa-se a existência de rochas metamórficas, principalmente representadas por migmatitos, xistos, ultrabasitas, metabasitas e anfibolitos, recobertos por uma cobertura do solo espessa e de textura argilosa. Tal arranjo caracteriza a formação do Complexo Gnáissico Migmatítico.

Nas regiões centrais e próximas ao limite da bacia predominam sedimentos consolidados pertencentes à Formação Guabirota. Essa formação apresenta rochas sedimentares que são deposições de sedimentos mais antigos. Sua espessura raramente ultrapassa os 60m, porém em algumas regiões variam de 70 a 80m de profundidade.

Ainda na região central, porém em locais próximos aos fundos de vale até a região sul da bacia, na área de inundação do rio Iguaçu, encontram-se aluviões, que representam sedimentos de deposição fluvial, com a predominância de termos arenosos e leitos de cascalho inconsolidados, de pequena espessura. Tal formação sugere uma idade mais recente. Os aluviões estão sujeitos a interferências antrópicas e são vulneráveis à contaminação, principalmente em função da proximidade com a superfície.

Na Figura 32 pode-se observar essa configuração.

Figura 32 - Litologia da Bacia Hidrográfica do Rio Belém



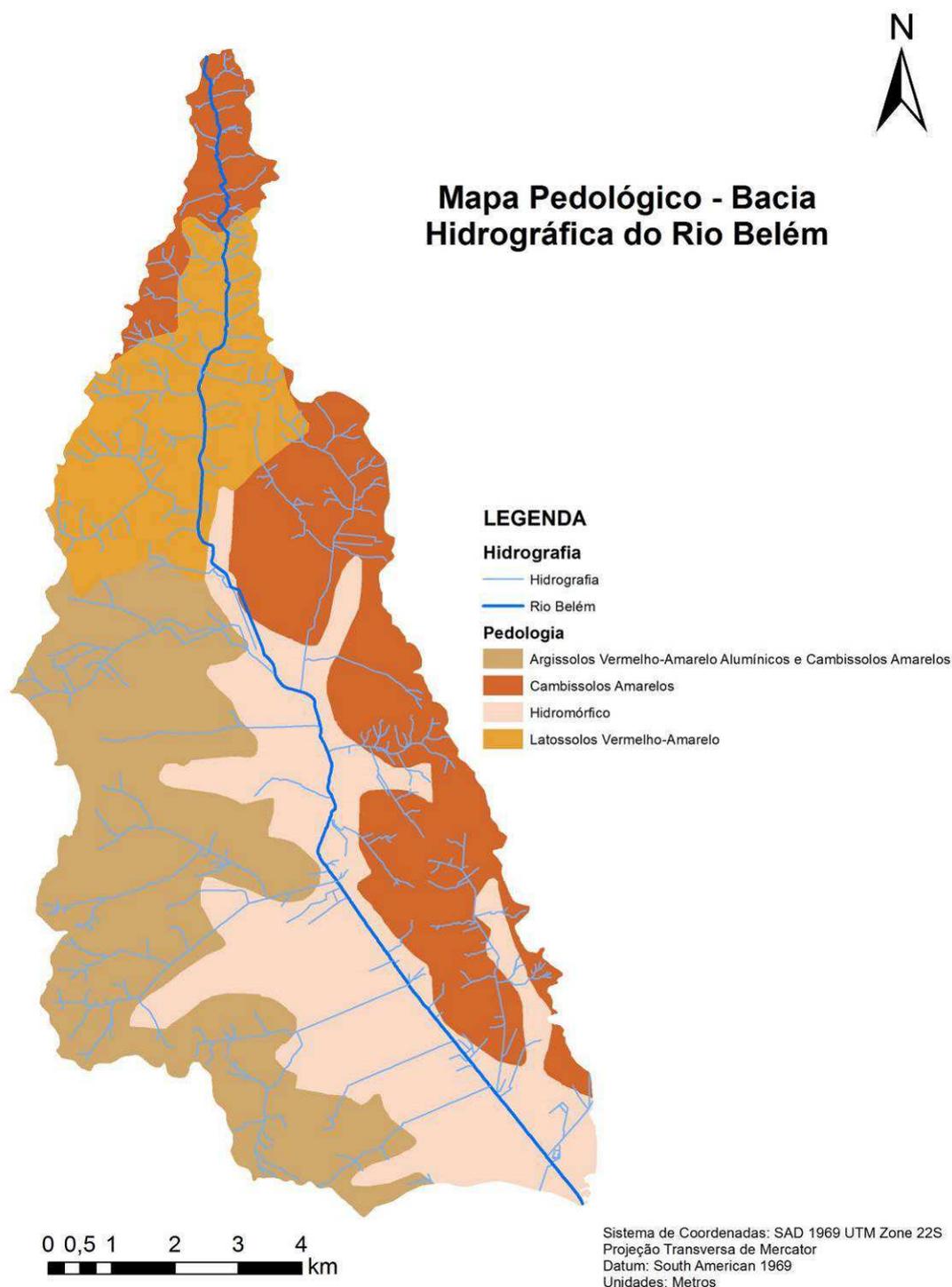
Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

A composição pedológica da Bacia caracteriza-se principalmente pela presença de Argissolos, Cambissolos, Latossolos e Solos Hidromórficos, conforme Figura 33. Os solos componentes da bacia hidrográfica em estudo foram descritos a

seguir, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS, H., 2006):

- a) Argissolos: Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais argila de atividade baixa. São de profundidade variável e com poder considerável de erosão. São encontrados nas áreas de relevo mais enérgico da bacia, são menos profundos que os Latossolos, mas o acúmulo de argila no horizonte B, produz uma diferença textural entre os horizontes A e B, que dificulta o fluxo de água no sentido vertical, já que o horizonte A é bem mais permeável que o horizonte B. As dificuldades advindas desta característica fazem com que este solo se sature com facilidade e seja mais suscetível ao escoamento superficial e subsuperficial.
- b) Cambissolos: Compreendem solos constituídos por material mineral e são encontrados em locais onde o relevo apresenta ondulações suaves. Constituem-se por uma textura argilosa, porém é um tipo de solo que drena a água com facilidade, visto que sua capacidade retenção de água varia de pequena a média.
- c) Latossolos: Compreende solos constituídos por material mineral em avançado estágio de intemperização, como resultado de transformações no material constitutivo. São profundos e apresentam textura argilosa, porém apresenta alta permeabilidade.
- d) Solo hidromórfico: São solos que em condições naturais se encontram submersos ou saturados de água, independente de sua drenagem atual (períodos de secas ou estiagens) e que, pelo processo de sua formação, geralmente apresenta dentro de 50 (cinquenta) centímetros a partir da superfície, cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas e/ou cores pretas resultantes do acúmulo de matéria orgânica;

Figura 33 - Pedologia na Bacia do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Segundo Schechi (2012), os solos da região possuem diferentes graus de permeabilidade. Em seu trabalho, classifica os solos conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Permeabilidade dos Solos

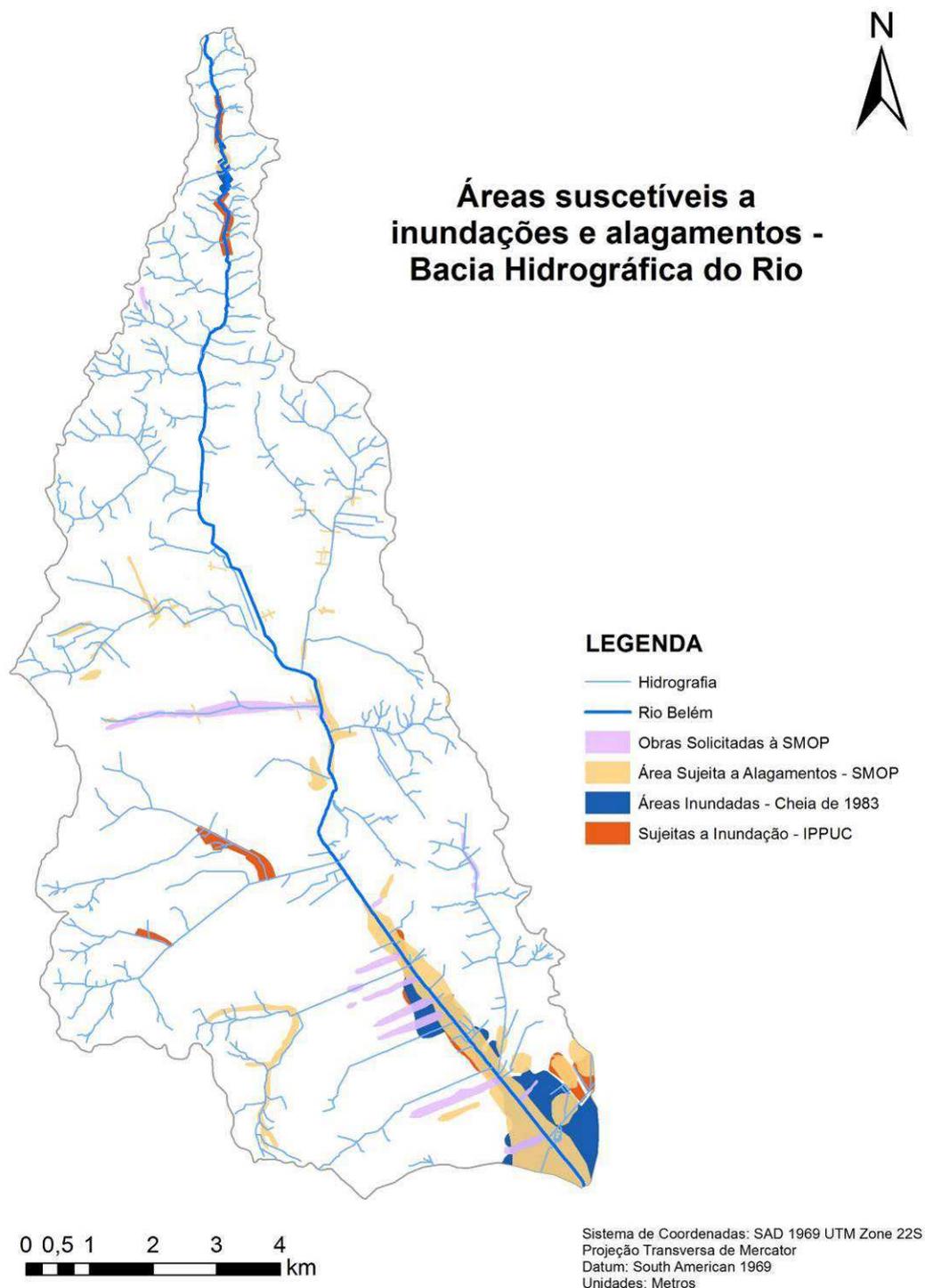
TIPO DE SOLO	POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO
Latossolo	Alto
Argissolo e Cambissolo	Médio
Solos Hidromórficos	Baixo

Fonte: Adaptado de Schechi, 2012.

As características apresentadas dão a visão de uma bacia alongada, com alta ocupação urbana e, conseqüentemente, alto grau de impermeabilização, poucas áreas verdes, indicando ausência de vegetação ripária, e declividades moderadas a partir da região central da bacia hidrográfica. Segundo Fendrich (2002), essas características fazem com que as regiões centrais e sul sejam as mais afetadas por enchentes assim que ocorram precipitações de maior volume. Ainda segundo Fendrich (2002) a urbanização e impermeabilização da cidade fizeram com que aumentassem os níveis de água no talvegue e os picos máximos das vazões do escoamento superficial. Porém, ao mesmo tempo em que a urbanização aumenta as vazões também reduz a capacidade de vazão do canal de drenagem pela construção de pontes e viadutos, assoreamento e acúmulo de resíduos às margens aumentando a suscetibilidade da região à alagamentos e inundações. A Figura 34 exhibe as áreas inundáveis da Bacia.

Na imagem podem ser observadas quatro regiões diferentes: a primeira diz respeito a obras solicitadas a Secretaria Municipal de Obras Públicas, pois são regiões onde ocorrem alagamentos com certa frequência; outra mancha pode ser verificada como áreas sujeitas a alagamentos, pois são regiões em que a drenagem não é suficiente em eventos de chuvas intensas; também é verificada uma mancha referente a grande cheia que atingiu a Bacia do Rio Iguaçu em 1983, portanto, também são áreas vulneráveis a inundações; por fim, observa-se regiões sujeitas a inundação por possível extravasamento dos cursos d'água nas regiões.

Figura 34 - Inundações e Alagamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Belém

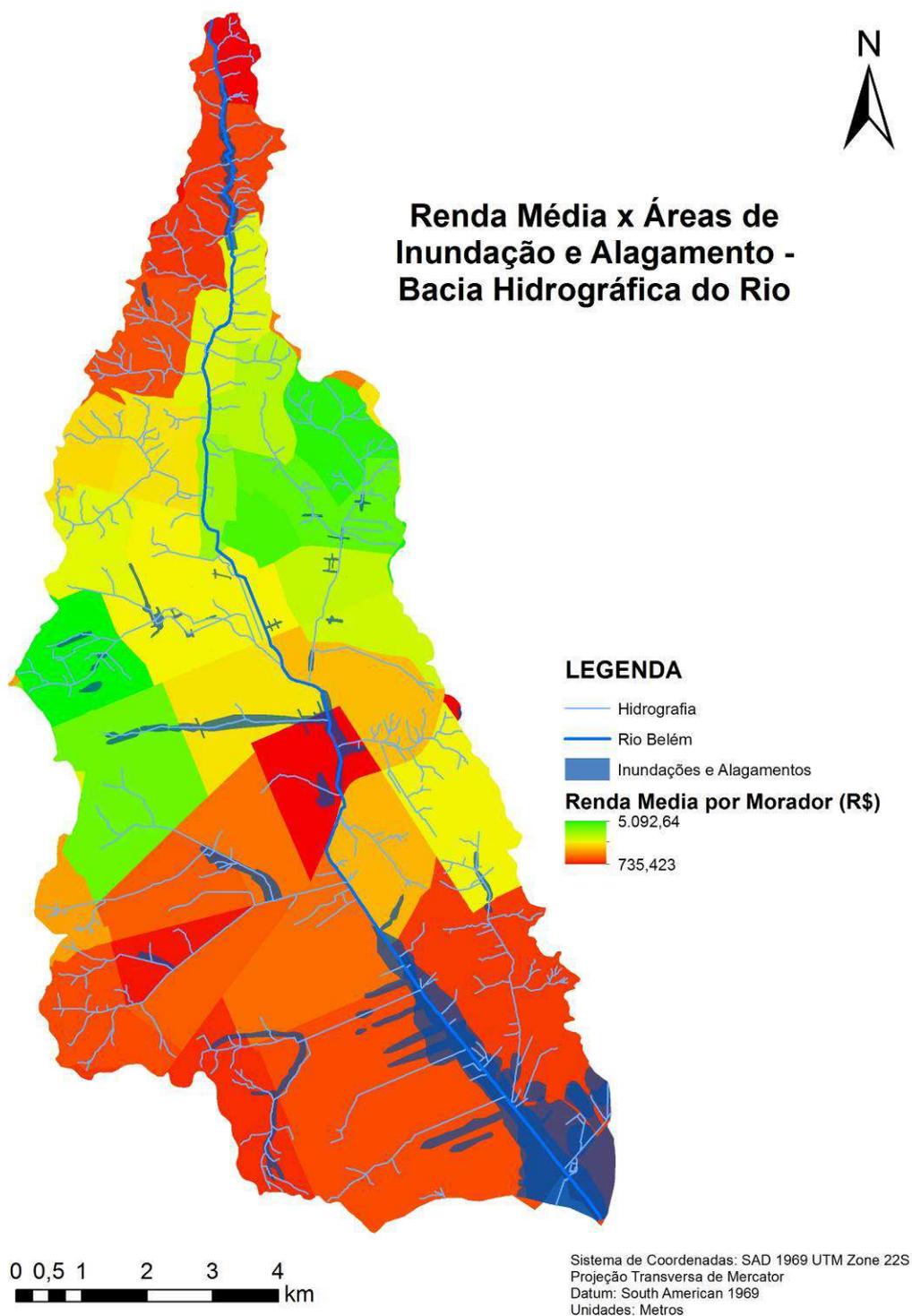


Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Percebe-se também, ao analisar a renda média da população que habita a Bacia Hidrográfica do Rio Belém, que as áreas com menores médias de renda possuem também as maiores áreas suscetíveis a inundações e alagamentos. Percebe-se que essas áreas são evitadas pela população de classe mais alta e

sobram como opção para as classes menos favorecidas. A Figura 35 representa essa situação.

Figura 35 - Relação entre áreas suscetíveis a inundações e alagamentos e a renda média da população



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Com as chuvas intensas, verificam-se constantes inundações e alagamentos na bacia hidrográfica do rio Belém. Isso se deve ao fato da micro e macrodrenagem não suportarem o volume de água decorrente do escoamento superficial ocasionado pela impermeabilização crescente do solo urbano. Uma cheia no Rio Belém, ocorrida em outubro/2013, ocasionada por um evento de chuva intensa pode ser observada na Figura 36.

Figura 36 - Cheia no Rio Belém



Fonte: o autor, 2013.

Soma-se a isso, também, a má utilização do Parque São Lourenço e do Passeio Público como zonas de controle de cheias. Esse e outros sistemas de controle de cheias não são utilizados na bacia do Rio Belém e seria um possível meio de reduzir os prejuízos humanos e materiais ocasionados por esses eventos. Outro fator determinante é o processo de canalização, o qual descaracteriza as zonas naturais de inundação, o que sobrecarrega o sistema existente. Muitas vezes o início dos trechos subterrâneos se tornam pontos críticos, visto o estrangulamento que ocorre na passagem. Um exemplo de mudança de área do canal pode ser observado conforme a Figura 37:

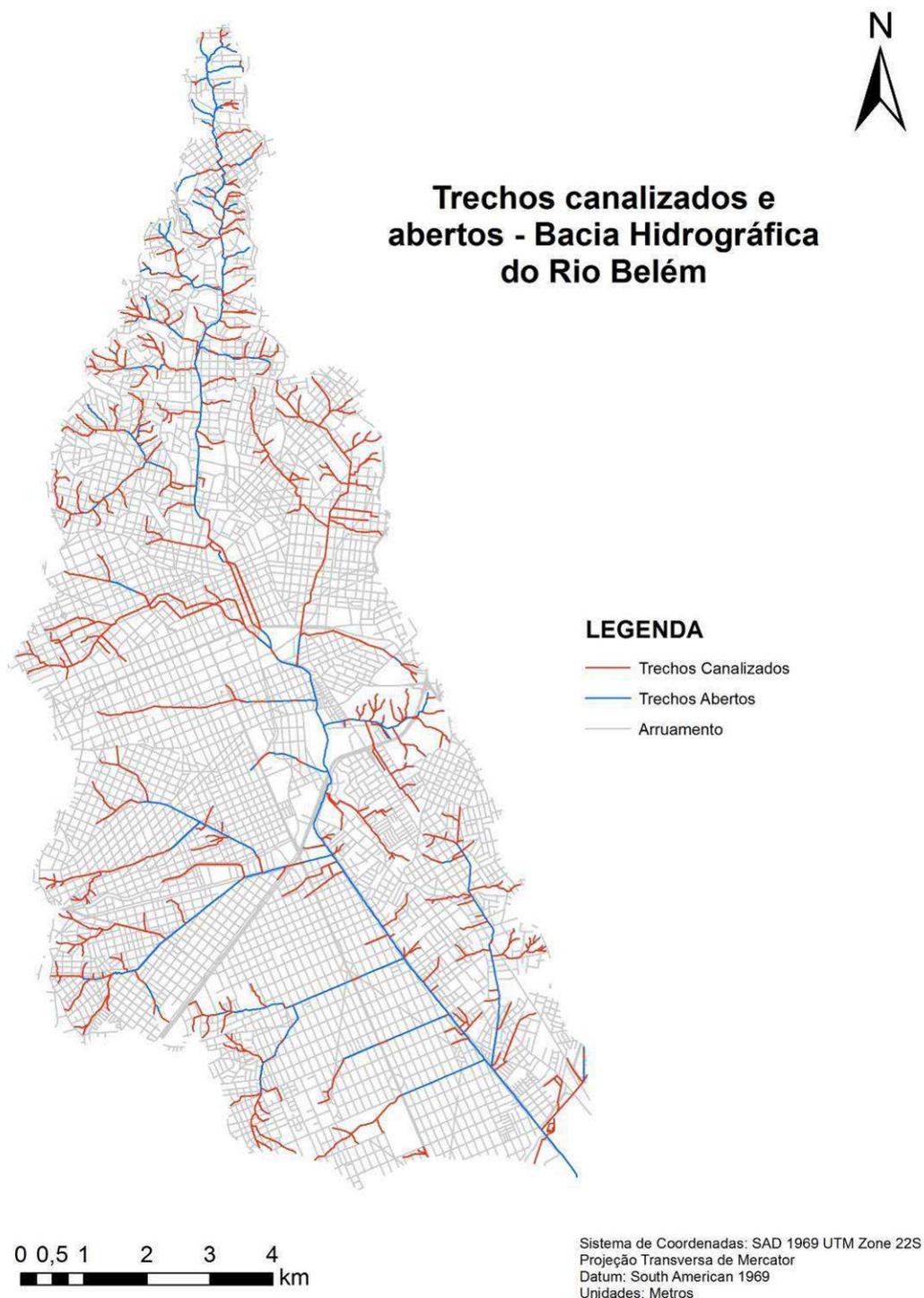
Figura 37 - Início de trecho subterrâneo



Fonte: o autor, 2013.

Considera-se também o fato de que dos 105,91 km de rios componentes da bacia, somente 29 km não estão canalizados conforme a Figura 38:

Figura 38- Relação entre trechos abertos e canalizados na Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

4.3 MÉTODO DE PESQUISA – MAPEAMENTO DE CONDICIONANTES LOCAIS

Para realização do presente estudo, as condicionantes para os locais de implantação do LID foram mapeadas para obter a viabilidade local da Bacia

Hidrográfica do Rio Belém em receber as medidas de baixo impacto para o controle de inundações e alagamentos. Partiu-se do pressuposto que cada tipo de medida, seja ela estrutural ou não, possui condicionantes, isto é, fatores técnicos, políticos ou econômicos que precisam ser levados em conta em seu projeto executivo. A aplicação de determinada medida raramente se dará nas condições ideais, ou seja, com todos os fatores técnicos favoráveis reunidos na mesma área. Fatores não favoráveis podem dificultar ou até mesmo inviabilizar sua execução e devem ser considerados em escala local.

A partir disso, tomou-se como base o quadro com as restrições para que o LID possa ser aplicado, conforme a síntese no Quadro 3 e no Quadro 4. Dentre as medidas apresentadas, o barril de chuva e a cisterna não dependem de fatores locais para implantação, mas sim de projeto no local da obra, portanto não serão considerados neste estudo. Das condicionantes, as que puderam ser mapeadas, tanto pela existência ou possibilidade de acesso aos dados, foram espaço requerido, solos, declividades e profundidade do lençol freático. As demais condicionantes devem ser consideradas no projeto de implantação, porém não foram consideradas nesta pesquisa. Nos quadros a seguir, os itens em destaque foram os utilizados nessa pesquisa.

Quadro 3 - Medidas do LID

MEDIDAS DE BAIXO IMPACTO
Bioretenção
Poço seco
Faixa Filtrante/Proteção
Valas (Gramadas, Infiltração, molhadas)
Barris de chuva
Cisterna
Trincheira de Infiltração

Fonte: (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Quadro 4 - Condicionantes do LID

CONDICIONANTES
Espaço requerido
Solos
Declividades
Profundidade do lençol freático
Proximidade a fundações de edificações
Profundidade máxima
Manutenção

Fonte: (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Assim, se propõe um mapeamento que relacione as características presentes em determinada área, no caso, a Bacia Hidrográfica do Rio Belém, com as características ideais ou favoráveis à implantação.

Cada requisito para implantação do LID foi avaliado e posteriormente foram reunidos dados (bases cartográficas) que pudessem ser utilizados em uma plataforma de SIG, no caso o ArcGIS 10.2, para que cada requisito pudesse ser

mapeado. Os mapas foram gerados com dados disponibilizados pelos Departamentos de Geoprocessamento do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) e do Instituto das Águas do Paraná, com escala aproximada de 1/10000, exceto os dados litológicos e pedológicos, em escala 1/50000. Desta forma obtiveram-se dados vetoriais para os requisitos: espaço requerido, solos, declividades e lençol freático.

Para a implantação de medidas de baixo impacto, os fatores técnicos não podem ser analisados separadamente e deste modo, optou-se pela análise conjunta das condicionantes.

Como já explicado, cada dado cartográfico pode estar em formato vetorial ou raster. Para uma análise mais apurada, ponto a ponto da bacia, os dados em base vetorial foram transformados em formato matricial. Para que os arquivos não ficassem com tamanhos grandes, nem com resoluções muito baixas, optou-se pela padronização de todos os grids formados, com tamanho de pixel de dois metros.

A partir dos dados matriciais, pode-se optar por várias tipologias de sobreposição de mapas, para que os dados em cada pixel sejam cruzados com os respectivos pixels de outras bases cartográficas, ou seja, com aqueles pixels que estão na mesma coordenada.

Assim, uma sobreposição simples, com a multiplicação entre dados foi escolhida. Trabalho semelhante foi realizado por Bertolino (2008), no qual através de multiplicação de dados referentes a solos, chuvas, declividade e uso do solo, foi realizada a simulação de potencial erosivo da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu.

Para que essa multiplicação fosse realizada, foram valoradas as características que serão analisadas no geoprocessamento. A esta atribuição de valores de acordo com as características necessárias para a análise, dá-se o nome de reclassificação.

4.3.1 Mapeamento das Condicionantes

A seguir será exposto como os mapas foram gerados a partir da base de dados disponibilizada.

4.3.1.1 Espaço Requerido

Para a composição do mapa de espaço requerido utilizaram-se bases cartográficas referentes à localização de áreas livres dentro da bacia hidrográfica. Nessa primeira composição, foi utilizado o mapa com a localização de parques, bosques, praças e jardins, além de um mapa com as áreas verdes da região em estudo. Porém, esse mapa de áreas verdes foi editado para que áreas que representassem árvores e suas copas ao longo de calçadas, por exemplo, não fossem usadas, com o intuito de diminuir os erros de escolha de local.

Após a composição vetorial dessas áreas livres, através de união de bases, gerou-se o mapa matricial para que cada pixel assumisse uma identidade referente à sua área livre (disponível ou não). Posteriormente cada pixel foi reclassificado visto a possibilidade em receber as medidas de baixo impacto. Desse modo, para as áreas livres o valor de classificação foi 1 (um), pois todas os locais possuíam área superior ao maior valor mínimo requerido. Para os locais sem áreas livres, ou seja, sem aptidão para receber as medidas, foi atribuído valor zero.

Todas as áreas em verde possuem valor de célula igual a 1 (um). Áreas em branco, sem a possibilidade de receber medidas, possuem valor zero.

4.3.1.2 Permeabilidade dos Solos

O mapa pedológico da bacia hidrográfica foi disponibilizado pelo IPPUC, já com sua classificação. Como já visto nas características da bacia hidrográfica, separaram-se os solos em três classes de infiltração, que é a característica principal para a implantação de medidas de baixo impacto.

Assim, o mapa de solos em formato vetorial também foi transformado em um grid de células e cada célula foi reclassificada com valores de classificação de permeabilidade, variando entre baixo, médio e alto poder de infiltração.

Assim, deu-se a reclassificação conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – Reclassificação para os as características dos solos

TIPO DE SOLO	PODER DE INFILTRAÇÃO	VALOR ATRIBUÍDO
Solos Hidromórficos	Baixo	0
Argissolo e Cambissolo	Médio	1
Latossolo	Alto	2

Fonte: o autor, 2013.

O valor zero demonstra impossibilidade em receber as medidas consideradas. O valor 1 (um), representa possibilidade, porém com maior dificuldade. E valor 2 (dois) demonstra aptidão em receber a técnica pelo fator de permeabilidade do solo.

4.3.1.3 Declividades

Para a determinação da declividade da bacia, o mapa altimétrico da bacia hidrográfica, cotados de metro em metro, foi inserido no software ArcGis 10.2, onde foi criado um modelo de interpolação TIN (Triangular Irregular Network).

Uma rede irregular triangular (TIN) é uma estrutura de dados digital utilizada em um sistema de informação geográfica para representar uma superfície. Essa rede é composta irregularmente de nós e linhas distribuídos com coordenadas tridimensionais (X,Y e Z) que são organizados em uma rede de triângulos que não se sobrepõem.

A partir do TIN, gerou-se um arquivo matricial, ou raster (GRID), com o atributo de elevação, através do comando '*convert to Grid*'. Com base no GRID, foi criado o Modelo Digital do Terreno (MDT). Adotou-se como tamanho de célula 2 metros. A partir desse modelo digital do terreno criado, com a ferramenta '*Slope*', criou-se o mapa de declividade.

Como os requisitos de declividade do local não são considerados fatores limitantes pela metodologia LID, todo o mapa foi reclassificado com o valor 1 (um), ou seja, toda a região da bacia é apta, pela declividade, para o recebimento das medidas.

4.3.1.4 Lençol Freático

O mapa de profundidade de lençol freático foi gerado a partir de 410 pontos cotados com a profundidade do lençol freático da cidade de Curitiba. A partir desses pontos, foi realizada uma interpolação IDW (Inverso do Quadrado da Distância) entre os pontos, a qual gerou um mapa matricial da área de Curitiba com os valores de profundidade para cada pixel. A partir deste mapa gerado, recortou-se o mapa referente a bacia hidrográfica do Rio Belém.

As interpolações calculam um valor desconhecido a partir de um conjunto de pontos amostrais, dotados de valores conhecidos e que estão distribuídos em uma área. A distância entre as células com valor conhecido e as células da amostra

contribui para estimar o seu valor final. A interpolação utilizada consiste na auto correlação espacial literalmente. É assumido que quanto mais próximo o ponto amostral estiver da célula cujo valor será estimado, mais próximo o valor da célula se assemelhará ao valor do ponto amostral.

Posteriormente cada pixel foi reclassificado de acordo com a possibilidade de receber as medidas de baixo impacto. Desse modo, para a profundidade do lençol freático superior a 0,6m o valor de classificação foi 1 (um). Para os locais onde a profundidade do lençol freático é inferior a 0,6m, ou seja, sem aptidão para receber as medidas, foi atribuído valor zero.

4.3.1.5 Quadro resumo

Deste modo, elaborou-se o Quadro 5 com um resumo dos requisitos utilizados neste estudo e os valores reclassificados.

Quadro 5 – Valores dos requisitos reclassificados

REQUISITO	ÁREAS LIVRES	PERMEABILIDADE DO SOLO	DECLIVIDADE	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO
Valores Atribuídos	Não é área livre (0)	Baixa permeabilidade (0)	Declividade apta para o LID (1)	Abaixo de 0,6 metros (0)
	É área livre (1)	Média permeabilidade (1)		Acima de 0,6 metros (1)
		Alta permeabilidade (2)		

Fonte: o autor, 2013.

4.3.2 Aplicação do método

Após a obtenção dos dados e a confecção dos mapas em formato Grid de cada parâmetro necessário para a implantação das medidas, foi utilizada a ferramenta “Raster Calculator” para a confecção do mapa final. Assim os mapas foram multiplicados, criando-se um mapa final de aptidão para o recebimento da tecnologia LID.

O software ArcGIS 10.2 permite alguns tipos de sobreposição de mapas, como por exemplo a adição, ou a multiplicação utilizada nesse trabalho. A multiplicação foi escolhida pelo fato que alguns requisitos técnicos da aplicação das medidas de baixo impacto são restritivos. Na região em que o requisito não atende a condicionante local, este não é apto para receber o LID. Ou seja, dados com valor

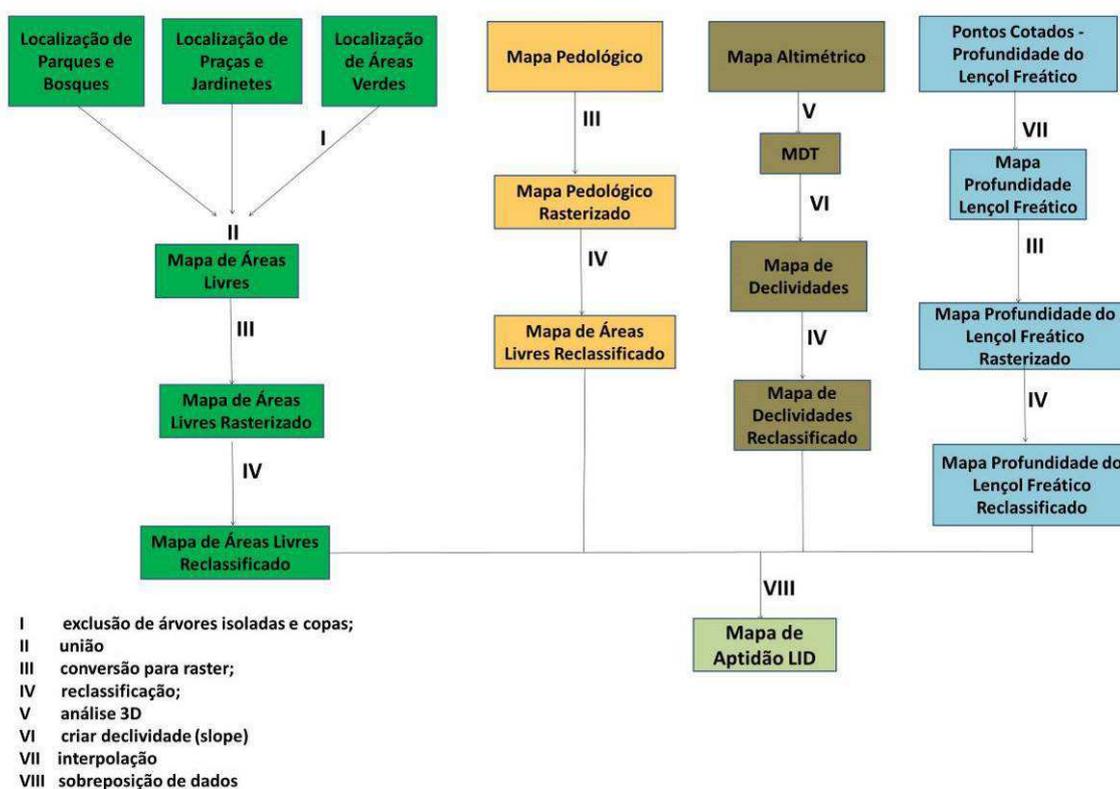
zero (não atendem ao LID) na multiplicação anulam o resultado, satisfazendo a condição de não aptidão do local.

Deste modo, as células de cada mapa foram multiplicadas entre si:

‘Áreas livres x Permeabilidade do solo x Declividades x Profundidade do Lençol Freático’

A Figura 39 apresenta um fluxograma com o resumo das etapas desenvolvidas na metodologia.

Figura 39 - Fluxograma de aplicação da metodologia desenvolvida



Fonte: o autor, 2013.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MAPAS DE RESTRIÇÃO

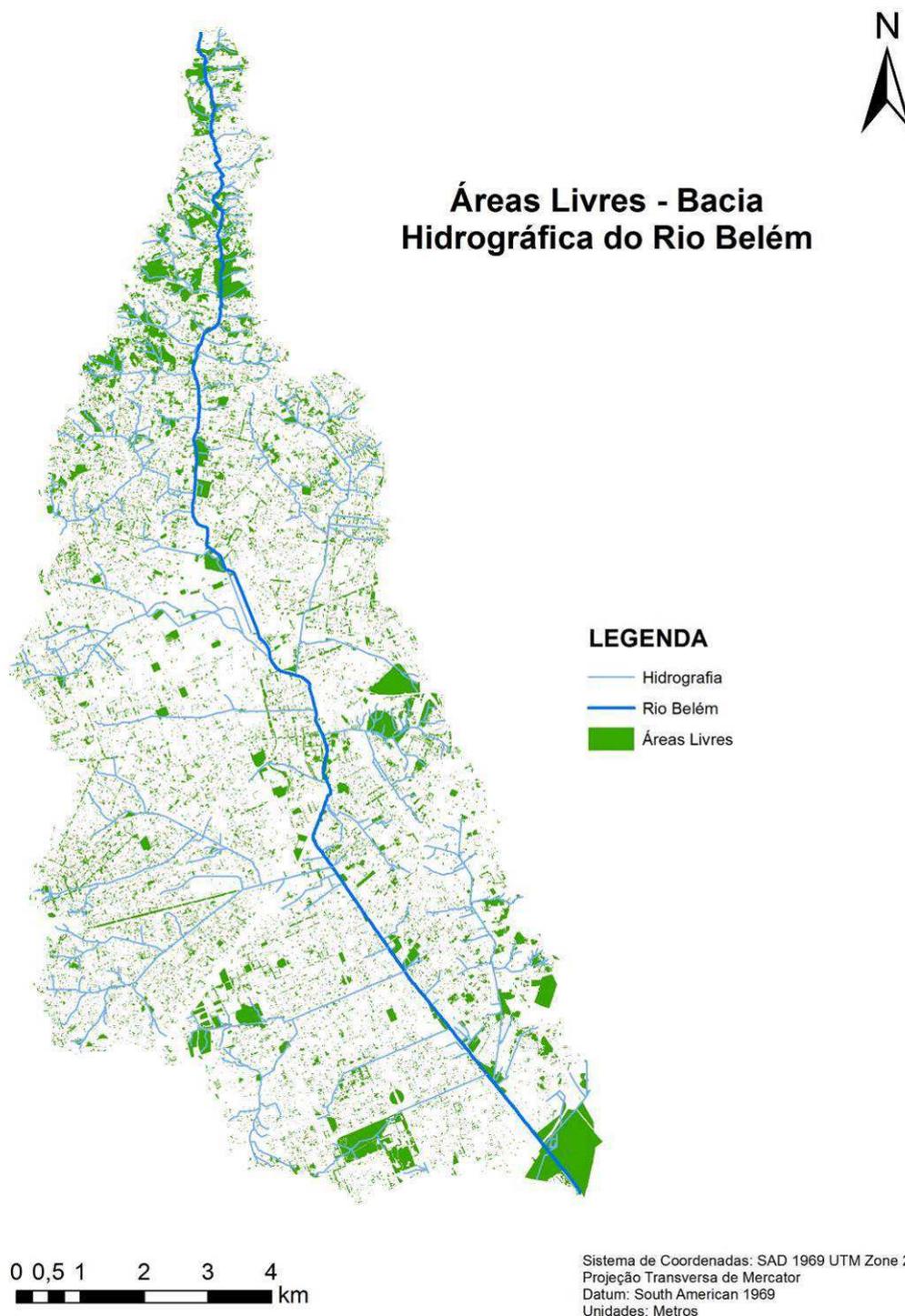
Tomando o método de criação dos mapas descrito no capítulo anterior, foram criados os mapas referentes a cada condicionante descrita.

5.1.1 Áreas Livres

Primeiramente foram unidos os dados referentes a áreas verdes, bosques, praças, parques e jardins. A união desses dados gerou o mapa de áreas livres da bacia hidrográfica, conforme Figura 40.

Ao se realizar uma análise mais detalhada do mapa gerado, pode-se concluir que a bacia hidrográfica do Rio Belém possui aproximadamente 85% da sua área com ocupações. A ocupação urbana implica em áreas impermeabilizadas que magnificam o escoamento superficial das águas. Isso acarreta em grandes vazões a serem drenadas pelo sistema de galerias, as quais muitas vezes, não suportam esse volume, culminando em inundações e alagamentos.

Figura 40 - Áreas Livres da Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

A impermeabilização pode ser considerada uma vulnerabilidade local da bacia, pois é um dos fatores determinantes para a ocorrência de eventos críticos. Na região central da bacia, onde se veem poucas áreas livres, é comum se observar, em períodos de chuvas intensas, a formação de áreas alagadas, como pode ser

visto na Figura 41. Isso se deve ao fato do sistema de drenagem ser antigo. Décadas atrás o sistema ainda suportava os volumes escoados, pois as áreas eram menos impermeabilizadas, favorecendo a infiltração, mas para os volumes atuais o sistema encontra-se subdimensionado.

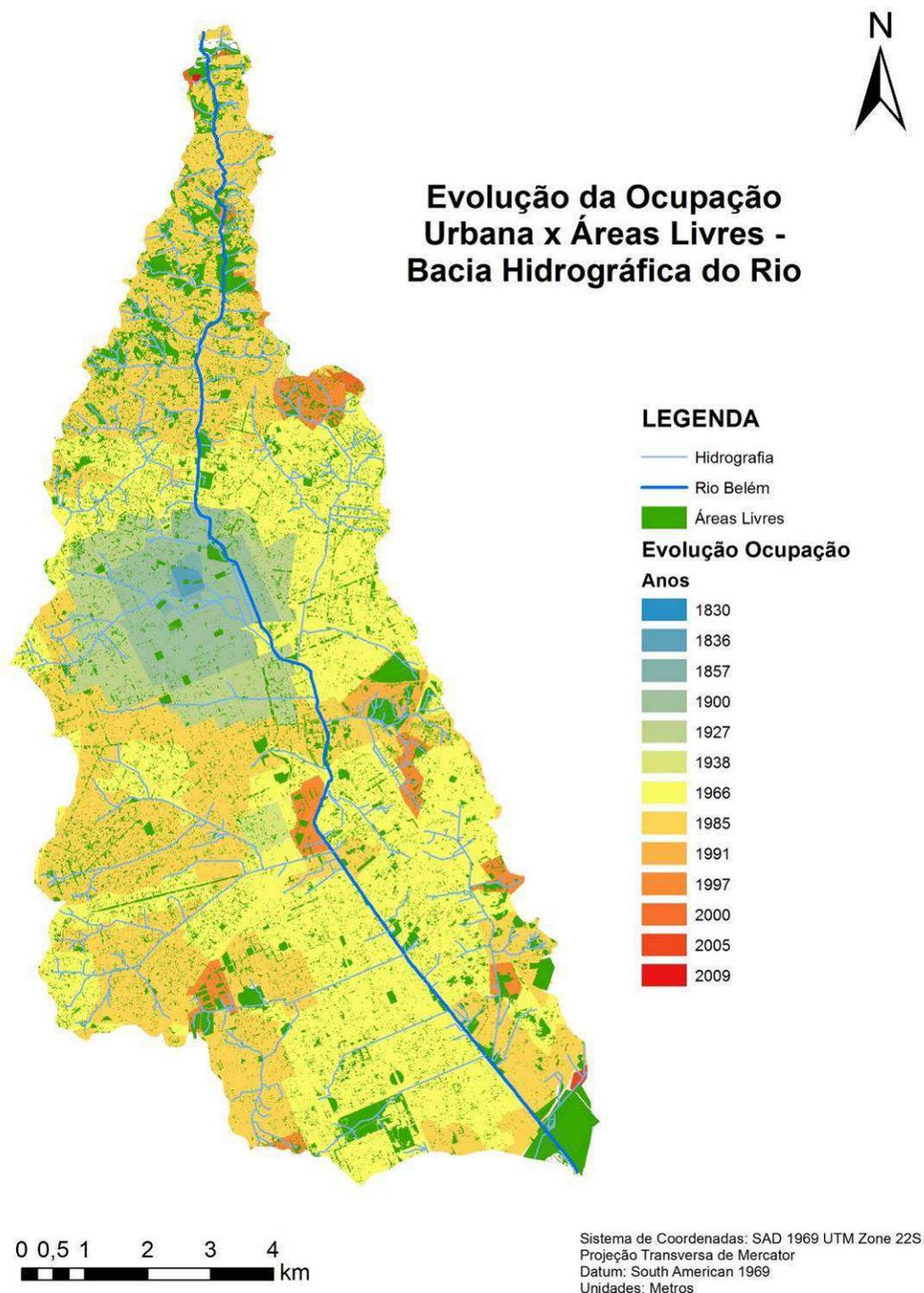
Figura 41 - Alagamento na região central da bacia



Fonte: o autor, 2013

As regiões livres da bacia hidrográfica representam em torno de 15% da área total. Verifica-se que, as áreas livres estão concentradas em regiões de ocupação mais recente. Observa-se a maior concentração na porção norte da bacia, cuja ocupação data da década de 80 e que regiões ocupadas a partir do final da década de 90 também apresentam concentrações de áreas sem ocupação. Essa relação pode ser vista na Figura 42.

Figura 42 - Evolução Urbana x Áreas Livres



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Ao se observar o mapa de áreas livres gerado, também se verifica a ausência das Áreas de Preservação Permanente ao longo dos rios. Na bacia predominam pequenos cursos d'água, com até 10 metros de largura, que exigem faixa de proteção de 30 metros a partir de suas margens (BRASIL, 2012). Mesmo com a

ocupação da faixa, esta se mantém como Área de Preservação Permanente, mas pode ser legalmente utilizada desde que a atividade pretendida se enquadre nas categorias de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental segundo as definições da Lei 12.651/12 (CASTRO, 2013). Se existissem na bacia faixas preservadas ao longo dos rios estas poderiam funcionar como áreas de infiltração. Mesmo não havendo faixas contínuas preservadas, os fragmentos de áreas livres incidentes na faixa de proteção são considerados neste estudo, porque este uso se enquadraria como atividade de utilidade pública (como medida de redução de inundações) e de baixo impacto ambiental.

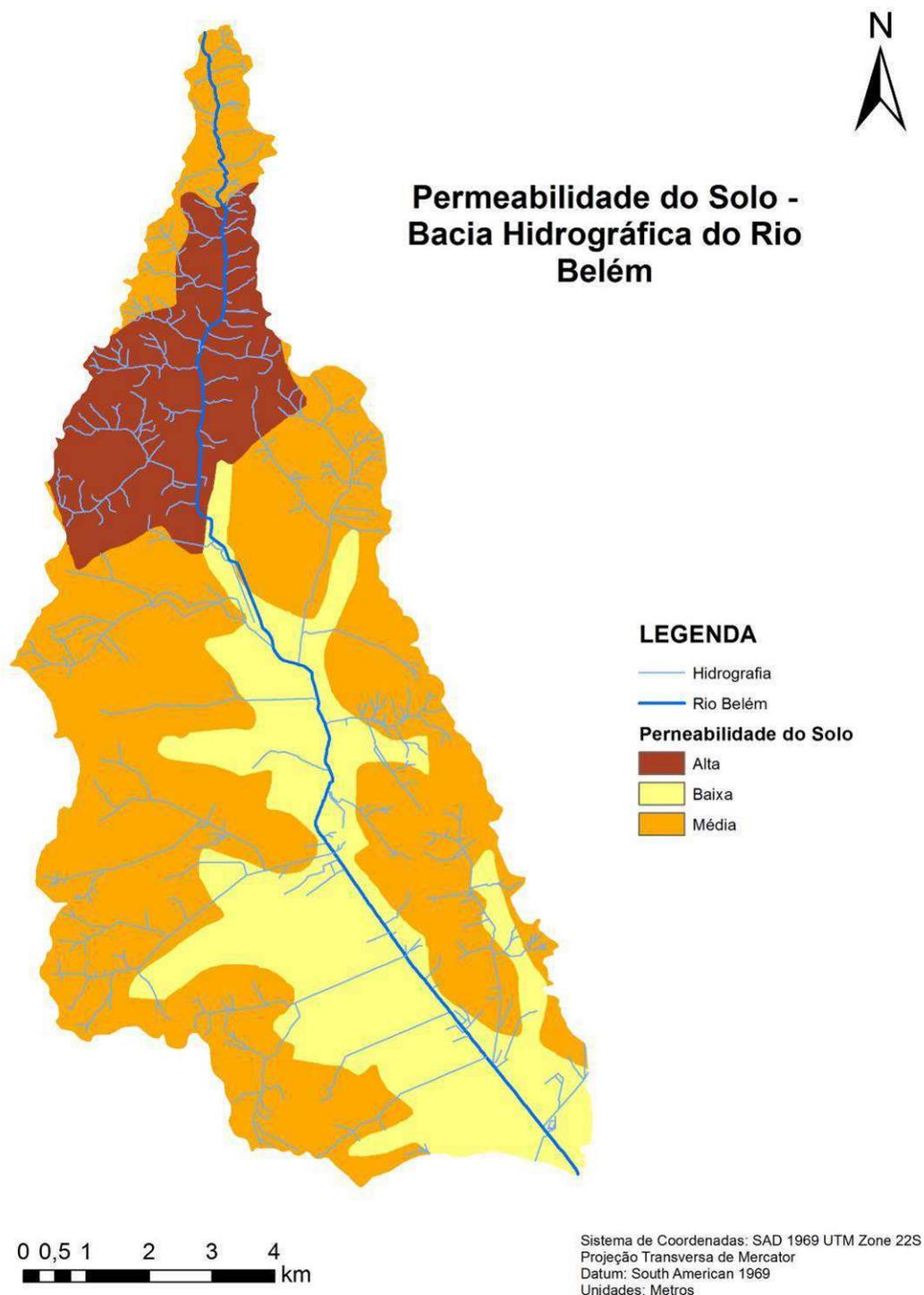
Ressalta-se que as áreas encontradas podem não ser as ideais para a implantação do LID, porém foram escolhidas para o estudo pela facilidade de uso, já que se encontram desocupadas e não são necessários esforços adicionais, como desapropriações e demolições, mas não há impedimento para que novas áreas sejam destinadas ao LID por meio da utilização de instrumentos urbanísticos.

5.1.2 Permeabilidade dos solos

Com relação ao mapa de permeabilidade dos solos gerado (Figura 43), pode-se verificar que os solos presentes na porção norte da bacia hidrográfica apresentam alto e médio grau de permeabilidade. Já na região sul da bacia, observa-se a predominância de solos de média e baixa permeabilidade. Não é mera coincidência que ocorram inundações nessa região de forma mais acentuada, já que apresentam uma característica de saturação de água.

Nessa área, os solos são novos em comparação com outros tipos de solos. Apresentam sedimentos inconsolidados, principalmente próximo às calhas dos afluentes e do próprio Rio Belém, carregados de locais mais altos da bacia e que ficam depositados na região mais plana da bacia hidrográfica. Assim, o assoreamento dos talwegues diminui a calha dos cursos d'água, fazendo com que a água extravase com maior facilidade e demandando mais ações de desassoreamento por parte do poder público, como realizado de forma periódica em alguns trechos da bacia.

Figura 43 - Mapa de permeabilidade dos solos na Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Na Figura 44 pode-se observar uma imagem de uma operação realizada em outubro/2013 para desassorear um trecho do Rio Belém próximo a sua foz.

Figura 44 - Operação de desassoreamento do Rio Belém



Fonte: LUCAS, 2013.

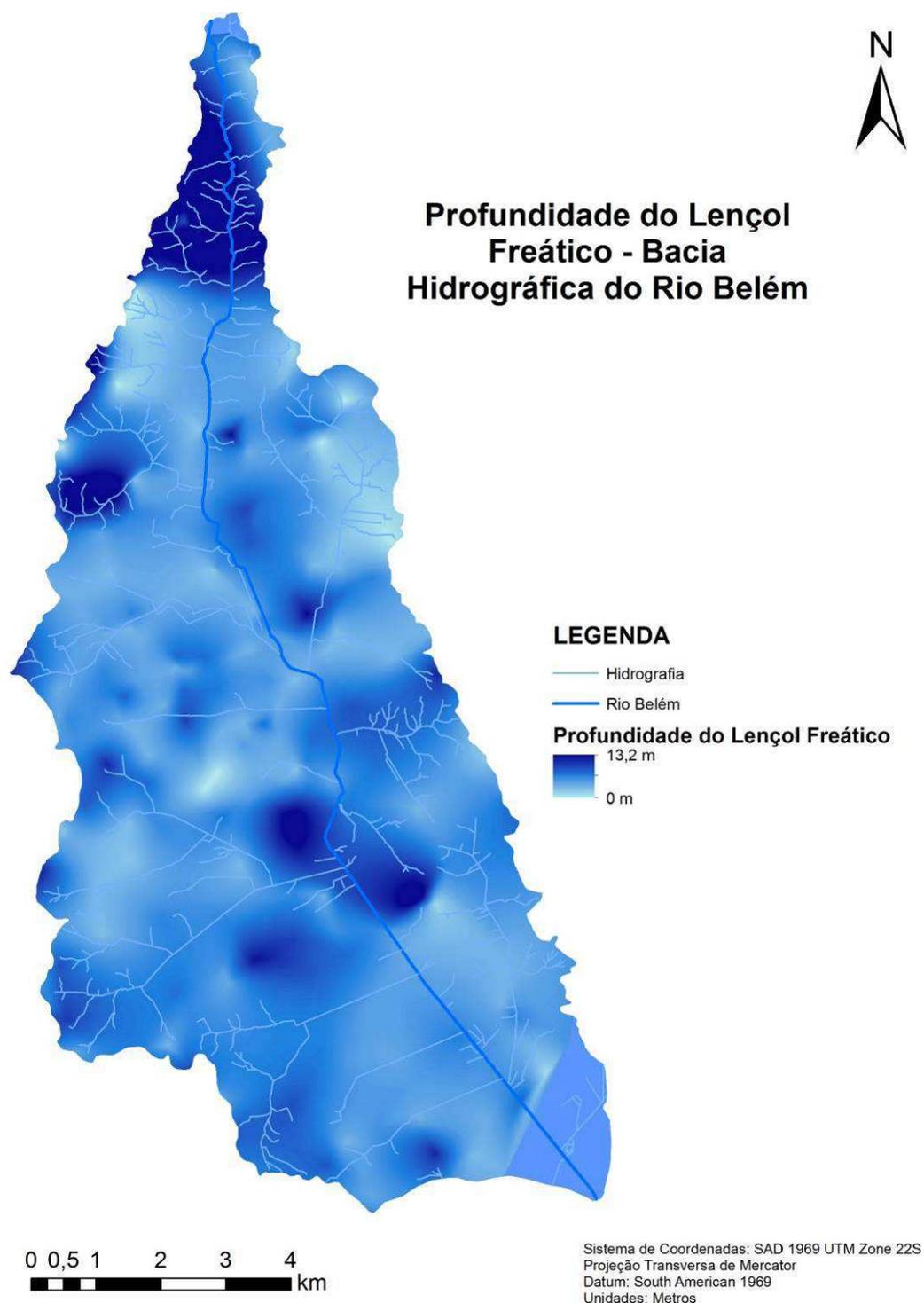
Ao se considerar a implantação do LID, avalia-se a permeabilidade do solo como fator determinante a sua implantação, principalmente para as medidas estudadas, pois se baseiam no princípio da infiltração das águas no solo.

5.1.3 Profundidade do lençol freático

O mapa gerado (Figura 45) apresenta as regiões com o lençol freático mais profundo com tons de azul escuro, principalmente localizados ao norte da bacia, com aproximadamente 13 metros abaixo do nível do solo. E em tons de azul mais claro, o lençol próximo à superfície, especialmente em áreas próximas às nascentes dos afluentes.

Um dos motivos pelo qual as áreas ao entorno das nascentes são consideradas de Preservação Permanentes é justamente a profundidade mais baixa dos lençóis freáticos próxima a essas áreas. Como são regiões onde as águas subterrâneas praticamente se ligam às águas superficiais, existe maior possibilidade de contaminação.

Figura 45 - Profundidade do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de Instituto das Águas do Paraná, 2013.

Como já explicado, os centros urbanos sofrem a interferência da poluição difusa, proveniente da lavagem das superfícies impermeabilizadas pelas águas precipitadas. As substâncias carregadas, por vezes, apresentam grande quantidade

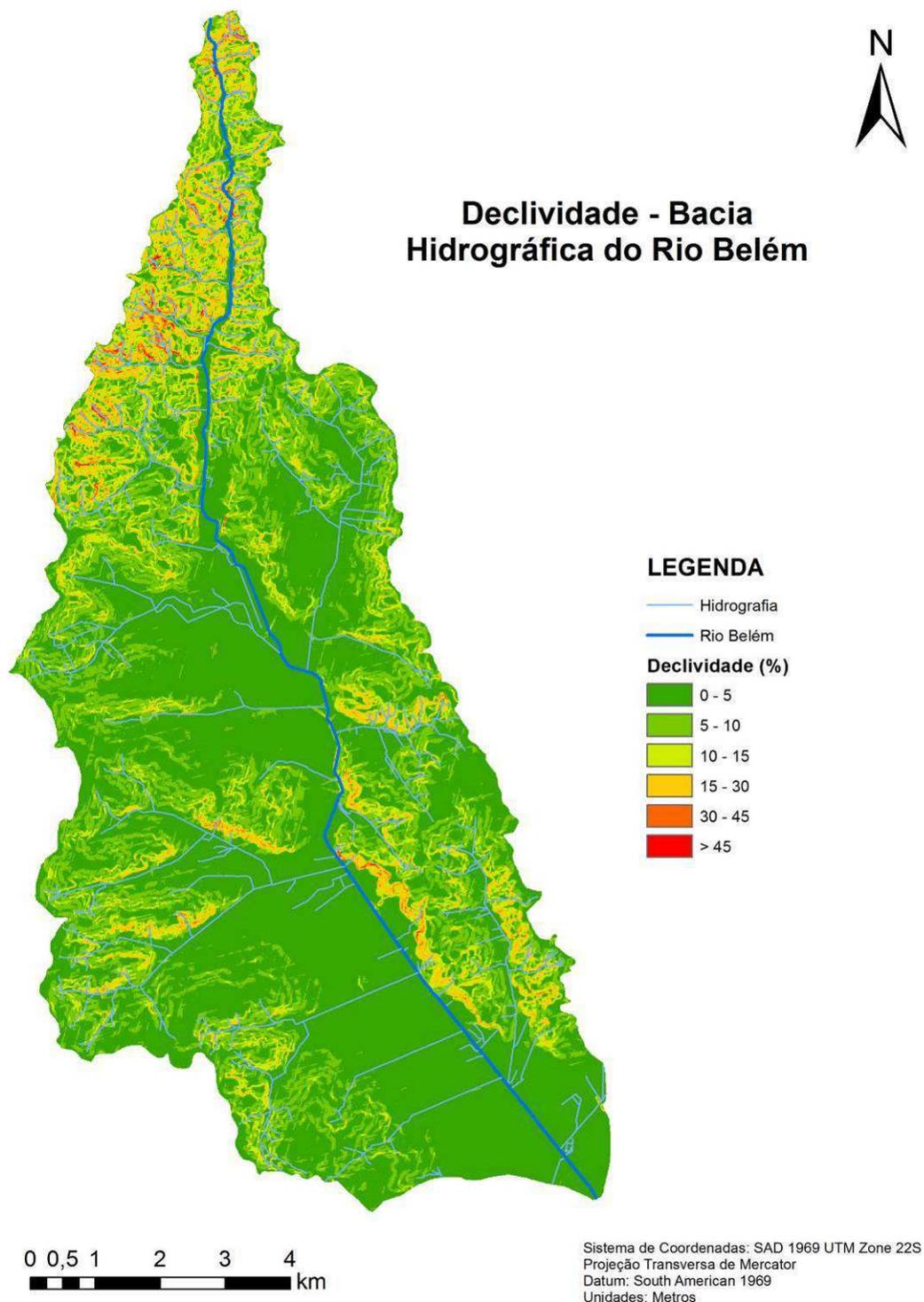
de elementos tóxicos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, como metais pesados.

Já foi mencionado que algumas medidas de baixo impacto são utilizadas como filtros para retenção de poluentes (inclusive os de origem difusa), como a técnica da bioretenção. A profundidade do lençol freático em relação à superfície pode dificultar a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, pois o solo funciona como um leito filtrante, purificando a água à medida em que é infiltrada. Desta forma, quanto mais profundo o lençol freático, melhor a viabilidade de implantação das técnicas pesquisadas.

5.1.4 Declividades

As maiores declividades se encontram principalmente próximas ao divisor de águas localizado ao norte da bacia hidrográfica, conforme a Figura 46.

Figura 46 - Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Belém



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Originalmente no LID, conforme já exposto, a declividade do terreno não é um fator limitante para a implantação das técnicas estudadas. Porém, se a abordagem referente à velocidade do escoamento for considerada, essa variável pode ser avaliada como uma condicionante de projeto. As declividades são determinantes na

velocidade do escoamento superficial. Quanto maior a declividade, mais veloz será o deslocamento da massa de água. Em áreas bastante impermeabilizadas, como é o caso da bacia pesquisada, a velocidade da água em áreas declivosas pode se tornar ainda maior, podendo comprometer a eficácia do sistema. Se a medida for instalada a jusante da área com declive, o escoamento pode não ser interceptado pelo sistema, ou a força da água pode carregar o material utilizado na estrutura, como por exemplo, as pedras utilizadas nas trincheiras de infiltração (Figura 47).

Figura 47 – Trincheira de Infiltração

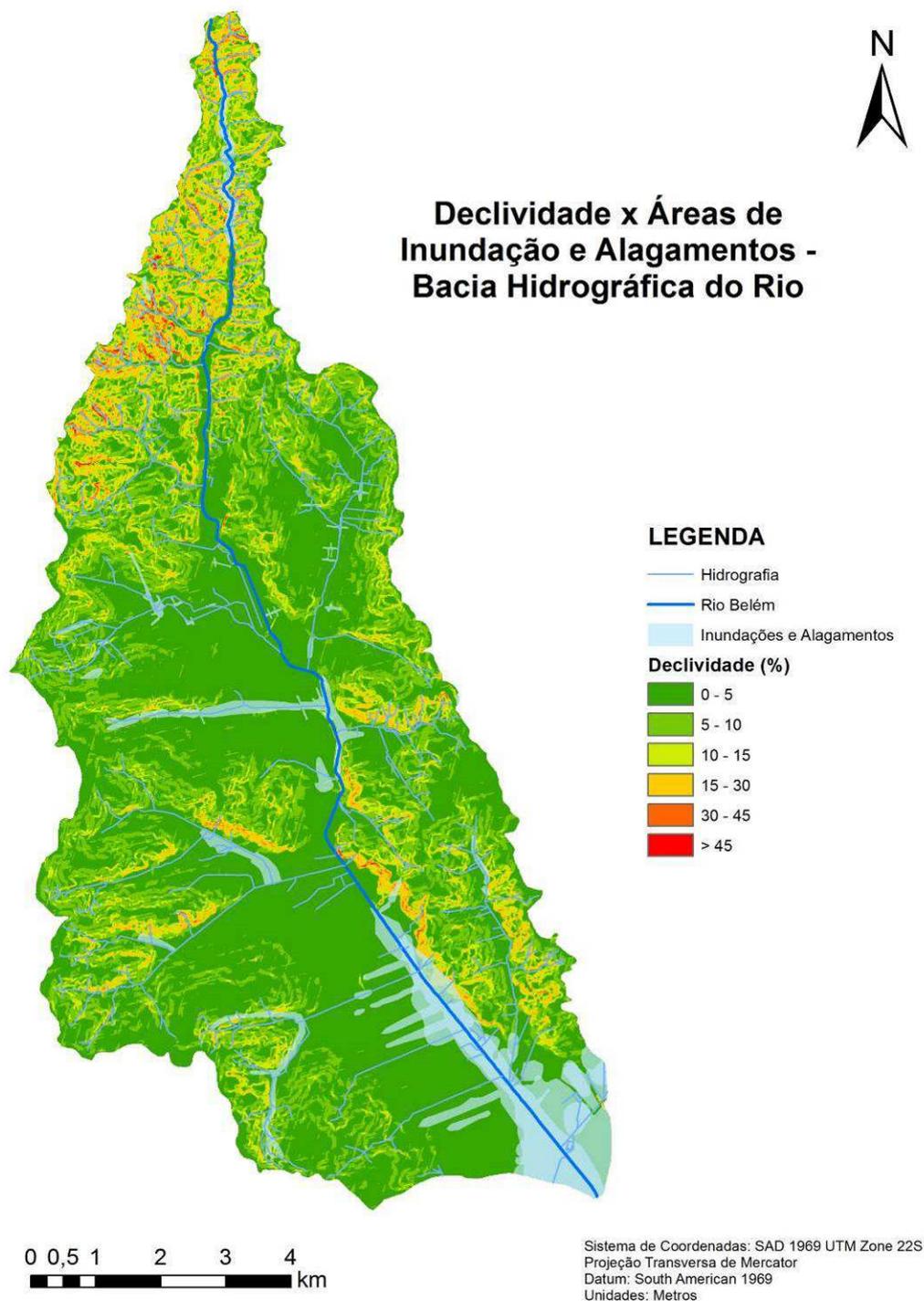


Fonte: City of Seattle, 2007

A declividade também é fator que influencia na microdrenagem da bacia. Além de conduzir os volumes de água escoados mais rapidamente até os corpos d'água, podem comprometer o sistema, caso as galerias convencionais não estejam preparadas para tais velocidades.

Verifica-se que ao sul da bacia em estudo se encontram as áreas com menores declividades. Visto que nessas áreas a água não consegue escoar com tanta facilidade, mais uma vez constata-se que justamente nessas regiões, concentram-se os locais com maior possibilidade de ocorrência de inundações e alagamentos (Figura 48).

Figura 48 - Declividade x áreas inundáveis e alagáveis



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Porém, são nessas áreas com menor declividade que a água deveria infiltrar com mais facilidade. Neste aspecto, a permeabilidade do solo, volta a ser protagonista.

Como já explicado, o solo ao se aproximar do exutório da bacia, adquire uma característica hidromórfica, pelo fato das baixas declividades contribuírem para a deposição do material carreado desde os pontos mais altos da bacia. Como esse solo possui baixa permeabilidade, devido a sua saturação de água, a infiltração fica comprometida.

Pelos fatos argumentados, pode-se questionar se o LID não deveria ser aplicado em regiões mais planas, já que são nessas áreas que as águas se acumulam e sua eficácia seria comprometida em regiões de alta declividade, pela velocidade do escoamento.

5.2 MAPA FINAL DE APTIDÃO ÀS MEDIDAS DE BAIXO IMPACTO

Com base na metodologia criada, os mapas foram sobrepostos, utilizando o princípio da multiplicação entre os valores pontuados para cada restrição local. A Tabela 4 apresenta os resultados possíveis para o cálculo efetuado entre as linhas:

Tabela 4 - Resultados Possíveis

Áreas livres	Permeabilidade do solo	Declividades	Profundidade do Lençol Freático	Resultado
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	2	1	0	0
0	2	1	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1
1	2	1	0	0
1	2	1	1	2

Fonte: o autor, 2013.

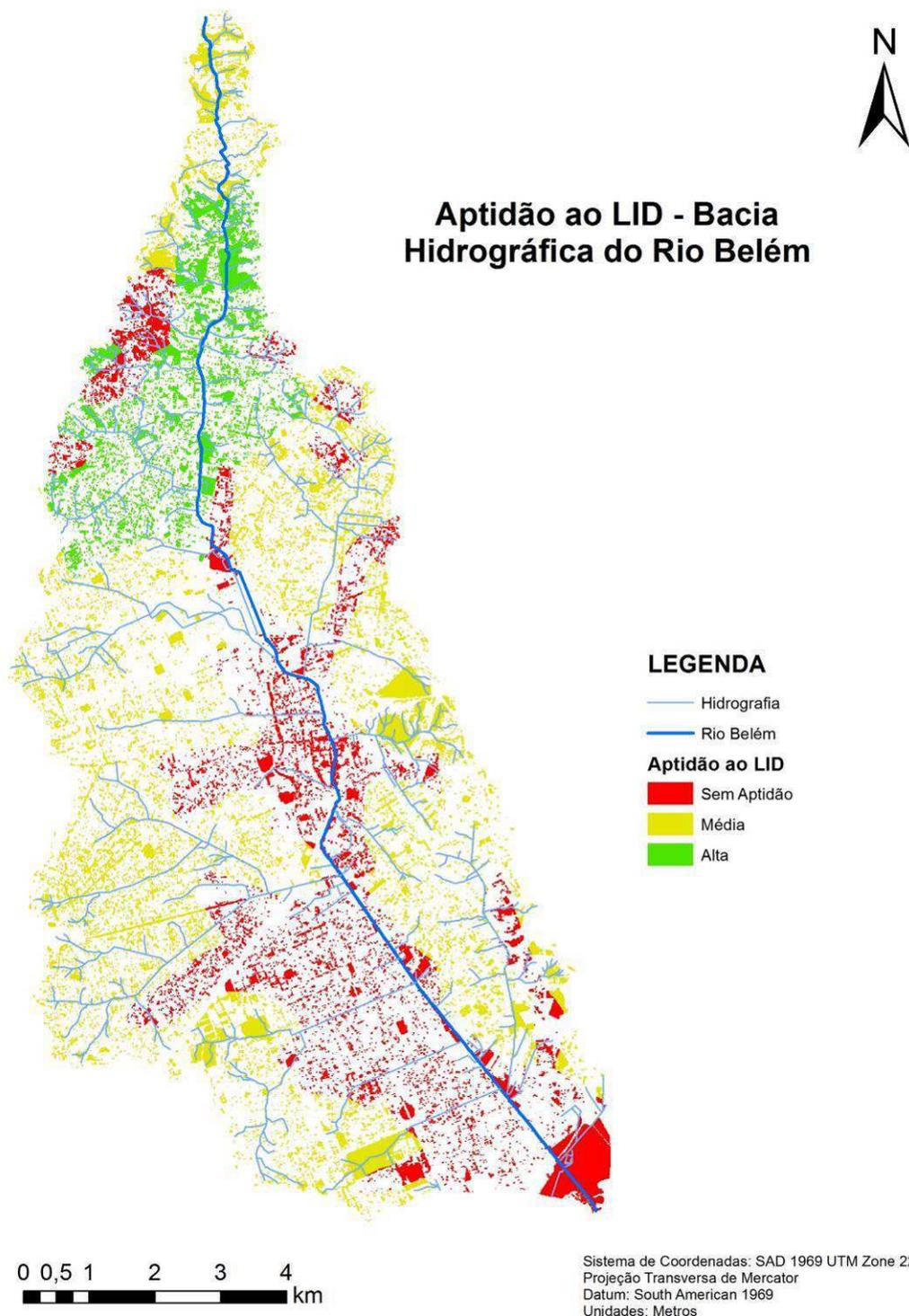
Observa-se que os valores iguais a zero dividem-se em áreas ocupadas (áreas livres igual a zero) e em áreas livres sem aptidão (zonas com solos de baixa permeabilidade ou regiões em que o lençol freático está acima de 0,6 m). Esses valores anulam o resultado da equação, o que torna essas áreas não aptas a receberem medidas de baixo impacto.

O resultado igual a 1 (um) indica uma aptidão média, pois representa que a área está livre e apresenta solo de média permeabilidade, declividade apta e o lençol freático abaixo de 0,6m da superfície. Assim é possível a implantação das medidas, porém a média permeabilidade do solo necessita de elementos que auxiliem a infiltração, como por exemplo, a construção de drenos subterrâneos acoplados ao sistema.

O resultado igual a 2 (dois) diferencia-se do anterior por representar locais com solos com alta permeabilidade. Segundo as restrições expostas, esta seria a condição ideal para a implantação das técnicas pesquisadas.

Esses resultados são representados na Figura 49. No mapa pode se observar: as áreas ocupadas sem cor; áreas livres, porém sem condições de receber as medidas, em vermelho; áreas livres com média aptidão em amarelo; e áreas livres com alta aptidão em verde.

Figura 49 - Mapa de aptidão para as medidas de baixo impacto

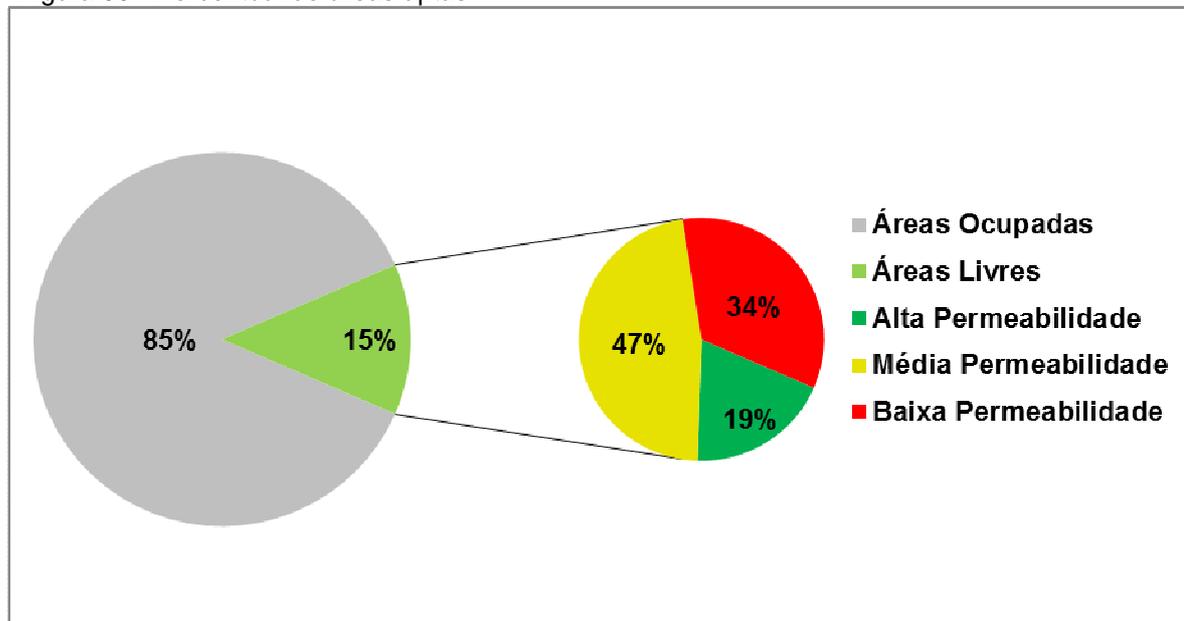


Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Com a análise do mapa de aptidão gerado, junto com suas condicionantes, verificou-se que apenas 15% da área total da bacia encontra-se livre para a aplicação das medidas. Destes, 34% são regiões inaptas, 47% apresentam média

aptidão e 19% das áreas livres são favoráveis à implantação, conforme gráfico representativo da Figura 50:

Figura 50 - Percentual de áreas aptas



Fonte: o autor, 2013.

O trecho norte da bacia hidrográfica do Rio Belém apresenta melhores condições de abrigar as medidas estudadas, visto que o fator determinante foi a permeabilidade do solo na região.

O LID se baseia no retardamento da chegada das águas à jusante. Portanto, as técnicas devem ser implantadas a montante dos locais que apresentam inundações e alagamentos de forma a amenizar o pico de vazão causado pelas precipitações. Contudo, ao analisar a bacia como um todo, o funcionamento dos sistemas na porção norte da bacia, não apresentaria total efetividade no controle das inundações à jusante, pois não contemplaria a maior parte do volume de água escoado.

Nas regiões com média aptidão, existe a possibilidade de implantação das medidas abordadas, porém são necessárias obras complementares que facilitem a infiltração das águas no solo, como a instalação de drenos subterrâneos, conforme recomendação do LID. Com essas obras, verifica-se a necessidade da realização de maiores modificações no meio, aumentando o impacto causado pela implantação das medidas.

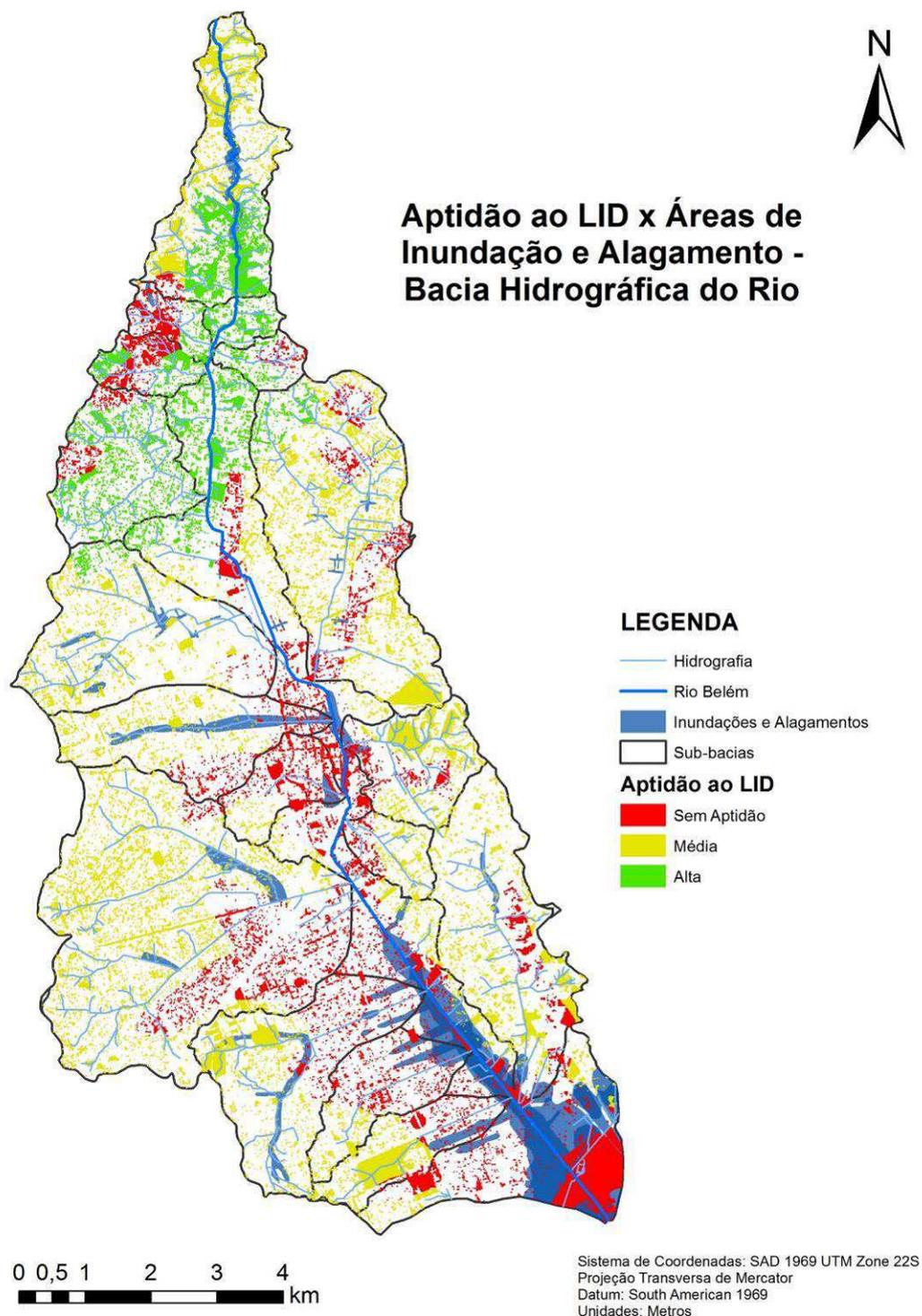
As regiões de baixa aptidão localizam-se principalmente em regiões próximas ao talvegue principal, a partir do seu curso médio, devido à baixa permeabilidade do solo. Outras áreas consideradas não aptas localizam-se na região noroeste da bacia devido à baixa profundidade do lençol freático. Ressalta-se que o LID não precisa ser implantado próximo ao curso principal, visto que essa técnica objetiva o retardo do escoamento superficial das águas precipitadas antes que estas atinjam os cursos d'água. Além disso, ao se estudar as medidas de baixo impacto, observa-se que estas não devem ser implantadas à jusante da bacia, pois o volume de água escoada passa a ser maior, sobrecarregando os sistemas. Assim, a inaptidão das referidas áreas não inviabiliza a implantação dos sistemas estudados na bacia hidrográfica como um todo.

Em síntese, para terem efetividade, as medidas pesquisadas poderiam ser aplicadas nas regiões com média aptidão, devido a sua disposição na bacia hidrográfica.

A primeira vista, pode-se dizer que as medidas de baixo impacto estudadas não poderiam ser implantadas com sucesso na bacia hidrográfica. Isso se daria porque a região de maior aptidão apresenta baixa eficiência no controle das inundações à jusante, a de média aptidão necessita de obras complementares e o restante das áreas é de baixa aptidão.

Todavia, é possível pensar a bacia hidrográfica como a soma de suas sub-bacias. Assim, toda a água que passa pelo exutório da bacia principal também é a soma das águas de cada um dos tributários. Por isso, para realizar uma análise mais apurada e menos ampla, o mapa de aptidão foi sobreposto ao mapa de inundações e alagamentos na bacia e suas sub-bacias integrantes, conforme Figura 51.

Figura 51 - Aptidão x áreas de inundações e alagamentos



Fonte: Adaptado de IPPUC, 2013.

Verifica-se que as áreas aptas localizadas na porção norte da bacia principal são contidas por sete das dezesseis sub-bacias e estão inclusas em menor proporção em outras duas. Assim, é possível retardar a água escoada em todas essas por meio da aplicação direta das medidas estudadas.

A maior parte das nascentes das sub-bacias localiza-se em áreas de média aptidão. Essas áreas predominam até o curso médio de doze delas. Considerando-se a implantação nessas circunstâncias, pode-se controlar o escoamento da maioria das sub-bacias pela implantação das medidas aliadas a obras que facilitem a infiltração.

A maior parte das áreas de baixa aptidão localiza-se próxima à foz do Rio Belém, o que inviabiliza a implantação em cinco das sub-bacias.

Os alagamentos e inundações também podem ser observados do ponto de vista das sub-bacias. Os alagamentos, provocados pela ineficiência dos sistemas de drenagem convencionais, são potencializados na região central pela canalização de trechos de rios, onde as áreas alagáveis correspondem exatamente aos trechos canalizados. Para esses locais, a aplicação das medidas de baixo impacto a montante, na própria sub-bacia, colaboraria para a redução dos episódios mencionados.

Ao se amenizar o pico de vazão nas sub-bacias também se controla o volume de água que chega até a região sul da bacia, local com maior concentração de áreas suscetíveis às inundações.

Assim, verifica-se que ao analisar a bacia hidrográfica do Rio Belém de forma ampla, o LID não parece uma solução adequada. Porém, a nível de sub-bacias, a implantação do LID mostra-se mais viável, embora sejam necessárias obras complementares de instalação de drenos na maioria das áreas, estas que afetam a bacia como um todo.

6 CONCLUSÃO

Com a revisão da literatura foi possível relacionar o crescimento das áreas urbanas e porque algumas dessas áreas tornam-se vulneráveis a inundações e alagamentos. As civilizações se estabeleceram ao longo dos anos às margens dos cursos d'água, pela sua fertilidade em decorrência do aporte de sedimentos causados pelas cheias periódicas dos cursos de água, pela facilidade de transporte proporcionada e pela facilidade de abastecimento das populações. Por motivos semelhantes, as cidades contemporâneas se estabeleceram em regiões com tais características.

Ao considerar a dinâmica natural dos cursos d'água, as regiões ocupadas às suas margens ficam a mercê dos eventos de cheias. A vulnerabilidade desses locais é potencializada pela impermeabilização do solo e por ações que tentam, às vezes em vão, modificar o regime natural do escoamento das águas. Curitiba, uma cidade que se estabeleceu inicialmente às margens de dois rios, o Ivo e o Belém, adotou algumas dessas medidas para diminuir os riscos ligados às inundações e alagamentos. Esses dois rios, integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, são cenários do caos provocado por quaisquer chuvas que atinjam o município. O rio Ivo, acometido por alagamentos por estar inteiramente canalizado e por este sistema não suportar mais os volumes de água escoados até ele. O rio Belém, principalmente nos bairros Centro Cívico, onde é iniciada a sua canalização, e Boqueirão, onde se encontram todas as águas direcionadas da bacia, não suporta o volume em sua calha e extravasa atingindo as regiões adjacentes.

As causas desses problemas, a canalização e retificação dos rios, foram e ainda são técnicas muito utilizadas para o 'combate' às inundações e alagamentos. Essas medidas, consideradas estruturais, fazem parte da drenagem convencional. Este tipo de drenagem objetiva o rápido afastamento das águas, porém por vezes só faz com que o problema seja, literalmente, enterrado, visto que o transfere para as regiões à jusante. No caso da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, essa transferência de problema se traduz em perdas socioeconômicas para a região da foz, habitada por populações com menor poder aquisitivo.

Um dos meios de minimizar as inundações e alagamentos é a técnica LID, ou desenvolvimento de baixo impacto. Essa técnica depende de fatores físicos, chamados de condicionantes locais para que seja possível sua implantação. Neste

trabalho foi dada ênfase para os sistemas que se baseiam na infiltração das águas. Para a instalação de tais medidas, as condicionantes consideradas no estudo foram o espaço requerido, a permeabilidade dos solos, a declividade e a profundidade do lençol freático, analisadas separadamente e por fim em conjunto utilizando técnicas de geoprocessamento.

Ao verificar quantas e quais são as áreas livres da bacia, percebe-se a sua pequena parcela em relação à área total da bacia. Grande parte da área estudada possui densa ocupação urbana, a qual implica em áreas impermeabilizadas que aumentam o escoamento superficial das águas e, conseqüentemente, alteram o ciclo hidrológico. Em contrapartida são necessárias áreas que favoreçam a infiltração no solo, a fim de reestabelecer em parte o sistema natural.

O fator determinante para a implantação das técnicas do LID que visam a infiltração é a permeabilidade dos solos. Na maior parte da bacia hidrográfica estudada o solo não é favorável ao recebimento dessas técnicas. Visto a média e baixa permeabilidade em quase toda extensão da bacia, podem ser utilizadas técnicas que facilitam o fluxo vertical das águas, como a utilização de drenos nessas regiões, principalmente nas áreas em que o solo apresenta média permeabilidade.

Um aspecto ligado a formação do solo, que poderia ser considerado como condicionantes de projeto, no estudo de viabilidade de implantação das medidas de baixo impacto que se baseiam em infiltração é a geologia. Esta poderia indicar onde estão possíveis falhas geológicas presentes no terreno, característica tal que facilitaria o fluxo descendente do escoamento, sendo áreas favoráveis à implantação das medidas.

A declividade do terreno não é considerada fator limitante de acordo com a técnica LID. Ao se analisar a velocidade do escoamento adquirido em terrenos com declividades mais acentuadas e com solos impermeabilizados, verifica-se a importância de ponderar melhor esse requisito, visto a possibilidade de danificar os sistemas de drenagem, tanto convencional quanto os alternativos. Em regiões com menor declividade, a água tende a escoar com menor facilidade e se acumular. São nessas regiões que se verificam os maiores problemas de inundações e alagamentos da bacia estudada. Portanto, as técnicas de infiltração teriam maior efetividade se implantadas em locais com menor declividade, pois ali a água já estaria concentrada, necessitando somente do estímulo à infiltração.

A profundidade do lençol freático é determinante na minimização do risco de contaminação das águas subterrâneas. Assim, quanto mais profundo o lençol, mais apto o local está para receber as técnicas de infiltração, já que estas servem também como retentoras de cargas poluidoras advindas da lavagem da superfície. A profundidade ideal para a aplicação das medidas estudadas é observada em praticamente toda a bacia hidrográfica, o que permite, de modo geral, sua implantação.

Algumas dificuldades foram encontradas com relação aos dados utilizados no geoprocessamento. A despadronização entre dados de diferentes fontes, a ausência ou a falta de confiabilidade dos dados obtidos foram os principais problemas encontrados, principalmente com relação à profundidade do lençol freático, já que se trata de um dado que varia com a sazonalidade. Dados não confiáveis podem fazer que o resultado destoe da realidade.

Considerando o conjunto dessas análises realizadas e a geração do mapa de aptidão verificou-se que o trecho norte da bacia hidrográfica do Rio Belém apresenta melhores condições de abrigar as medidas estudadas. A maior parte da bacia possui média aptidão e a região próxima ao talvegue principal, a partir do seu curso médio, não é apta a implantação das medidas.

A análise geral da bacia mostra que as áreas de maior interesse para o LID, pela sua localização, possuem média ou baixa aptidão. Nas regiões de média aptidão podem ser instaladas estruturas complementares para o seu bom funcionamento. O interesse em estabelecer medidas de baixo impacto em zonas de baixa aptidão fica comprometido pela baixa permeabilidade do solo ou pela profundidade do lençol freático. Nas áreas com alta aptidão as medidas não apresentariam total efetividade no controle das inundações à jusante, pois não contemplaria grande parte do volume gerado na bacia hidrográfica. Com isso, tem-se a impressão que a metodologia LID não seria eficaz no controle das inundações e alagamentos da bacia hidrográfica do Rio Belém.

Contudo uma análise mais detalhada, pelas sub-bacias, mostra um panorama diferente. Nas áreas com alta aptidão é possível retardar a água escoada na maior parte das sub-bacias da região norte. Deste modo, minimiza-se a vazão proveniente do escoamento destas sub-bacias, pois aumenta o tempo de concentração das águas e reduz o pico de vazão à jusante.

A maior parte das sub-bacias possuem áreas com média aptidão, principalmente entre as nascentes e o curso médio de cada afluente do Rio Belém. Essa seria a localização mais indicada para a implantação das medidas de baixo impacto, pois, mesmo com a necessidade de estruturas de apoio, seriam úteis no controle do escoamento de grande parte das águas precipitadas nas sub-bacias e reduziriam significativamente o volume de água que chegaria ao exutório da bacia hidrográfica do Rio Belém logo após o início da precipitação.

A maior parte das áreas de baixa aptidão está próxima à foz do Rio Belém, o que inviabiliza a implantação em algumas das sub-bacias. Porém, a área de drenagem destas não é significativa em relação ao todo, e a redução do tempo de concentração nessas sub-bacias não minimizaria as inundações na bacia hidrográfica do Rio Belém, justamente por já estarem perto do seu exutório.

Conclui-se que ao avaliar a bacia hidrográfica do Rio Belém de forma ampla, o LID não parece uma solução adequada. Porém, a nível de sub-bacias, a implantação do LID mostra-se viável, embora sejam necessárias obras complementares na maioria das áreas.

Além das medidas estudadas, as quais priorizam a infiltração das águas no solo, é possível e recomenda-se o uso das demais técnicas do LID, como os barris de chuva, as cisternas, telhados verdes e pisos permeáveis. Possuem relativa facilidade de instalação e não dependem de restrições locais como as outras técnicas abordadas.

O fato de a metodologia LID ser viável não implica na isenção do uso das técnicas convencionais de drenagem. Assim, o LID se torna mais vantajoso quando consorciado com outras soluções. Igualmente, não se descarta a possibilidade de implantação, mediante estudos aprofundados da capacidade local, de medidas como as bacias de retenção e detenção, galerias e reservatórios subterrâneos ou inversão de bacias. Outro sistema que pode ser adotado é a construção de canais paralelos ao original, como um canal extravasor, como apresenta o rio Iguaçu, na região da divisa das cidades de Curitiba e São José dos Pinhais.

Não se devem desconsiderar obras de maior porte, como a descanalização e a renaturalização do Rio Belém e seus afluentes, reconstituindo seus meandros, áreas de preservação permanente e planícies de inundação, para que tais áreas adquiram características semelhantes às naturais. Essas são opções que devem ser consideradas e estudadas, mesmo que por ora, pareçam inviáveis.

Para trabalhos futuros, sugere-se pesquisar mais alternativas possíveis para a minimização das inundações e alagamento além das apresentadas e quanto seria necessário para atingir um resultado positivo, pois dessa forma se saberia o tamanho do esforço necessário para atingir uma condição sustentável do rio.

Outra situação seria trabalhar com o zoneamento urbano e a densidade populacional, avaliando os critérios de crescimento e ocupação urbana, a fim de minimizar as áreas impermeáveis.

Por fim, sugerem-se estudos que continuem as discussões sobre a descanalização e a renaturalização dos rios urbanos, como a construção de modelos digitais que reconstituam o curso original desses corpos d'água, e pesquisas mais aprofundadas que relacionem a ocupação urbana aos riscos e vulnerabilidades a inundações e alagamentos.

REFERÊNCIAS

3 RIVERS WET WEATHER. **Vegetated Filter Strip**. 2012. Disponível em: <<http://www.3riverswetweather.org/green/green-solution-vegetated-filter-strip>>. Acesso em nov. 2013.

ABIKO, A. K. et al. **Urbanismo: História e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00016.pdf>. Acesso em 15 ago 2013.

ALMEIDA, Ana Luisa Sessegolo Marques de. **Ocupações irregulares e políticas públicas em áreas de inundação no município de Novo Hamburgo: 2009 a 2011**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Gestão Municipal UAB. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/71837/000873244.pdf?sequence=1>>. Acesso em jan. 2014.

ANDRADE, C. R. M. **A peste e o plano: o urbanismo sanitaria do Eng.º Francisco Saturnino de Brito**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1992. 282p.

ANDREOLI, Cléverson V. **Mananciais de abastecimento: Planejamento e Gestão**. Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu. Curitiba: Sanepar. FINEP, 2003. 494p.

BARCELLOS, F.C.; OLIVEIRA, S.M.M.C. **Novas fontes de Dados sobre Risco Ambiental e Vulnerabilidade Social**. In : IV Encontro Nacional da ANPPAS. Mudanças Ambientais Globais, 2008. Anais Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT11-848-561-20080509105611.pdf>>. Acesso em jan 2014.

BARZ, Elton Luiz; BOSCHILIA, Roseli; HLADCZUK, Ana Maria; SUTIL, Marcelo Saldanha. **Curitiba - Das origens ao século XVIII**. Disponível em: <http://www.casadamemoria.org.br/index_historiadecuritiba.html>. Acesso em: ago. 2013.

BENÉVOLO, L. **As origens da urbanística moderna**. 3. ed. Lisboa: Ed. Presença, 1994.

BERTOLINO, Alessandro. **Estimativa do potencial erosivo na Bacia do Alto Iguaçu utilizando equação universal de perda de solos**. 2008. 72 f. TCC (Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008

BILBAO, D.; GARCIAS, C. M. **Programa Interdisciplinar de Pesquisa e Intervenção na Bacia do Belém: Identificação e Geo-referenciamento de pontos para a poluição pontual e difusa no trecho inicial do Rio Belém – das nascentes ao Parque São Lourenço**. Relatório Final. PIBIC/CNPq, 46p. 2006.

BOLETIM CASA ROMÁRIO MARTINS. **Praças de Curitiba: espaços verdes na paisagem urbana**. Curitiba: Fundação Cultural de Curitiba, v.30, n.131, set. 2006.

BRASIL. **Lei Federal n. 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Diário Oficial da União. Brasília, 2007. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em ago. 2013.

BRASIL. **Lei Federal n. 12.651**, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da União. Brasília, 2012. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em mai. 2013.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2004. Disponível em: http://md-m09.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/banon/2005/01.05.13.21/doc/envento_arquivos/indice_autores. Acessado em 30/10/2008.

CASTELLS, M. A questão urbana. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

CASTRO, A. L. C. de; **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres 2013**. 5ª Ed. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2004, 191 p. Disponível em <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=71458606-5f48-462e-8f03-4f61de3cd55f&groupId=10157>. Acesso em 03 ago 2013.

CASTRO, Stéphanie Louise Inácio. **Áreas de preservação permanente (APP's) urbanas: aplicabilidade, conflitos e questionamentos – estudo aplicado à bacia hidrográfica do rio Belém**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2013. NE

CITY OF BELLINGHAM. **Infiltration Project Examples**. Bellingham. 2013. Disponível em <<http://www.cob.org/services/environment/lake-whatcom/homeowner-incentive-program.aspx>>. Acesso em nov. 2013.

CITY OF SEATTLE. Seattle's Natural Drainage Systems. Seattle, 2007. Disponível em <http://www.seattle.gov/util/groups/public/@spu/@usm/documents/webcontent/spu02_019984.pdf>. Acesso em set. 2013.

CLARO, Anderson. Drenagem. Curso de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2007-1/drenagem/index.htm>. Acesso em mar. 2013.

COSTA, H.; TEUBER, W. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro – uma Abordagem geral**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160p.

DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA. **Santa Catarina – O maior desastre da história**. 2009. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/comissaosantacatarina/defesa-civil-sc>>. Acesso em jul. 2012.

DEFESA CIVIL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. **Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada?** São Bernardo do Campo, 2011. Disponível em <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>. Acesso em 05 ago. 2013.

DIAS, M.E.F. **Modelo de dados raster ou vetorial no desenvolvimento de um SIG**. Aplicação do setor das sondagens geológicas do instituto portuário e dos transportes marítimos. Tese. ISEGI – UNL. Lisboa, 2003.

DUDEQUE, Irã Taborda. **Nenhum dia sem uma linha**: uma história do urbanismo em Curitiba. São Paulo: Studio Nobel, 2010.

ELDRIDGE, H. T.; THOMAS, D. S. **Population and Economic Growth**: United States, 1870-1950. Philadelphia: The American Philosophical Society, 1964. v.3.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Management Measures to Control NonPoint Source Pollution from Urban Areas**. Washington, DC. 2005. Disponível em <http://www.epa.gov/owow/nps/urbanmm/pdf/urban_guidance.pdf>. Acesso em 5 ago 2013.

ESRI. **What is GIS?** 2012. Disponível em: <http://www.esri.com/what-is-gis/overview.html#overview_panel> Acesso em jul. 2012.

FENDRICH, R. **Diagnóstico dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Urbana do Rio Belém**. Curitiba. Assembleia Legislativa do Paraná, 2002.

FONSECA, France Dielle de Freitas. **Riscos de Desastres Ambientais Urbanos**: estudo de diferentes áreas de conhecimento uma perspectiva teórica para a Geotecnia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

FOGERTY, John. Have You Ever Seen the Rain?. In CREEDENCE CLEARWATER REVIVAL. **Pendulum**. Fantasy Studios, 1970. CD, Faixa 04.

FREITAS, Cinthia Obladen de Almendra. **Estudo de Vazões da Bacia Hidrográfica do Rio Belém**. Instituto de Saneamento Ambiental. Volume I. Curitiba, 1998. 124 p.

GARCIAS, Carlos Mello; et al. **A questão das águas urbanas e a Agenda 21 Local**. Revista Ambiência Guarapuava (PR). V.6 N3. P.531-546. Set/Dez 2010.

GARCIAS, C. M.; SOTTORIVA, E M. **Poluição difusa urbana decorrente dos freios automotivos: Estudo de caso na Sub-bacia do rio Belém em Curitiba-PR**. Revista Redes, v. 15, p. 5-26, 2010.

GARCIAS, C. M. ; CIDREIRA, E . **Poluição difusa em ambientes urbanos: cádmio, chumbo e mercúrio**. In: XXXIII Congresso interamericano de engenharia sanitária e ambiental, 2012, Salvador. Anais do XXXIII Congresso interamericano de engenharia sanitária e ambiental. Salvador Ba: AIDIS, 2012. v. 1.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

GÓIS, Josué Souza; MENDES, Luiz Eduardo. **Hidrologia e Hidrometria**. In: TELLES, Dirceu D'Alkmin. Ciclo Ambiental da Água: da chuva à gestão. 2013. Ed. Edgar Blücher Ltda. São Paulo. 1ª ed. 501 p.

GOIS JUNIOR, Edivaldo; LOVISOLO, Hugo. **Descontinuidades e Continuidades do movimento higienista no Brasil do século XX**. Revista Brasileira de Ciências

do Esporte, Campinas, vol.25, n. 1, set.2003. Disponível em <<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/rpcd/v5n3/v5n3a07.pdf>> Acesso em 15 ago 2013.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em 15 mai 2013.

HAYAKAWA, Iuri Fukuda. **Situações de Risco Ambiental como definidoras de Inflexões no Planejamento e na Gestão Urbana: um estudo na cidade de Curitiba Paraná**. Mestrado em Gestão Urbana. 2008. Dissertação (Mestrado em Gestão Urbana)–Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1293>. Acesso em: 14 ago. 2013.

HONORATO, Renata. **As 10 catástrofes atribuídas ao aquecimento global**. Revista Veja. Editora Abril. 2009. Disponível em <<http://veja.abril.com.br/blog/10-mais/ciencia/as-10-catastrofes-atribuidas-ao-aquecimento-global/>>. Acesso em ago 2013.

IPPUC – INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. **Curitiba em Dados**. Curitiba. 2002. Disponível em <<http://ippucweb.ippuc.org.br/BancoDeDados/Curitibaemdados/albumfotos.php?N2=33&pagina=2>>. Acesso em out. 2013.

IPPUC – INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. **Banco de Dados – Mapas Temáticos**. 2013. Disponível em <<http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>>. Acesso em 13 mar. 2013.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Mapas e Dados Espaciais**. 2013. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=79>>. Acesso em 13 mar. 2013.

KNOPKI, P. B. **Avaliação da qualidade de vida dos moradores da bacia hidrográfica do rio Belém e sua relação com variáveis ambientais**. 2008. 94 f. TCC (Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

KOBIYAMA, M. CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G.M.P. **Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais**. In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004, Florianópolis. Florianópolis: GEDN, Anais, 2004. p. 834-846.

LEITE, Maria Ângela Faggin P. A natureza e a cidade: discutindo suas relações In: SOUZA, M. A.; SANTOS, M. SCARLATO, F. C.; ARROYO, M. (orgs) **Natureza e sociedade hoje - uma leitura geográfica**. Ed. O novo mapa do mundo, São Paulo: Hucitec/ANPUR, 1993, p. 139-145.

LOCAL PHILOSOPHY. **Rain Barrels**. 2009. Disponível em <http://www.localphilosophy.com/articles/archives/greentip_rain-barrels.htm>. Acesso em nov. 2013.

- LUCAS, Jaelson. **Rio Belém passa por limpeza em ação preventiva contra enchentes**. 2013. Disponível em <<http://www.curitiba.pr.gov.br/fotos/album-rio-belem-passa-por-limpeza-em-acao-preventiva-contra-enchentes/18891>>. Acesso em out. 2013.
- LYNCH, K. **A imagem da cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.
- MASCARÓ, J.L. **Desenho Urbano e Custos de Urbanização**. Brasília, MHU/SAM, 1987.
- MINAS GERAIS. **Lei nº 20.009, de 4 de janeiro de 2012**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em <<http://ws.mp.mg.gov.br/biblio/informa/130116845.htm>>. Acesso em jul. 2012.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Ministério das Cidades: Resultados, projeções, ações**. Brasil: Ministério das Cidades, 2008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21 Brasileira**. Brasília. 2002. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira>>. Acesso em ago. 2013.
- MORRIS, A.E.J. **Historia de la forma urbana: desde sus orígenes hasta La revolución industrial**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- MOTA, Suetônio. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 352p.
- OFDA/CRED – The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain. **Database**. 2013. Disponível em: <<http://www.emdat.be/database>>. Acesso em 8 ago 2013.
- PARANÁ. Lei 17.084 de 13 de março de 2012. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar e aproveitamento de águas de chuva na construção de prédios públicos, bem como sobre a utilização de telhados ambientalmente corretos. **Diário Oficial nº 8679**. Disponível em <<http://rasca.com.br/arquivo/97/lei-17084>>. Acesso em nov. 2013.
- PINHEIRO, A. 2007. **Enchente e Inundação**. In: SANTOS, R. F. dos (org.) Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192p.
- PLATE, E.J. **Flood risk and flood management**. Journal of Hydrology, v.267, p.2-11, 2002
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Lei 10.785 de 18 de setembro de 2003. Cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. **Câmara Municipal de Curitiba**. Disponível em <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimedia/00086319.pdf>>. Acesso em mai. 2013.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – INSTITUTO MUNICIPAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. **Drenagem Urbana Módulo II**. Curitiba, 2010. 32 p.
- PRINCE GEORGE’S COUNTY. Department of Environmental Resources. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**.

Maryland, 1999. Disponível em: <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>>. Acesso em jun. 2013.

PROJETO RIBEIRAO ARRUDAS. **Tragédias marcam a história do Arrudas**. Belo Horizonte. 9 jun. 2010. Disponível em <<http://ribeiraoarrudas.blogspot.com.br/2010/06/tragedias-marcam-historia-do-arrudas.html>> Acesso em 28 out. 2013.

REZENDE, Osvaldo Moura. **Um reservatório de cheias para o Godzila nadar**. Rio de Janeiro. 03 jun. 2013. Disponível em <<http://aquaflexus.com.br/?p=3612>>. Acesso em 31 jul. 2013.

REDAÇÃO ÉPOCA. O Desastre no Rio só aumenta. **Revista Época**. 08 de abril de 2010. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EMI132019-15223,00-O+DESASTRE+NO+RIO+SO+AUMENTA.html>> Acesso em jul. 2012.

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia Científica: a construção do conhecimento**. 6. Ed. rev. (conforme NBR 14724:2002) Rio de Janeiro: DP&A, 2006. 168p.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p. ISBN 85-85864-19-2

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Vulnerabilidade Ambiental** (org). – Brasília: MMA, 2007.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica, tempo, razão e emoção**. 4 ed. São Paulo: Hucitec, 2008

SCHECHI, R. G. **Avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia hidrográfica do rio Pequeno, São José dos Pinhais, PR**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SETTI, Ricardo. O fabuloso sistema anti-enchentes de Tóquio, a maior cidade do mundo. **Revista Veja**. Editora Abril. 2012. Disponível em <<http://veja.abril.com.br/blog/ricardo-setti/vasto-mundo/video-o-fabuloso-sistema-anti-enchentes-de-toquio-a-maior-cidade-do-mundo/>>. Acesso em out 2013.

SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia urbana no Brasil. In: **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação e controle**. Porto Alegre: ABRH/Ed.da Universidade/UFRGS, 1998.

SOUZA, C.F., DAMASIO, C.P. **Os primórdios do urbanismo moderno**: Porto Alegre na administração Otávio Rocha. In: PANIZZI, W.M., ROVATTI, J.F., ed., Estudos urbanos: Porto Alegre e seu planejamento. Porto Alegre: Editora da Universidade: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1993.

SOUZA, C.F. **Mecanismos técnicos-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SPITZCOVSKY, Débora. **Telhado verde pode se tornar obrigatório em Curitiba**. Planeta Sustentável. Ed. Abril, 2013. Disponível em

<<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticias/telhado-verde-obrigatorio-edificacoes-curitiba-combate-ilhas-calor-737817.shtml>>. Acesso em out. 2013.

STRAND ASSOCIATES. **Green/Sustainable Design**. 2011. Disponível em: <<http://www.strand.com/services/municipal-civil/greensustainable-design/>> . Acesso em nov. 2013.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1998.

TAVANTI, D.R. **Desenvolvimento urbano de Baixo Impacto aplicado ao processo de planejamento urbano**. Dissertação de Mestrado. São Carlos: UFSCar. 2009.

TAVARES, B. **Catástrofe na região serrana do Rio já é o maior desastre climático do País**. O Estado de São Paulo. São Paulo, 22 de janeiro de 2011. Caderno Notícias - São Paulo. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,catastrofe-na-regiao-serrana-do-rio-ja-e-o-maior-desastre-climatico-do-pais,669506,0.htm>> Acesso em jul. 2012.

THIS OLD HOUSE. **How to Install a Dry Well**. 2012. Disponível em <http://www.thisoldhouse.com/toh/how-to/step/0,,20486669_20945162,00.html>. Acesso em nov. 2013.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. 940p.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana**. Ciência e Cultura. vol.55 no.4 São Paulo. 2003.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre. 2005.

URBAN DESIGN TOOLS. **Rain Barrels and Cisterns**. 2007. Disponível em <http://www.lid-stormwater.net/raincist_benefits.htm>. Acesso em nov. 2013.

ULTRAMARI, C. **Relações entre urbanismo e planejamento urbano: uma sugestão de debate**. In: Seminário de história da arquitetura e urbanismo. Recife, set. 2007.

VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, c1998. 373 p. ISBN 85-85445-75-0

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 245 p.

WILHEIM, Jorge. **Problemas ambientais urbanos**. Brasília, Instituto Sociedade, População e Natureza, 1993.