

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

**JOSIANE HOLZ**

**LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE RISCO DE ALAGAMENTO  
DA BACIA DO RIACHO REGINALDO**

MACEIÓ

2010

**JOSIANE HOLZ**

**LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE RISCO DE ALAGAMENTO DA  
BACIA DO RIACHO REGINALDO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza

MACEIÓ

2010

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Maria Auxiliadora G. da Cunha**

H7621 Holz, Josiane.  
Levantamento e mapeamento do índice de risco de alagamento da Bacia do Riacho Reginaldo / Josiane Holz. – 2010.  
161 f. : il. tabs., gráfs.

Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.  
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2010.

Bibliografia: f. 155-159.  
Apêndices: f. 160-161.

1. Alagamento – Índice de risco. 2. Bacias urbanas – Riacho Reginaldo (AL).  
3. Drenagem urbana. 4. Bacias urbanas – Alagamento. Título.

CDU: 556.18(813.5)



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Tecnologia – CTEC  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamentos – PPGRHS  
Campus A. C. Simões, Av. Lourival de Melo Mota, S/N  
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas  
Tel/Fax: (82) 3214-1279  
E-mail: ppgrhs@yahoo.com  
Homepage://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs



## LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE RISCO DE ALAGAMENTOS DA BACIA DO RIACHO REGINALDO

**JOSIANE HOLZ**

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 13 de agosto do ano de 2010.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza

Orientador – PPGRHS/CTEC/UFAL

Prof. Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa

PPGRHS/CTEC/UFAL

Prof. Dr. Marllus Gustavo Pereira Passos das Neves

PPGRHS/CTEC/UFAL

Prof. Dr. César Augusto Pompêo

UFSC

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus.

Agradeço a minha família, minha mãe e irmã que me deram força desde o início deste trabalho, mesmo sabendo da saudade que sentiríamos durante a sua realização. Agradeço ao Ronaldo pela paciência e compreensão.

Ao meu orientador e amigo, professor Vladimir que acreditou no meu trabalho e me ofereceu além de conhecimento, força e estímulo nos momentos mais difíceis da sua realização.

À minha amiga Irene, que além do apoio para a realização do trabalho me ofereceu a sua valiosa amizade, bem como a sua família que me acolheu em Maceió.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS, bem como a todos os professores que dele fazem parte.

A turma de 2007 do PPGRHS por todas as agradáveis horas que passamos juntos, além de todos os outros alunos do Programa com quem convivi.

Aos colegas que me auxiliaram na realização deste trabalho, especialmente nas visitas de campo, cujos nomes não citarei para não esquecer ninguém.

A Chesf por valorizar e possibilitar que eu concluísse o mestrado.

Aos colegas e amigos da DORH, com agradecimento especial a Carol que forneceu inúmeros conhecimentos para a realização deste trabalho.

As amigas das várias fases da minha vida, mais igualmente especiais: Liege, Andreza, Silvana, Daiane, Irene e Carol.

Aos técnicos da SOMURB, da Defesa Civil de Maceió, bem como aos líderes comunitários pelas importantes informações fornecidas durante a confecção deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por dar apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto de pesquisa “casadinho”, do qual o presente trabalho faz parte.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto “Casadinho/CNPq – UFAL-UFMG-EESC/USP”, através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro 14/2005, em cujo contexto se insere esta dissertação de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pela concessão de bolsa de mestrado para o desenvolvimento desta dissertação.

## RESUMO

Os alagamentos em bacias urbanas se devem, principalmente, ao excessivo parcelamento do solo com conseqüente impermeabilização das superfícies, à ocupação de áreas ribeirinhas, às obras de drenagem inadequadas e à obstrução de canalizações por detritos e sedimentos. Considerando-se os conceitos de sustentabilidade da drenagem urbana, a abordagem das soluções deve considerar uma boa caracterização da região, relacionando-se a ocorrência dos eventos com suas causas e analisando-se os efeitos nas regiões de ocorrência. Uma das formas de se obter tais respostas é a caracterização de problemas relacionados a alagamentos através de entrevistas com a população que ocupa áreas afetadas. Este trabalho apresenta a construção e o mapeamento do Índice de Risco associado a Alagamentos (IRA) para a bacia do Riacho Reginaldo (Maceió/AL), confeccionado a partir da análise de indicadores que representam as características destes alagamentos (frequência, magnitude, abrangência, geração de escoamento superficial). Apresenta, também, uma caracterização ambiental dessas áreas suscetíveis, considerando-se observações feitas durante os trabalhos de campo. O IRA para a bacia do Riacho Reginaldo, foi constituído pelo somatório de quatro indicadores que representam as características dos alagamentos: Indicador de Conseqüências, que avalia a profundidade atingida pelo alagamento; Indicador de Probabilidade de Ocorrência, que avalia a frequência destes eventos; Indicador de População Atingida, que avalia a densidade populacional das regiões alagadas e; o Indicador de Geração do Escoamento Superficial, que avalia a capacidade de geração de alagamentos. Para cada uma das 12 regiões levantadas como suscetíveis a alagamentos da bacia foi calculado e mapeado o Índice de Risco de Alagamento, a partir do qual foi possível a comparação das diversas áreas da bacia frente aos eventos de alagamentos. Estas informações podem servir de ferramenta para o planejamento do sistema de drenagem urbano ou ainda para o zoneamento de áreas alagáveis na bacia estudada, auxiliando na escolha das áreas a serem priorizadas nas intervenções sobre o sistema de drenagem. Para a bacia do Riacho Reginaldo, observa-se que uma das causas frequentes de alagamentos é o estrangulamento das seções por aterros de vias ou pela presença de resíduos sólidos na rede de drenagem ou, ainda, por assoreamento do leito. Destaca-se, igualmente, o aumento da geração de escoamento superficial provocado pela crescente urbanização e impermeabilização da bacia.

**Palavras-chave:** Índice de Risco de Alagamento. Alagamentos em bacias urbanas. Drenagem urbana.

## ABSTRACT

Urban floods are due, mainly, to excessive soil division with consequent surface impermeabilization, to occupation of riverine areas, to inadequate drainage works and to pipe obstruction with debris and sediments. According to the concept of sustainability, urban drainage approach should consider basin characterization, linking the occurrence of flood events and its effects with their causes. One way to characterize floods is interviewing affected neighborhoods. This study presents an Index of Flood Risk (IRA) applied to Reginaldo Creek basin (Maceió, Brazil). This index was developed from flood characterization indicators (frequency, magnitude, wideness, runoff generation). It also environmentally characterizes susceptible areas, via field trip observations. The IRA index results from the sum of four indicators that represent flood characteristics: Indicator of Flood Consequences, that evaluates flood depth; Indicator of Flood Probability of Occurrence, that evaluates the frequency of such events; Indicator of Flood Damage, that evaluates population density in flooded areas and; the Indicator of Flood Runoff Generation, that evaluates the capacity of runoff generation by floods. Twelve areas were considered susceptible to floods in the Reginaldo Creek basin, which were mapped according to the Index of Flood Risk. Such mapping helped on comparing flood effects in several areas in Reginaldo Creek Basin. Such information is powerful in subsidizing urban drainage planning or even in zoning floodable areas in the studied basin, which helps in prioritizing areas to apply drainage work interventions. It was observed in Reginaldo Creek basin that causes of frequent floods are river bank strangulation due to the presence of roads; presence of solid wastes in the drainage network and river bed siltation. Runoff increase is also remarkable probably due to chaotic urbanization and consequent basin impermeabilization.

**Key-Word:** Index of Flood Risk. Urban floods. Urban drainage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Representação dos leitos maior e menor antes (a) e após a urbanização (b)	20
Figura 2 – Representação do balanço hídrico para os diversos níveis de impermeabilização	22
Figura 3- Relação entre os sistemas das águas urbanas	24
Figura 4 - Triângulo de Risco	30
Figura 5 - Exemplo da representação bidimensional	35
Figura 6 - Expansão urbana em Maceió	40
Figura 7 - Localização da bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo	41
Figura 8 - Mapa dos zoneamentos da área urbana de Maceió com a bacia do Riacho Reginaldo	41
Figura 9 - Localização dos bairros da bacia do Reginaldo	42
Figura 10 - Pluviômetro instalado na bacia	43
Figura 11 - Sensor de nível no Riacho Gulandim	43
Figura 12 - Impacto das enchentes nos bairros Ouro Preto (esquerda) e Jacintinho (direita)	44
Figura 13 - Vista aérea da região próxima a foz da bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo	44
Figura 14 - Convivência da população com o Riacho Reginaldo	44
Figura 15 - Ocupação de encostas íngremes junto ao trecho canalizado	45
Figura 16 - Lançamento de esgoto em taludes sem proteção	45
Figura 17 - Erosão causada pelo fluxo nos períodos chuvosos	45
Figura 18 - Resíduos sólidos carregados pelas águas pluviais na calha do Riacho Reginaldo	45
Figura 19 - Ligações irregulares de esgoto doméstico na rede pluvial	46

Figura 20 - Região ocupada junto ao trecho final (canalizado) do Riacho Reginaldo	46
Figura 21 - Representação dos principais afluentes do Riacho Reginaldo	47
Figura 22 - Destaque para a intensa impermeabilização do solo da bacia	49
Figura 23 - Mapa do CN das 16 sub-bacias do Riacho Reginaldo	51
Figura 24 - Variação da concentração de OD para os 11 pontos analisados	52
Figura 25 - Variação da concentração de DQO para os 11 pontos analisados	53
Figura 26 - Mapeamento dos setores de risco na bacia do Riacho Reginaldo, Complexo Baixo Reginaldo (esq.) e Alto Reginaldo (dir.)	54
Figura 27 - Modelo Numérico do Terreno da Bacia do Riacho Reginaldo	56
Figura 28 - Mapa com os pontos indicados pela SOMURB e os pontos visitados durante o levantamento das áreas atingidas pelos alagamentos	58
Figura 29 - Levantamento de informações dos alagamentos, realizado junto aos moradores da bacia	59
Figura 30 - Profundidade atingida pela água dentro das residências nos pontos onde foram realizados os levantamentos de campo	61
Figura 31 - Determinação das linhas d`água na região da Av. Rotary	63
Figura 32 - Delimitação da área de alagamento que não contempla a hidrografia	64
Figura 33 - Parte da planilha de informações da contagem de população	72
Figura 34 - Regiões a serem detalhadas	78
Figura 35 - Região 01 – Santa Lúcia	80
Figura 36 a - Nível de alagamento atingido dentro da residência e b - Construção de batentes nas residências das ruas não pavimentadas	81
Figura 37 - Construção de batentes nas residências das ruas pavimentadas	81

Figura 38 - Região 02 – Jardim Petrópolis	82
Figura 39 - Presença de criação de animais na calha	83
Figura 40 a - Calha natural do Riacho Reginaldo e b - Obstrução da entrada da galeria	83
Figura 41 a - Erosão observada na calha do Riacho Reginaldo e b - Estrutura de drenagem danificada	84
Figura 42 - Presença de lixo na calha do Riacho e b - Lixo em decomposição	84
Figura 43 - Região 04 – Ouro Preto	85
Figura 44 a - Residências construídas na calha e b - Novas construções na calha	86
Figura 45 a - Entrada da galeria e b - Saída da galeria	86
Figura 46 a - Início do dissipador de energia junto à pista e b - Dissipador de energia	87
Figura 47 a - Coleta de lixo na calha e b - Acúmulo de lixo na entrada da galeria	87
Figura 48 a - Residências em ambas as margens do Riacho Reginaldo e b - Região com intensa ocupação atingida pelos alagamentos	88
Figura 49 - Fluxo de água proveniente dos esgotos lançados na calha	88
Figura 50 - Região 05 – Rotary	89
Figura 51 a - Entrada da galeria sob a Avenida Rotary e b - Afluente canalizado	89
Figura 52 a - Região suscetível a alagamentos e b - Níveis atingidos pelo alagamento	90
Figura 53 a - Marca de alagamento nas residências b - Circulação de pessoas pela calha	91
Figura 54 - Galeria existente	91
Figura 55 - Região 06 – Estrondo	92
Figura 56 - Presença de residências na calha	92

Figura 57 - Residência junto à margem	93
Figura 58 - Marca do nível atingido pelo alagamento	93
Figura 59 a - Pontes metálicas sobre a calha do Riacho e b - Acúmulo de resíduos na estrutura da ponte	94
Figura 60 - Coletoras de lixo situadas no campo de futebol	94
Figura 61 - Criação de animais na calha do Riacho Reginaldo	95
Figura 62 - Região 07 - Pinheiro	96
Figura 63 - Exemplo de ocupação da região	96
Figura 64 - Região constantemente alagada	97
Figura 65 a - Construção de escada que funciona como batente e b - Residência com a presença de batente	97
Figura 66 - Prédio comercial com piso elevado	98
Figura 67 - Lagoa do CEAGB	98
Figura 68 - Região 08 – Piabas	99
Figura 69 - Exemplo de ocupação na região	99
Figura 70 - Construções sobre a calha	100
Figura 71 - Construções próximas da calha	100
Figura 72 a - Galeria existente e b - Presença de batentes	101
Figura 73 - Presença de batentes	101
Figura 74 - Lançamento de esgotos diretamente na calha	102
Figura 75 - Região 09 – Moenda	102

Figura 76 - Exemplo da ocupação da região	<b>103</b>
Figura 77 a - Presença de muretas nas residências e b - Ponte existente	<b>103</b>
Figura 78 - Deslocamento através da calha	<b>104</b>
Figura 79 - Região 10 – Poço	<b>105</b>
Figura 80 a - Exemplo de ocupação da região e b - Ocupação das encostas	<b>105</b>
Figura 81 a - Trecho canalizado do Riacho Reginaldo e b - Trecho canalizado do Riacho Reginaldo e ponte existente	<b>106</b>
Figura 82 - Construção sobre a entrada de escoamento na calha	<b>106</b>
Figura 83 a - Coleta de lixo e b - Presença de sofás na calha	<b>107</b>
Figura 84 a - Resíduos sólidos e sedimentos na calha e b - Extração de areia da calha	<b>107</b>
Figura 85 a - Presença de escoamento mesmo sem chuva e b - Presença de ligações de esgoto na calha	<b>107</b>
Figura 86 a - Presença de poço de consumo de água e b - Presença de crianças em contato com a água	<b>108</b>
Figura 87 - Região 11 – Mangabeiras	<b>109</b>
Figura 88 a - Ocupação da região e b - Riacho do Sapo, totalmente canalizado	<b>109</b>
Figura 89 - Trecho do Riacho do Sapo sob via asfaltada	<b>110</b>
Figura 90 - Presença de resíduos no canal do Riacho do Sapo	<b>110</b>
Figura 91 a - Presença de grade de lixo e b - Presença de comporta	<b>111</b>
Figura 92 - Área alagada na região 01 – Santa Lúcia	<b>113</b>
Figura 93 - Área alagada na região 02 – Jd. Petrópolis	<b>114</b>
Figura 94 - Área alagada na região 04 – Ouro Preto	<b>115</b>

Figura 95 - Área alagada na região 05 – Rotary	116
Figura 96 - Área alagada na região 06 – Estrondo	117
Figura 97 - Área alagada na região 07 – Pinheiro	118
Figura 98 - Área alagada na região 08 – Piabas	119
Figura 99 - Área alagada na região 09 – Moenda	120
Figura 100 - Área alagada na região 10 – Poço	122
Figura 101 - Área alagada na região 11 – Mangabeira	123
Figura 102 - Indicador consequência – Região 01 Santa Lúcia	125
Figura 103 - Indicador consequência – Região 02 Jd. Petrópolis	125
Figura 104 - Indicador consequência – Região 04 Ouro Preto	126
Figura 105 - Indicador consequência – Região 05 Rotary	126
Figura 106 - Indicador consequência – Região 06 Estrondo	126
Figura 107 - Indicador consequência – Região 07 Pinheiro	126
Figura 108 - Indicador consequência – Região 08 Piabas	127
Figura 109 - Indicador consequência – Região 09 Moenda	127
Figura 110 - Indicador consequência – Região 10 Poço	127
Figura 111 - Indicador consequência – Região 11 Mangabeira	127
Figura 112 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 01 Santa Lúcia	129
Figura 113 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 02 Jd. Petrópolis	129
Figura 114 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 04 Ouro Preto	129

Figura 115- Indicador de probabilidade de recorrência – Região 05 Rotary	<b>129</b>
Figura 116 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 06 Estrondo	<b>130</b>
Figura 117 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 07 Pinheiro	<b>130</b>
Figura 118 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 08 Piabas	<b>130</b>
Figura 119 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 09 Moenda	<b>130</b>
Figura 120 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 10 Poço	<b>131</b>
Figura 121 - Indicador de probabilidade de recorrência – Região 11 Mangabeira	<b>131</b>
Figura 122 - Mapa de densidade demográfica da bacia do Riacho Reginaldo	<b>133</b>
Figura 123 - Indicador de População Atingida – Região 01 Santa Lúcia	<b>134</b>
Figura 124 - Indicador de População Atingida – Região 02 Jd. Petrópolis	<b>134</b>
Figura 125 - Indicador de População Atingida – Região 04 Ouro Preto	<b>134</b>
Figura 126 - Indicador de População Atingida – Região 05 Rotary	<b>134</b>
Figura 127 - Indicador de População Atingida – Região 06 Estrondo	<b>135</b>
Figura 128 - Indicador de População Atingida – Região 07 Pinheiro	<b>135</b>
Figura 129 - Indicador de População Atingida – Região 08 Piabas	<b>135</b>
Figura 130 - Indicador de População Atingida – Região 09 Moenda	<b>135</b>
Figura 131 - Indicador de População Atingida – Região 10 Poço	<b>136</b>
Figura 132 - Indicador de População Atingida – Região 11 Mangabeira	<b>136</b>
Figura 133 - Mapeamento da vazão específica de pico para cada uma das sub-bacias do Riacho Reginaldo	<b>137</b>
Figura 134 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 01 Santa Lúcia	<b>138</b>

Figura 135 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial– Região 02 Jd. Petrópolis	<b>138</b>
Figura 136 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 04 Ouro Preto	<b>138</b>
Figura 137 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 05 Rotary	<b>138</b>
Figura 138 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 06 Estrondo	<b>139</b>
Figura 139 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 07 Pinheiro	<b>139</b>
Figura 140 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 08 Piabas	<b>139</b>
Figura 141 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 09 Moenda	<b>139</b>
Figura 142 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 10 Poço	<b>140</b>
Figura 143 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 11 Mangabeira	<b>140</b>
Figura 144 - Índice de Risco de Alagamento – Região 01 Santa Lúcia	<b>141</b>
Figura 145 - Índice de Risco – Região 02 Jardim Petrópolis	<b>142</b>
Figura 146 - Índice de Risco – Região 04 Ouro Preto	<b>143</b>
Figura 147 - Índice de Risco – Região 05 Rotary	<b>144</b>
Figura 148 - Índice de Risco – Região 06 Estrondo	<b>145</b>
Figura 149 - Índice de Risco – Região 07 Pinheiro	<b>146</b>
Figura 150 - Índice de Risco – Região 08 Piabas	<b>147</b>
Figura 151 - Índice de Risco – Região 09 Moenda	<b>148</b>
Figura 152 - Índice de Risco – Região 10 Poço	<b>149</b>
Figura 153 - Índice de Risco – Região 11 Mangabeira	<b>150</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>Av.</b>	Avenida
<b>BMPs</b>	Best Management Practices
<b>CEAGB</b>	Complexo Educacional Antônio Gomes de Barros
<b>CN</b>	Curve Number
<b>COMDEC</b>	Coordenadoria de Defesa Civil
<b>EESC-USP</b>	Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
<b>Gr.</b>	Grota
<b>Jd.</b>	Jardim
<b>LID</b>	Low-Impact Development
<b>MNT</b>	Modelo Numérico do Terreno
<b>PMRR</b>	Plano Municipal de Redução de Risco – Maceió/AL
<b>Qpe</b>	Vazão de pico específica
<b>Qpico</b>	Vazão de pico
<b>R.</b>	Rua
<b>SIG</b>	Sistema de Informações Geográficas
<b>SMCCU</b>	Superintendência Municipal de Controle do Convívio Urbano
<b>SMCIE</b>	Secretaria Municipal de Construção da Infra-Estrutura do Município de Maceió
<b>SOMURB</b>	Superintendência Municipal de Obras e Urbanização de Maceió
<b>UFAL</b>	Universidade Federal de Alagoas
<b>UFMG</b>	Universidade Federal de Minas Gerais
<b>WSUD</b>	Water Sensitive Urban Design

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Gestão das Águas Pluviais Urbanas</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Caracterização de Bacias Urbanas</b>	<b>24</b>
2.2.1	Caracterização Ambiental de Bacias Urbanas	25
2.2.2	Caracterização dos Alagamentos em Bacias Urbanas	27
<b>2.3</b>	<b>Conceito de Risco Aplicado a Alagamentos</b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Indicadores e Índices</b>	<b>31</b>
<b>2.5</b>	<b>Zoneamento de Áreas de Risco e Elaboração de SIGS</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>A Bacia Hidrográfica Do Riacho Reginaldo</b>	<b>40</b>
3.1.1	Características Fisiográficas	46
3.1.2	Uso e Ocupação do Solo	48
3.1.3	Qualidade Físico-química e Microbiológica	52
3.1.4	Gestão Municipal de Riscos	53
3.1.5	O Modelo Numérico do Terreno	55
3.1.6	Caracterização Ambiental e de Áreas de Alagamentos	57
3.1.7	Delimitação das Áreas Alagadas	62
<b>3.2</b>	<b>Composição e Mapeamento do Índice de Risco de Alagamento Aplicado à Bacia do Riacho Reginaldo</b>	<b>64</b>
3.2.1	Indicador das Consequências	67
3.2.2	Indicador de Probabilidade de Ocorrência	69
3.2.3	Indicador de População Atingida	71
3.2.4	Indicador de Geração de Escoamento Superficial	74
3.2.5	Mapeamento do Índice de Risco de Alagamento	76
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>77</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização Ambiental da Bacia do Riacho Reginaldo</b>	<b>77</b>
4.1.1	REGIÃO 01 – Santa Lúcia	79
4.1.2	REGIÃO 02 – Jardim Petrópolis	82
4.1.3	REGIÃO 04 – Ouro Preto	85
4.1.4	REGIÃO 05 – Rotary	88
4.1.5	REGIÃO 06 – Estrondo	91

	16
4.1.6 REGIÃO 07 – Pinheiro	95
4.1.7 REGIÃO 08 – Piabas	99
4.1.8 REGIÃO 09 – Moenda	102
4.1.9 REGIÃO 10 – Poço	104
4.1.10 REGIÃO 11 – Mangabeiras	108
<b>4.2 Áreas de Alagamento</b>	<b>111</b>
<b>4.3 Mapas dos Indicadores</b>	<b>124</b>
4.3.1 Indicador de Consequência	124
4.3.2 Indicador de Probabilidade de Ocorrência	128
4.3.3 Indicador de População Atingida	131
4.3.4 Indicador de Geração de Escoamento Superficial	136
<b>4.4 Mapa do Índice de Risco de Alagamento</b>	<b>140</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>152</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>155</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>160</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população nas cidades brasileiras não foi acompanhado pelo desenvolvimento de infra-estrutura adequada. Tucci (2002) destaca que nas periferias essa questão ocorre de forma mais evidente, com crescimento mais rápido e infra-estrutura mais deficiente, sendo que, justamente nessas regiões, o Poder Público encontra maiores dificuldades de ação. A situação piora quando os locais carentes estão situados em bacias hidrográficas como as do rio Jacarecica (estudada por PEPLAU, 2005) e do Riacho Reginaldo (que vem sendo objeto de estudos em vários trabalhos, como os de PEPLAU et al. (2006); SENA et al., 2006; PEPLAU e CABRAL, 2007; NEVES et al., 2007; COELHO, 2008; PEDROSA, 2008; SILVA JR., 2009; PIMENTEL, 2009; LUNA, 2009; PEDROSA, 2009, entre outros), ambos na cidade de Maceió/AL, cujo trecho médio corresponde a um vale encaixado e intensamente ocupado.

Esta situação ocasiona problemas nos sistemas urbanos e o sistema de drenagem é um dos mais atingidos, em função de interagir de forma intensa com outros elementos da infra-estrutura urbana, como os sistemas de transporte, de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de resíduos sólidos, de habitação, entre outros. Os elementos do sistema de drenagem, inegavelmente, fazem parte da paisagem urbana e o seu mau-funcionamento causa grandes transtornos e prejuízos para a sociedade.

Assim, aumentam as demandas por ações que solucionem os transtornos causados e que previnam as comunidades dos mesmos. Estas ações tradicionalmente são caracterizadas por canalização e retificação de riachos que, em curto prazo, resolvem o problema, mas a médio e em longo prazo não, conforme destacam Tucci e Genz (1995) e Souza (2002). Para a adequada resolução de tais problemas, o foco das ações de drenagem altera-se de forma significativa, passando das soluções tradicionais (com base na eficiência hidráulica) para soluções que compensam os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (BAPTISTA et al., 2005) e, mais recentemente, são apresentadas propostas de urbanização de baixo impacto, como estudado por Souza (2005).

Como medidas compensatórias da urbanização, Tucci e Genz (1995) e Cruz et al. (1998) estudaram o comportamento de reservatórios para controlar vazões de pico podendo ser implantados no lote, loteamento e na macrodrenagem. Estudos mais específicos mostraram eficiência na aplicação de soluções compensatórias em lotes, desde que seja dada a manutenção correta das estruturas, conforme mostraram Araújo et al. (2000), Agra (2001), Souza (2002), Acioli (2005) e Ohnuma Jr. (2008). A influência destas ações na

macrodrenagem também foi estudada em Tassi (2002). Estudos de planos diretores, como o de Porto Alegre-RS, mostraram também que a combinação de técnicas tradicionais com técnicas compensatórias é bastante eficiente (ALLASIA et al., 2003).

Nas últimas décadas, outras formas de abordagem do urbanismo, com foco nas questões do ciclo hidrológico em geral e da drenagem urbana em particular, têm ganhado importância nas pesquisas sobre o tema, sobretudo na França, Estados Unidos, Austrália e Japão. Dentro do escopo das técnicas compensatórias, inicialmente surgiram as Best Management Practices (BMP's), seguidas, mais recentemente, pelo Low-Impact Development (LID) e Water Sensitive Urban Design (WSUD). No Brasil, alguns estudos já vêm sendo desenvolvidos e indicam a eficiência de aplicabilidade destas técnicas em trabalhos como Souza (2002), Souza (2005), Acioli (2005) e Holz e Tassi (2007). Entretanto, ainda há uma grande inércia para a implementação de tais abordagens, seja pela falta de capacitação técnica, seja pelo alto grau de degradação das bacias urbanas brasileiras ou ainda pelo alto grau de impermeabilização do solo, não dispondo das áreas necessárias para a implantação destas técnicas.

Observa-se que, para que tais estruturas possam ser implementadas é necessário o conhecimento das características da bacia associadas aos eventos extremos (que acarretam inundações), além do seu diagnóstico sócio-ambiental, que para a bacia do Riacho Reginaldo foi parcialmente avaliado em Pimentel (2009), para que assim as medidas a serem utilizadas, sejam elas estruturais ou não estruturais, sejam as mais adequadas à realidade da bacia. Com base nessas considerações, o presente trabalho busca caracterizar o nível de risco aos alagamentos que estão sujeitas as diversas regiões da bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo.

Os estudos na bacia do Riacho Reginaldo foram iniciados a partir do projeto "Casadinho UFAL-UFMG-EESC/USP", financiado pelo CNPq através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro 14/2005, cujo título é: "Definição de critérios para elaboração de plano de gestão ambiental integrada de bacias urbanas: Estudo de caso - Bacia do riacho Reginaldo". O projeto Casadinho, onde o presente estudo encontra-se inserido, buscou estudar a bacia no que se refere aos aspectos da qualidade da água e de geração de escoamento superficial, utilizando informações de uma rede de monitoramento quali-quantitativo, instalada especificamente para este fim. A necessidade de instalação da rede de monitoramento se torna evidente em função da carência de informações acerca dos aspectos ligados a drenagem urbana.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é construir e mapear o índice de risco associado à alagamentos para a bacia do Riacho Reginaldo, em Maceió/AL. Para atingir o objetivo geral, será necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as regiões sujeitas a alagamento na bacia do Riacho Reginaldo;
- Caracterizar os pontos identificados em relação às características dos alagamentos: magnitude, frequência, causas e impactos;
- Elaborar o Índice de Risco de Alagamento da bacia do Riacho Reginaldo, com base em indicadores que caracterizem os pontos de alagamentos;
- Mapear os pontos de alagamentos em relação aos indicadores e ao Índice de Risco de Alagamentos.

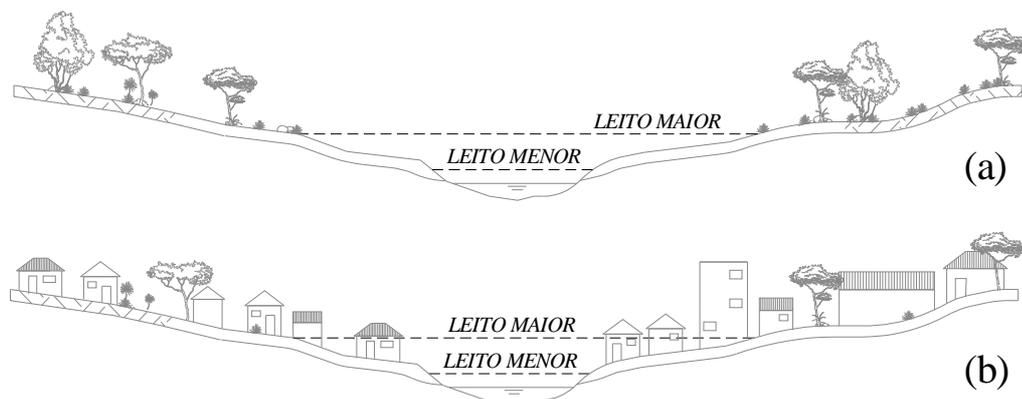
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Tucci et al. (1995), o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas resultantes de dois processos que ocorrem isoladamente ou combinados:

- **Inundações de áreas ribeirinhas:** são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios, derivadas das variabilidades temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;
- **Inundações resultantes da urbanização:** são inundações que ocorrem na drenagem urbana por conta do efeito da impermeabilização do solo, da canalização do escoamento ou da obstrução ao escoamento.

Os rios geralmente possuem dois leitos: o leito maior e o menor. O leito menor é onde a água esco a maior parte do tempo, porém quando ocorrem eventos extremos o rio ocupa o leito maior. Este processo é natural (Figura 1. a), mas, quando a população ocupa o leito maior do rio (que são áreas de risco), as inundações tornam-se mais frequentes e de maior magnitude (Figura 1. b). Uma vez que este trabalho terá foco maior nas relações entre a urbanização e a drenagem, as inundações ribeirinhas não serão abordadas de forma detalhada.

Figura 1- Representação dos leitos maior e menor antes (a) e após a urbanização (b)



Fonte: Adaptado de Brasil, 2007

As inundações resultantes da urbanização são consequências, principalmente, das mudanças de uso e ocupação do solo. O solo passa a ter revestido uma grande parte de sua superfície, modificando o ciclo hidrológico urbano. A porcentagem da água que infiltra é reduzida, uma vez que as novas superfícies são impermeáveis ou quase impermeáveis; os pontos de detenção superficial são eliminados nas áreas construídas; a rugosidade das

superfícies é reduzida; os pequenos canais da drenagem natural são substituídos por tubulações subterrâneas ou retificados e revestidos (GENZ, 1994 apud TASSI, 2002).

De acordo com Tucci (2002) podem ser citadas as seguintes alterações no regime hidrológico resultantes do processo de urbanização:

- a) Aumento das vazões máximas, resultante do aumento do escoamento superficial promovido pela impermeabilização das superfícies e, pela redução do tempo de concentração na bacia (gerada pela mudança da cobertura do solo e da retificação dos cursos d'água);
- b) Aumento da produção de sedimentos, resultante da falta de proteção das superfícies durante a realização de novas obras, que necessita do desmatamento de grandes áreas para a construção de empreendimentos que atendam a expansão urbana;
- c) Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea (contaminação de aquíferos) devido à lavagem das ruas e as ligações clandestinas de esgoto cloacal;
- d) Disposição de resíduos sólidos na rede de drenagem, devida a falta do serviço de coleta em algumas localidades.

Conforme Tucci et al. (1995), as inundações devidas à urbanização ainda podem ser localizadas, e são provocadas por:

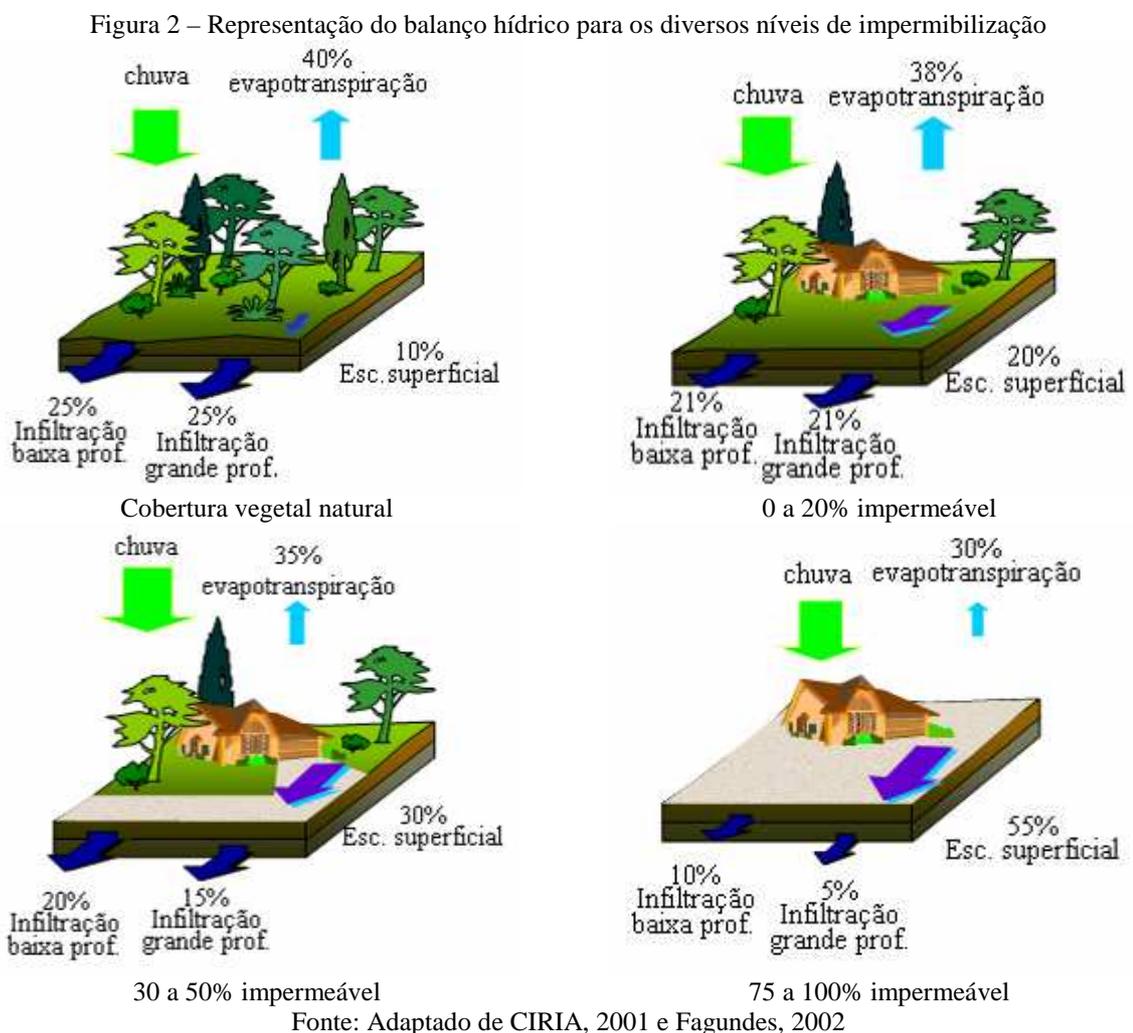
- a) Erros de execução e projeto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros. Normalmente, estes problemas disseminam-se nas áreas urbanas, à medida que existe pouco controle sobre as diferentes entidades que atuam na infra-estrutura urbana. Adutoras, pontes ou rodovias são, frequentemente, projetadas sem considerar seu impacto sobre a drenagem;
- b) Estrangulamentos da seção do rio devido a aterros e pilares de pontes, estradas, aterros para aproveitamento de área, assoreamento do leito do rio e lixo;
- c) Remanso devido à macrodrenagem, rio principal, lago, reservatório ou oceano.

O correto tratamento das questões relativas às inundações urbanas passa pela compreensão dos processos hidrológicos urbanos e suas relações com a infra-estrutura das cidades. Recentemente a Lei 11.445 (BRASIL, 2007), conhecida como Lei do Saneamento, uniu a questão das águas pluviais ao saneamento básico, estabelecendo uma nova forma de abordagem no que se refere ao planejamento e gestão das águas pluviais urbanas.

## 2.1 Gestão das Águas Pluviais Urbanas

Os alagamentos em bacias urbanas se devem, principalmente, ao excessivo parcelamento do solo e a consequente impermeabilização das grandes superfícies, a ocupação das áreas ribeirinhas (várzeas, áreas de inundação frequente e zonas alagadiças), as obras de drenagem inadequadas e a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos, conforme destaca Pompêo (2000).

Em termos de balanço hídrico, a urbanização promove o aumento do volume do escoamento superficial, a redução da evapotranspiração e da recarga natural dos aquíferos. O balanço hídrico, antes e depois da urbanização, é apresentado na Figura 2.



Considerando os aspectos anteriormente destacados a urbanização produz alterações no hidrograma de cheia. A impermeabilização do solo reduz a infiltração aumentando assim o volume escoado superficialmente, além de promover o escoamento através de sarjetas e canais, onde a velocidade torna-se maior devido à diminuição da rugosidade em relação à superfície natural. O resultado destes fatores é uma cheia com volumes maiores chegando

mais rápido à seção principal. Estima-se que a vazão de pico de uma região urbanizada pode chegar a quase sete vezes a vazão natural (LEOPOLD, 1968 apud TUCCI, 2004).

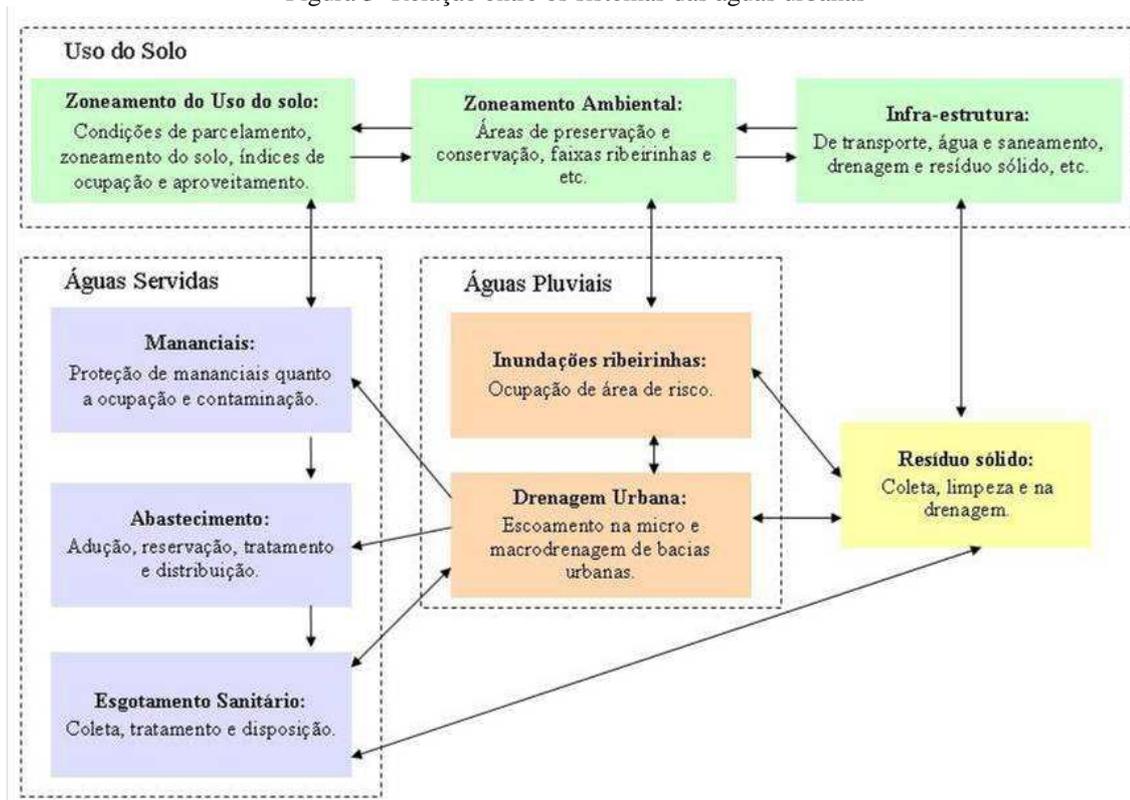
É possível concluir que o desenvolvimento urbano das últimas décadas tornou visível inúmeros problemas ligados às águas urbanas: as constantes inundações de áreas densamente ocupadas, a contaminação de córregos urbanos, as epidemias de doenças de veiculação hídrica são apenas alguns dos impactos ocorridos devido à mudança no estilo de vida da população. Uma vez que a questão da drenagem e manejo de águas pluviais em áreas urbanas integra outros elementos da infra-estrutura das cidades, os problemas de engenharia, antes tratados de forma independente (sistema viário, disposição de resíduos sólidos, redes de esgoto, entre outros), passaram a ser pensados de forma integrada. Entretanto no Brasil, a prática desta “gestão integrada” ainda é muito deficiente, conforme destacam Tucci (2002), Pompêo (2000) e Brasil (2006).

Para uma avaliação integrada das questões relacionadas com as águas urbanas é necessário que seja considerado um conjunto de aspectos destacados por Ono et al. (2005): o excesso de escoamento superficial, a degradação do solo em função do seu uso intenso e impróprio, a poluição difusa da água e o déficit de obras de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem pluvial).

Brasil (2006) destaca que a gestão integrada é uma condição necessária para que os resultados atendam as condições do desenvolvimento sustentável urbano. Este desenvolvimento sustentável passa por uma drenagem baseada na recuperação do ciclo hidrológico, em suas relações originais ou mais próximo delas, buscando aumentar a infiltração da água no solo e a ocupação do espaço, preservando os caminhos naturais do escoamento, minimizando assim a necessidade de estruturas (TUCCI E MELLER, 2008).

Para desenvolver a gestão integrada das águas pluviais urbanas é necessário conhecer, não apenas os aspectos relevantes para a sua gestão, mas também as relações entre os mesmos, conforme apresentado na Figura 3. Deve-se observar que é indispensável o levantamento de dados da bacia no que diz respeito ao tipo de solo, áreas de preservação e conservação, faixas ribeirinhas, infra-estrutura urbana (de transporte e saneamento básico), as zonas de inundação, entre outros.

Figura 3- Relação entre os sistemas das águas urbanas



Fonte Adaptado de BRASIL, 2006

## 2.2 Caracterização de Bacias Urbanas

A caracterização e o monitoramento de bacias urbanas são etapas primordiais para que sejam conhecidas as interações entre os diversos processos que ocorrem na bacia. Esta etapa é de extrema importância para a aplicação de instrumentos de gestão da drenagem urbana, na instalação de medidas de controle do escoamento, para a calibração dos parâmetros dos modelos hidráulicos e hidrológicos, entre outros. As bacias urbanas ou parcialmente urbanas, devido à heterogeneidade de suas características, necessitam de um alto grau de detalhamento, bem como o seu monitoramento pluvial e fluvial. Tais características foram destacadas por Meller (2004) e Garcia (2005), em estudos realizados nas bacias do Alto da Colina e do Arroio Cancela, respectivamente; e em Bastos (2007) para as bacias do Alto da Colina e do Sítio do Tio Pedro, todas localizadas no município de Santa Maria/RS.

A caracterização de bacias urbanas pode ser realizada através de vários aspectos, podendo ser citadas suas características físicas, sócioambientais, de infraestrutura, uso e ocupação do solo, sistema viário, entre outros. No presente estudo são destacadas as características relacionadas aos aspectos ambientais e de alagamentos, visto que as mesmas são as mais representativas considerando o objetivo do presente trabalho.

O levantamento das informações acerca da bacia hidrográfica pode ser realizado de diversas formas, podendo ser destacadas as entrevistas à população ribeirinha, levantamento através de notícias de jornais, imagens de satélite, fotografias aéreas, visitas em campo, medições de vazão, entre outras. A escolha dentre as diversas fontes depende do tipo e precisão da informação necessária ao estudo e, da sua disponibilidade.

### 2.2.1 Caracterização Ambiental de Bacias Urbanas

Os fatores de degradação dos cursos d'água estão relacionados aos processos hidrológicos no meio urbano. Desta forma, o estudo destes fatores engloba a observação de alterações no sistema natural dos rios, tais como, relação chuva-vazão com respeito aos diferentes padrões de uso do solo; poluição difusa de origem pluvial e seus impactos sobre os meios receptores; poluição das águas por esgotos sanitários; presença de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem pluvial e corpos hídricos (NASCIMENTO & HELLER, 2005)

Brasil (2006) enfatiza que o desenvolvimento urbano introduz vários elementos antrópicos na bacia hidrográfica, causando impactos ambientais no ecossistema aquático. O autor destaca os seguintes aspectos relevantes:

- Aumento da temperatura, devido às superfícies impermeáveis que absorvem parte da energia solar, aumentando a temperatura ambiente e conseqüentemente produzindo ilhas de calor na parte central dos centros urbanos.
- Aumento de sedimentos e de material sólido, ocorrido devido às novas construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias das quais depende o crescimento urbano e que, produzem grande quantidade de sedimento. O efeito da erosão, que ocorre devido às superfícies urbanas encontrarem-se desprotegidas, pode atingir grandes áreas. O aumento da quantidade de sedimentos promove o assoreamento das seções de drenagem com a redução da capacidade de escoamento de condutos e cursos de água urbanos.
- Obstrução ao escoamento, que ocorre devido à necessidade da urbanização em construir aterros e pontes, que tendem a ocupar o espaço da drenagem. Além da produção de resíduos sólidos, que cresce junto com a urbanização e que, quando disposta junto à rede de drenagem propicia a redução da capacidade de escoamento, efeito que também pode ser promovido pela manutenção inadequada da rede de drenagem ou até mesmo projetos inadequados ou defasados em relação às condições reais da bacia que se encontram em constantes mudanças.

- Ocupações em áreas de encostas são um dos principais fatores de risco para a população, pois é a principal causa de morte durante o período chuvoso devido ao escorregamento de terra das mesmas, em consequência da falta de sustentação e da infiltração de água no solo.
- Qualidade da água pluvial também é uma característica relevante, sendo que os principais poluentes encontrados no escoamento superficial urbanos são: sedimentos, nutrientes, substâncias que consomem oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos. A qualidade da água pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e de sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana, sendo os principais indicadores da qualidade das águas urbanas os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais.
- Contaminação dos aquíferos que podem ser, principalmente, devido a aterros sanitários, fossas sépticas e a própria rede de condutos pluviais que pode contaminar o solo por infiltração, e conseqüentemente o aquífero.

Considerando os impactos anteriormente expostos, na Tabela 1 são destacados alguns fatores de degradação da zona de proteção legal dos cursos d'água que, segundo Costa (2008) podem ser agrupados porque, simultaneamente, são causa e consequência. Por exemplo, na degradação ou remoção da mata ciliar incluem-se os fatores erosão, assoreamento e obstruções ao escoamento, pois ao mesmo tempo em que são causas da degradação dos cursos d'água, são consequências de remoção da vegetação. Assim sendo, são agrupados cinco principais fatores de degradação ambiental que são: degradação ou remoção da mata ciliar; lançamento de efluentes e resíduos sólidos no leito e na zona de proteção do curso d'água; retificação da seção transversal do curso d'água, corte de meandros e canalizações; construções de pontes e travessias e ocupação urbana na zona de proteção legal do curso d'água.

Tabela 1: Fatores de degradação ambiental de bacias urbanas e suas consequências

<b>FATORES DE DEGRADAÇÃO</b>	<b>CONSEQUÊNCIAS (MEIO FÍSICO, BIÓTICO E ANTRÓPICO)</b>
Degradação e/ou remoção da mata ciliar	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Instabilidade das margens causando erosão e assoreamento</li> <li>•Aumento das inundações</li> <li>•Alteração e desequilíbrios climáticos</li> <li>•Diminuição da biodiversidade da região (fauna e flora)</li> </ul>
Erosão das margens	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fenômenos de sedimentação e assoreamento preenchendo o volume original dos cursos d'água, contribuindo assim para a ocorrência de enchentes</li> <li>•Morte da fauna e da flora no fundo dos rios e lagos por soterramento</li> <li>•Turbidez das águas dificultando a ação da luz solar na realização da fotossíntese, importante para a purificação e oxigenação das águas</li> <li>•Deslocamentos repentinos de grandes massas de terra e rochas que desabam talude abaixo podem causar grandes tragédias</li> </ul>
Assoreamento da seção transversal	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diminuição da capacidade de escoamento dos condutos, rios e lagos urbanos</li> </ul>
Obstrução ao escoamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reduz a capacidade de escoamento</li> <li>•A obstrução é causada por construções deixa pouco espaço para a drenagem trazendo riscos para a própria habitação</li> <li>•A obstrução por aumento de sedimentos e lixo além de contribuir para o mau funcionamento do sistema de drenagem piora as condições ambientais</li> </ul>
Retificação da seção transversal, corte de meandros e canalizações	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Destruição dos ecossistemas e eliminação das áreas naturais de inundação</li> <li>•Aumento da erosão</li> <li>•Aumento do risco de extravasamento das calhas dos rios em consequência da diminuição da retenção natural</li> <li>•Aumento da vazão de pico e da velocidade do escoamento</li> <li>•Degradação do ecossistema fluvial</li> <li>•Aumento do risco de inundações a jusante</li> </ul>
Pontes (avaliar em que estado encontra-se a seção transversal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Geralmente são construídas sem a utilização de critérios de projeto compatíveis com a necessidade de escoamento das enchentes mais frequentes, podendo representar uma ameaça no momento de ocorrência de tais enchentes</li> </ul>
Presença de sedimentos e material sólido	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diminuição da qualidade estética e paisagística</li> <li>•Perda ou diminuição dos habitats naturais (terrestres ou aquáticos)</li> <li>•Contaminação das águas pluviais devido ao transporte de poluentes agregado ao sedimento</li> </ul>
Lançamento de efluentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Crescimento excessivo de algas</li> <li>•Maus odores</li> <li>•Depósito de lodo</li> </ul>
Edificação pública nas margens	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Impermeabilização do solo e consequente aumento na frequência de inundações</li> <li>•Aumento da poluição devido ao esgoto sanitário e o lixo gerado pelos moradores</li> </ul>
Edificações privadas nas margens	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Degradação das margens (erosão e sedimentação)</li> <li>•Diminuição da seção transversal</li> </ul>

Fonte: Costa, 2008

### 2.2.2 Caracterização dos Alagamentos em Bacias Urbanas

Considerando que o objetivo do presente estudo é a elaboração de um Índice de Risco associado a alagamentos para a bacia do Riacho Reginaldo, a caracterização dos alagamentos fornece subsídios para a confecção do mesmo. Existem várias metodologias para caracterizar os alagamentos como, por exemplo, o levantamento de notícias de jornal utilizado por Mendes e Mendiondo (2007), a utilização de simulação e modelagem utilizada por Ferraz et al. (1998), Barros et al. (2007) e Meller (2004) ou ainda através de informações obtidas dos

moradores da região atingida pelos alagamentos, como em Machado et al. (2005) e Giuntoli (2008).

Alguns trabalhos utilizam o levantamento de notícias históricas de jornal, como um meio de resgatar informações sobre as inundações ocorridas em bacias urbanas sem dados históricos. Mendes e Mendiondo (2007) avaliaram a relação entre a expansão urbana e o histórico de ocorrência de inundações e alagamentos para a bacia do Gregório (São Carlos/SP), através de notícias de jornais, para o período de 1940 a 2004. Esses autores destacaram que os dados sobre duração dos eventos e tempo de permanência das inundações ou alagamentos não costumam ser abordados com frequência nos jornais, ou são abordados de maneira pouco precisa. Os dados sobre níveis máximos atingidos são abordados com frequência maior, porém ainda com frequência inferior a desejada. O autor reforça, portanto, a necessidade do monitoramento hidrológico da bacia para a obtenção destes parâmetros.

A aplicação de modelos matemáticos aliados às características físicas das bacias também permite estudos relativos a alagamentos e inundações. Ferraz et al. (1998) destacam que para determinar a ocorrência, amplitude, frequência e duração dos transbordamentos nas inundações é necessário conhecer o tamanho e a topografia da planície, a rede de drenagem, bem como as descargas no canal principal suficientes para a inundação de cada cota altimétrica. Com estas informações, é possível estabelecer uma relação matemática entre a vazão observada no rio e a área inundada a cada transbordamento. Essa relação, formalizada em uma equação de inundação permitiu calcular a vazão do rio Piracicaba necessária para a água atingir uma altitude qualquer na bacia, sua respectiva área alagada, bem como a avaliação do período de recorrência de cada uma dessas vazões.

De posse das informações anteriormente expostas foi possível a confecção de um MDV (Modelo Digital de Vazões), onde às vazões obtidas para os períodos de recorrência, arbitrados no modelo, possibilitou a obtenção de uma imagem com a área inundada para cada um dos períodos de recorrência. A partir deste estudo realizado por Ferraz et al. (1998) foi possível constatar que a área inundada não é diretamente proporcional a altitude atingida pela água, no caso específico da área urbana do município de Piracicaba.

De maneira semelhante, Barros et al. (2007) avaliaram as áreas inundáveis na bacia do Córrego Gregório em São Carlos/SP, através da pluralidade de modelagens, sendo comparados os resultados das vazões oriundos de um modelo concentrado (IPHS-1) e um modelo distribuído (HIDRORAS). Foi possível concluir que o modelo IPHS1 forneceu resultados bastante satisfatórios para a delimitação das áreas inundáveis. Entretanto, as alterações nos padrões de fluxo de escoamento devido às vias urbanas são mais bem

representadas pelo modelo distribuído HIDRORAS, sendo este considerado o mais representativo para a bacia avaliada.

Além das metodologias anteriormente expostas a caracterização das inundações e alagamentos pode ser realizada junto aos próprios moradores da bacia, visto que os mesmos são as pessoas diretamente afetadas por estes eventos. Machado et. al, 2005 utilizaram informações obtidas junto aos moradores da cidade de Itajubá (MG), tais como classe social, características da habitação e de seu conteúdo e os danos causados pela inundação para a confecção de curvas padronizadas de danos de inundação versus profundidade de submersão.

Da mesma forma em Giuntoli (2008) a percepção da população ao risco de inundação e alagamento foi avaliada através de um roteiro de entrevistas com questões fechadas aplicadas em sub-bacias urbanas da cidade de São Carlos. Tais questões eram respondidas através de parâmetros que caracterizavam uma escala de avaliação com 5 graus de percepção de risco (muito alta, alta, média, baixa e nenhuma). A

Tabela 2 apresenta os questionamentos realizados no referido estudo.

Tabela 2: Questionamentos para a avaliação de percepção ao risco em sub-bacias urbanas de São Carlos

A chance de uma enchente atingir sua casa (ou comércio) nos próximos 5 anos é?
Qual a proximidade da sua casa (ou comércio) com as áreas que alagam frequentemente?
Com que frequência o senhor se preocupa com as enchentes ou alagamentos em épocas de chuva?
Qual seu grau de informação sobre a ocorrência de enchentes?
O senhor já foi atingido por uma enchente?
OBS: Além de informações como sexo, idade, dificuldades físicas, endereço da residência ou comércio.

Fonte: Giuntoli, 2008

### 2.3 Conceito de Risco Aplicado a Alagamentos

Risco é a combinação da chance de um evento em particular ocorrer, com o impacto que este evento causaria se acontecesse. Portanto, o risco possui duas componentes, a chance (ou probabilidade) de um evento ocorrer e o impacto (ou consequência) associado ao evento (GOULDBY e SAMUELS, 2005).

Bragagnolo et. al. (2008) destacam que diagnosticar os riscos físicos, químicos, biológicos e ambientais ao qual a população de um local delimitado está exposta, tem como objetivo principal estabelecer medidas preventivas aos possíveis danos ao homem, ao meio ambiente e aos materiais visando minimizar prejuízos econômicos e sociais, que eventos adversos como desastres naturais e tecnológicos podem acarretar.

A adequada análise da população frente ao risco torna-se uma importante ferramenta de gestão, pois, fornece importantes subsídios tanto na escolha das medidas mitigadoras destes riscos quanto na escolha das regiões a serem priorizadas. Especificamente em relação a riscos de inundação Treby et al. (2006) destacam que o risco de inundação pode ser estimado tanto em termos quantitativos como também por meio de investigações qualitativas. Ou seja, além das características físicas envolvidas, como frequência e magnitude, também podem ser avaliadas características como a capacidade de adaptação e gerenciamento dessas inundações.

O risco de inundações e alagamentos, geralmente, é avaliado segundo três aspectos: ameaça, vulnerabilidade e exposição ao risco. A relação entre eles pode ser analisada através do triângulo de risco, proposto por Crichton et al. (1997, apud Giuntoli, 2008). Tal triângulo (Figura 04) exemplifica a dependência entre estes aspectos, destacando que ao aumentar ou diminuir um elemento os demais também serão alterados, variando assim a área do triângulo e consequentemente o risco.

Figura 4 - Triângulo de Risco



Fonte: Adaptado de Crichton et al. (1997, apud Giuntoli, 2008)

Conforme Giuntoli (2008) a redução do triângulo de risco pode ser atingida pelo uso de medidas estruturais e não estruturais. Medidas estruturais compreendem as obras de engenharia como, por exemplo, a construção de reservatórios (detenção/retenção) e a restauração da calha natural. As mesmas atenuam a magnitude da ocorrência, diminuindo tanto a parcela de ameaça como a de vulnerabilidade na estimativa do risco. Já medidas não estruturais, como sistemas de alerta ou zoneamentos de áreas de risco de alagamentos, podem ser considerados meios de reduzir ao mesmo tempo vulnerabilidade e exposição da área.

A exposição, um dos aspectos do triângulo de risco, diz respeito à quantidade de pessoas e bens econômicos situados na área atingida pelo desastre, diferentemente da ameaça que está diretamente relacionada com o fenômeno natural que atinge a região (Andrade, 2006).

Segundo Andrade (2006) a vulnerabilidade indica quão bem preparada está a área para receber a ameaça. De maneira semelhante Turner et al. (2003) definem a vulnerabilidade como o grau ao qual o sistema está propenso a ter dano causado pela exposição à ameaça, mas

salientam como a vulnerabilidade depende também da resiliência do sistema ameaçado, ou seja, da capacidade do sistema em absorver distúrbios e em se reorganizar durante a mudança para manter as mesmas funções, estruturais e de identidade.

Acredita-se que os juízos de valor e outros fatores de ordem subjetiva norteiam a forma como as pessoas encaram o meio e, conseqüentemente, como entendem sua própria vulnerabilidade e os riscos a que estão expostos, ou seja, a sua percepção de Risco. Parte-se do pressuposto de que estar consciente dos riscos e da vulnerabilidade ambiental influencia no comportamento do indivíduo, da população e como estes irão agir frente à situação de risco (Bragagnolo et al. 2008).

Para a adequada gestão de riscos de inundação Mendiondo (2005 apud Giuntoli 2008) destaca três etapas: antes, durante e após a ocorrência do evento. Podem ser citadas, para as referidas etapas da gestão as seguintes ações:

- Antes: análise de risco, zoneamento de áreas de risco, obras de mitigação dos efeitos da inundação, políticas públicas, educação, previsão, sistemas de alerta e prevenção, entre outros;
- Durante: socorro e assistência as vítimas, evacuação, limpeza, segurança, abrigos temporários, entre outros;
- Após: etapa destinada à reconstrução/reabilitação das áreas atingidas, onde podem ser destacadas o restabelecimento de serviços essenciais, avaliação de danos, relocação das populações residentes de áreas de risco, entre outros.

## **2.4 Indicadores e Índices**

Considerando que, um indicador é uma importante ferramenta de gestão, torna-se necessário conhecer os conceitos envolvidos com o mesmo. Um indicador fornece um nível ou estado da informação que está sendo avaliada, como por exemplo, a degradação de um rio ou o número de indivíduos que contraíram uma determinada doença e pode ser entendido como um componente tangível de parte de um sistema, capaz de estimar quantitativamente sua condição (social, econômica, física) e que seja representativo do sistema completo (PRATT et al., 2004 ).

Fagundes (2002) destaca que os indicadores são uma maneira de se observar objetivamente a realidade, e que um passo importante é escolher indicadores apropriados para cada fenômeno em estudo. Portanto, para a escolha do indicador que retrata com maior fidelidade a condição real devem ser observados os seguintes atributos destacados por De Bonis (2006) e Olave (2003) (apud Zonensein, 2007):

- **Validade:** se efetivamente mede aquilo que pretende;
- **Confiabilidade:** se sua medição repetida em condições similares reproduz os mesmos resultados;
- **Clareza:** se tem significado claro para todos seus usuários;
- **Especificidade:** se mede somente o fenômeno de interesse;
- **Sensibilidade:** se consegue representar as mudanças no fenômeno de interesse;
- **Mensurabilidade:** se é baseado em dados disponíveis ou fáceis de serem obtidos;
- **Custo-benefício:** se justifica os investimentos de tempo e recursos.

Existem inúmeras maneiras de serem atribuídos indicadores para representar determinadas características a serem discretizadas, seja através da atribuição de números (níveis 1, 2, 3), de adjetivos (alto, médio, baixo) ou até mesmo de cores (risco verde, amarelo e vermelho), dependendo do tipo de informação a ser retratada.

Um exemplo da utilização de indicadores é o trabalho realizado por Costa (2008), onde foi caracterizada a degradação do curso d'água do Rio Córrego Grande (Florianópolis – SC), através da atribuição de pontuação (indicadores) variando de 0 a 3 para cada um dos trechos do curso d'água. Estes indicadores representavam os quatro níveis de impacto: inexistente, baixo, médio e alto, para parâmetros pré-estabelecidos, como remoção da mata ciliar, lançamento de efluentes, entre outros. Mesmo que, ao final tenha sido realizado o somatório dos indicadores para a determinação das áreas mais degradadas, a avaliação dos indicadores em separado permitiu a determinação da forma de degradação mais expressiva em cada trecho, permitindo assim a escolha da medida de intervenção mais adequada.

Um índice é uma forma de agregar informações associadas aos indicadores de distintas naturezas e significâncias, traduzindo-os em um único valor representativo de uma situação real. Este resultado tem por objetivo refletir o efeito conjunto do grupo de indicadores, permitindo assim comparações no tempo e no espaço (ZONSEIN, 2007). Sendo assim a construção de índices é um passo a frente na observação de indicadores, pois o índice relaciona matematicamente os indicadores em estudo (CEPAN, 1971 apud FAGUNDES 2002).

Zonensein (2007) destaca as propriedades que devem ser determinadas para a elaboração de um índice:

- **Constituição:** é o grupo de indicadores que compõe o índice;
- **Domínio:** é a esfera espacial de aplicabilidade do índice (local, regional, nacional, global);
- **Formulação:** é a expressão matemática que representa a relação entre os indicadores considerados;
- **Escala:** é definida pelos seus extremos máximo e mínimo, entre os quais estão compreendidos todos os valores que o índice pode assumir; a amplitude de uma escala é dada pela diferença entre seus valores extremos.

Como exemplo da utilização de índices pode ser citado o estudo sobre os riscos de ocupação do espaço metropolitano na cidade do Recife, onde Alheiros (1998) atribuiu uma pontuação para o risco, dentro de uma escala ascendente com valores de 01 (muito baixo) a 05 (muito alto) para três categorias relevantes ao seu estudo, relevo, geologia e ambiente.

De forma semelhante ao trabalho de Alheiros (1998), Oliveira et al. (2004) definiram o grau de risco geomorfológico da bacia do Arroio Cadena (Santa Maria/RS) como o produto do cruzamento entre o padrão urbano e a ocorrência de algum acidente na área, resultando assim 4 graus de risco variando de IV (risco baixo) a I (risco iminente). Neste trabalho o padrão urbano foi classificado em alto, médio e baixo de acordo com o somatório dos valores atribuídos a variáveis consideradas representativas. Os valores atribuídos eram 0 ou 1 de acordo com a existência ou não de variáveis como obras de contenção, rede de esgoto e pluvial e em características da malha viária e do tipo de ocupação.

Da mesma forma, Fagundes (2002) elaborou uma metodologia que permite a construção de indicadores urbanos como ferramenta de apoio ao planejamento urbano, onde foram utilizados dois indicadores: o primeiro representando densidade populacional (obtido através de dados censitários) e segundo representando as superfícies impermeáveis urbanas (obtido através de imagens de satélite). De posse destes indicadores e através do produtório destes com as características físicas da bacia, como a área acumulada e a declividade em cada pixel da imagem, foi obtido o Índice Ambiental Urbano (IAU), que permite associar os impactos decorrentes da urbanização com a drenagem da área.

Convém destacar que para a realização da análise é necessário que os dois conjuntos de dados apresentem mesmo número de classes. Ou seja, é preciso estabelecer intervalos entre os valores existentes para cada indicador, sendo que as unidades de cada conjunto de valores

não necessitam ser as mesmas. Para exemplificar, na Tabela 3 são apresentadas as 5 classes utilizadas por Fagundes (2002):

Tabela 3: Classes de indicadores do IAU

CLASSES	DENSIDADE POPULACIONAL (hab/ha)	IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO (%)
1	0 – 1	0 – 10
2	1 – 50	10 – 50
3	50 – 150	50 – 75
4	150 – 250	75 – 90
5	250 – 423	90 – 100

Fonte: Fagundes, 2002

A Análise Múltipla de Avaliação de Risco (AMAR), proposta por Braganolo et al. (2008) determina o Grau de Risco de um determinado evento adverso, através do somatório das seguintes variáveis: Gravidade do evento, Probabilidade de ocorrência, maior ou menor facilidade de detecção, vulnerabilidade do ambiente antrópico em decorrência do tipo de risco e tendência em minimizar ou intensificar os efeitos decorrentes das ações antrópicas tomadas. Cada variável analisada possui valores diferenciados que, depois de somados, compõem o grau de risco. Com base no resultado obtido pode-se classificar o grau de risco como: trivial: aquele que não necessita de ações especiais ou imediatas; tolerável: não requer ações imediatas, porém necessitam de planejamento para médio e longo prazo de ações futuras e previsão de recursos disponíveis; moderado: requer previsões e definições de curto prazo de forma a ser tomada ações corretivas; relevante: exige ações imediatas e preventivas; intolerável: exige ação imediata e interrupção da atividade.

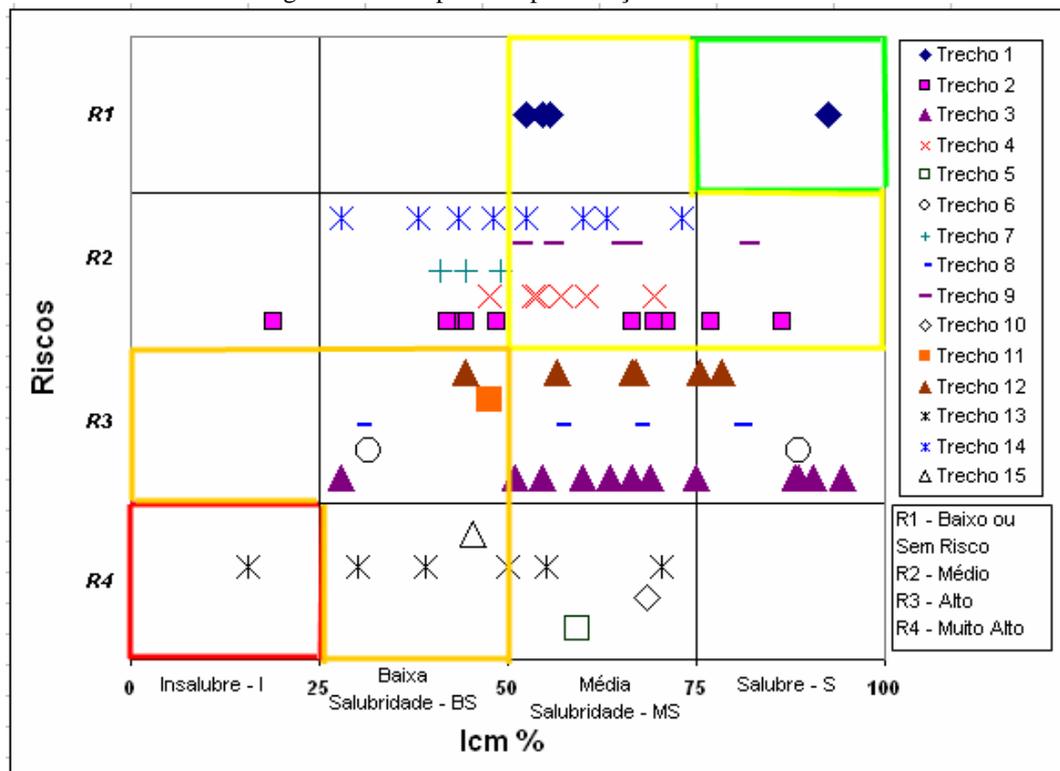
Entre as metodologias que utilizam a avaliação de riscos pode ser citada a apresentada por Nascimento et al. (2009), onde é proposta uma metodologia para otimizar ações de mitigação em três diferentes aglomerados subnormais da cidade de João Pessoa. Tal metodologia utiliza uma representação bidimensional das condições de moradia e do estado das variáveis de risco, não apenas como instrumento para a determinação das áreas mais vulneráveis, mas também para a escolha das medidas de mitigação mais adequadas (ações de melhoria habitacional ou relocação da população).

No referido trabalho o estado das variáveis de risco foi avaliado através de características geológico-geotécnicas (deslizamentos) e de natureza hidrometeorológica (inundação). Os riscos hidrometeorológicos foram avaliados através de três características: tipologias de processos hidrológicos, padrão construtivo das habitações e a distância das moradias ao eixo da drenagem. Ambas as características foram classificados em 4 graus de risco, variando de risco baixo até alto risco. Para as condições de salubridade das moradias

foram atribuídas pontuações de 0 a 100 (4 níveis de 25 pontos), para insalubre, baixa e média salubridade e salubre. Cada um dos quatro níveis das duas características foram representadas através dos eixos de um gráfico, criando, no interior do gráfico, regiões com vários níveis de exposição ao risco, permitindo a avaliação das áreas a serem priorizadas no atendimento e também, qual a melhor alternativa de mitigação. A

Figura 5 apresenta, para exemplificar, a representação bidimensional de uma das regiões avaliadas.

Figura 5 - Exemplo da representação bidimensional



Para analisar especificamente riscos de alagamento e inundação, Zonensein (2007) ressalta que a análise apresenta dificuldades devido à subjetividade da avaliação e à inexistência de uma metodologia apropriada. Nesse trabalho, é proposta uma metodologia baseada em uma análise multi-critério, representada por um índice quantitativo (Índice de Risco de Cheia – IRC). Uma vez normalizados, cada um dos fatores avaliados é operado, a partir de uma formulação relativamente simples, composta por somatórios e produtórios ponderados que permitem a comparação quantitativa entre zonas críticas e a comparação quantitativa de soluções ou cenários para uma mesma região, tornando-se uma ferramenta de suporte à decisão.

A utilização de índices e indicadores é uma importante ferramenta para a estimativa do risco de inundação. Giuntoli (2008) utilizou a expressão proposta por Mendiondo (2008 apud GIUNTOLI, 2008) a partir da qual foi possível apresentar e comparar os riscos de inundação para diferentes sub-bacias do município de São Carlos, indicando assim as mais susceptíveis a inundações. Tal expressão considera as duas fases que constituem o risco: a estimativa e o gerenciamento do risco. A primeira considera as três componentes do risco: ameaça, exposição e vulnerabilidade. A segunda considera as fases antes, durante e depois (reconstrução). A referida expressão utiliza variáveis como tempo de retorno da inundação, área total e inundável da bacia, população total e que vive na área inundável, tempo de concentração da bacia, tempo de previsão de alerta, tempo que um indivíduo (normal ou vulnerável) leva para atravessar o fundo do vale inundável em condições adversas, entre outros.

## **2.5 Zoneamento de Áreas de Risco e Elaboração de SIGS**

O zoneamento é uma divisão territorial, de acordo com as diversas vocações e finalidades de uso de uma determinada área, com o objetivo de potencializar o seu uso sem comprometer o meio ambiente, promovendo a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável (KOBAYAMA, et al., 2006 apud GIUNTOLI, 2008).

O zoneamento de áreas de risco é uma ferramenta bastante eficiente para avaliar a bacia hidrográfica, pois permite comparar a situação existente entre as várias regiões, indicando quais são as mais críticas, ou seja, as que estão mais expostas ao risco, orientando assim nas atividades de planejamento e gestão das questões relacionadas à água. Em se tratando de bacias urbanas, vários aspectos podem ser avaliados através do mapeamento de níveis de risco, como, por exemplo, risco de inundação (ZONENSEIN, 2007) e risco geomorfológico (ALHEIROS, 1998). No caso específico do município de Maceió, onde a região em estudos está inserida, cita-se, como exemplo, o Plano Municipal de Redução de Risco da Cidade de Maceió (AL) que apresenta o resultado do mapeamento de risco dos assentamentos precários do município. Neste estudo foi adotada uma hierarquização do risco em quatro níveis (baixo, médio, alto e muito alto) de acordo com as características geológicas e geotécnicas e nas condições das moradias observadas durante visitas em campo (MACEIÓ, 2007).

Kobyama et al. 2006 (apud GIUNTOLI, 2008) destacam três metodologias distintas para o mapeamento de risco:

- Empírica: após a ocorrência do fenômeno, a área atingida é verificada em trabalho de campo e considerada como área de perigo;
- Semi-empírica: além de caracterizar a área atingida como área de perigo, os fatores ambientais (topografia e solo, entre outros) também são analisados, sendo que os valores críticos de fatores que podem causar o mesmo fenômeno são determinados numericamente (peso). Com base nesses valores, as áreas que possuem características semelhantes também serão consideradas como áreas de perigo;
- Física: Com base nas leis da física são analisados os mecanismos de ocorrência de determinado fenômeno. Depois da realização de simulações numéricas ou físicas, procura-se onde, teoricamente, o fenômeno poderá ocorrer.

O zoneamento em áreas de risco, além de permitir a implantação de projetos que promovam a proteção das áreas verdes ainda existentes nas bacias urbanas, de maneira a minimizar o impacto da urbanização sobre as funções hidrológicas da bacia, também indica as áreas que merecem maior atenção devido aos aspectos de risco às quais elas encontram-se expostas. Barros et al. (2005) destacam que os mapas de risco oferecem elementos essenciais aos processos de planejamento nos dias de hoje, para hierarquizar programas e obras, estabelecer prioridades, entre outros, sendo, portanto, extremamente ricos para embasar Planos Diretores, Planos de Bacia, Programas de Obras entre outros.

Com base em mapas de inundação, declividade e déficit de saneamento, Barros et al. (2005) montaram um mapa de risco, onde foi admitida uma escala com três níveis de intensidade de risco em função dos três aspectos anteriormente mencionados de acordo com os riscos que uma determinada área está sujeita: Risco Amarelo (onde ocorre um dos três fatores); Risco Vermelho (onde ocorre a combinação de dois fatores) e Risco Negro (estão sujeitas aos três fatores). Através desse mapeamento é possível observar a população que ocupa as áreas de risco de inundação, para sua posterior remoção, juntamente com a população situada em locais de alta declividade e sem saneamento básico.

A delimitação destas áreas de risco também fornece subsídios para a determinação de áreas onde são necessárias medidas de controle de escoamento, sejam elas estruturais ou não. Exemplo disto foi o trabalho realizado por Ono e Barros (2008) onde os mesmos basearam-se em mapas de áreas de risco para a escolha das regiões onde seria implantado um sistema de alerta de baixo custo na bacia do Córrego Bananal na cidade de São Paulo (SP).

Uma forma de condensar as informações dos zoneamentos é através da elaboração de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), através dos quais é possível armazenar

inúmeras informações num banco de dados geográficos, tornando possível sua sobreposição dentro de um único sistema de coordenadas. Considerando que alguns mapas conseguem condensar diversas informações, em muitas situações, os mesmos são mais adequados do que tabelas estatísticas, pareceres técnicos e outros produtos necessários para dar suporte à decisões gerenciais. A cartografia digital e os SIGs introduziram um avanço tecnológico na coleção e armazenamento de dados para inventários, monitoramentos, análises e simulações em várias áreas.

Através desse tipo de avanço tecnológico foi possível mapear o risco de inundações em bacias urbanas da cidade de São Carlos, onde Giuntoli (2008) propôs a utilização de um Web GIS interativo alimentado pelos usuários com base em questionamentos que representem a ameaça, exposição e vulnerabilidade percebidos pela população. Através deste portal foi possível identificar dentre 6 sub-bacias, as duas mais susceptíveis ao risco de inundações, tornando possível concluir que tal ferramenta é de manipulação simples e confiável além de representar um importante sistema de apoio à decisão em gestão de recursos hídricos em ambientes urbanos.

De maneira semelhante Ferraz et al. (1998) comprovaram que a combinação de dados hidrológicos e topográficos, através de um SIG, permite a incorporação simultânea de aspectos espaciais e temporais na análise do regime de inundações. Neste trabalho foram gerados para a cidade de Piracicaba, a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) e da equação de inundação, com o auxílio da tecnologia de operadores aritméticos do SIG, um mapa do Modelo Digital de Vazões (MDV), ou seja, a imagem fornece a vazão do rio necessária para que a água atinja um ponto qualquer na área de estudo. Portanto, para cada um dos tempos de retorno estudados foram mapeadas as suas respectivas áreas inundadas, resultando em um mapa de zoneamento hidrológico, sobreposto à imagem de satélite e ao arruamento. O produto final é um banco de dados especializado que possibilita ao usuário gerar mapas temáticos, gráficos e até mesmo animações.

O mapeamento de áreas de risco constitui-se por uma importante ferramenta de gerenciamento, pois permite a visualização espacial da suscetibilidade ao risco de diversas áreas da bacia avaliada. O mapeamento de zonas de risco é utilizado em diversas áreas, podendo ser destacada a avaliação de riscos geológicos, como observado por Oliveita et al. (2004), onde foram mapeadas áreas de risco geomorfológicos para a bacia do Arroio Cadena (Santa Maria/RS) e em Alheiros (1998) onde foi elaborado o mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos da região metropolitana de Recife/PE.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho, visando a construção e mapeamento de um índice de risco de alagamentos para a bacia do Riacho Reginaldo, está estruturado em sete etapas principais:

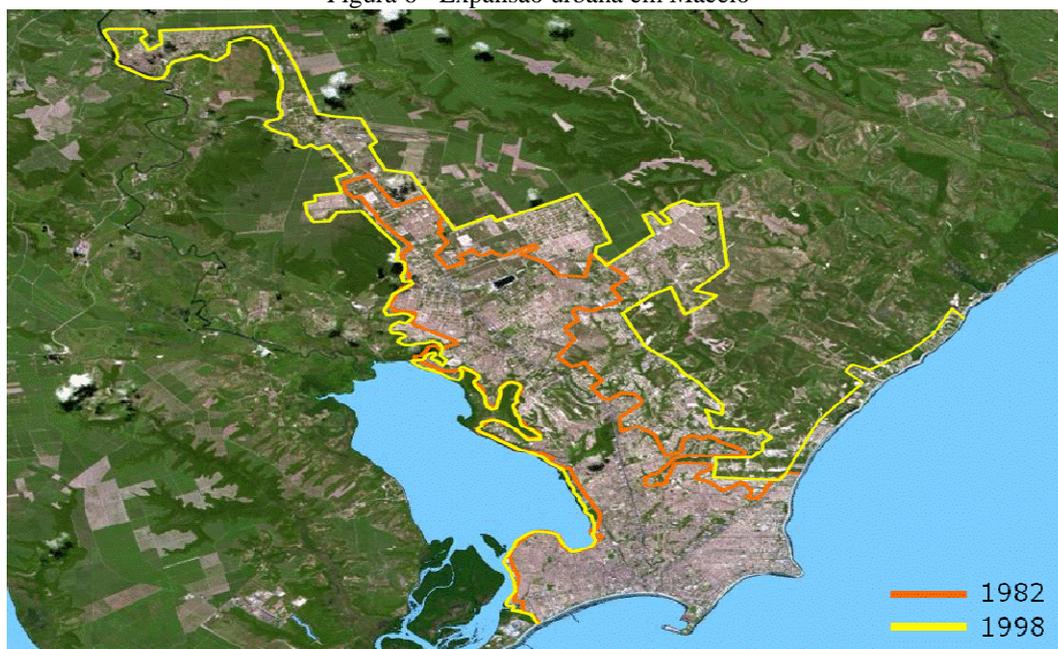
1. Caracterização da bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo e levantamento preliminar dos pontos de alagamentos identificados pelos órgãos municipais responsáveis pela drenagem da cidade de Maceió e pela Defesa Civil do Município;
2. Visitas à bacia para:
  - Complementar as informações da etapa anterior e avaliar a magnitude dos alagamentos *in loco*;
  - Levantar elementos para a caracterização ambiental dos pontos analisados;
3. Consolidar as características referentes aos alagamentos, obtidas nas etapas anteriores: pontos considerados críticos, frequência, magnitude, abrangência, entre outras;
4. Confecção de indicadores que representem as características dos alagamentos da bacia (profundidade, frequência, população atingida e geração do escoamento superficial);
5. Composição de um Índice de Risco de Alagamento, com base nos indicadores propostos na etapa anterior;
6. Mapeamento dos indicadores para a visualização espacial das características dos alagamentos;
7. Mapeamento do Índice de Risco de Alagamento para a bacia em estudo, possibilitando assim a avaliação espacial das regiões mais críticas frente aos eventos de alagamento.

O detalhamento de cada uma das etapas sucintamente descritas anteriormente encontra-se apresentado ao longo deste capítulo.

### 3.1 A Bacia Hidrográfica do Riacho Reginaldo

Os grandes centros urbanos brasileiros passaram por um forte crescimento nos últimos 50 anos. Acompanhando essa tendência, o município de Maceió, saiu de uma população de 180 mil habitantes na década de 1960 para mais de 930 mil habitantes no ano 2009 (IBGE, 2010, população estimada). O crescimento da região urbana de Maceió, segundo Alagoas (2005 apud PEDROSA E SOUZA, 2008) obedeceu à disposição apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Expansão urbana em Maceió



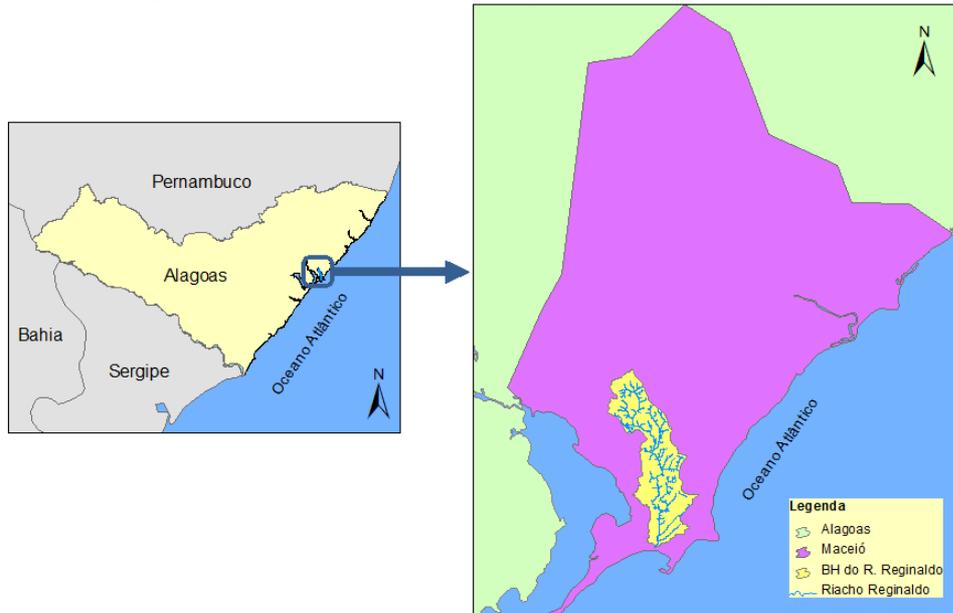
Fonte: ALAGOAS, 2005 apud PEDROSA E SOUZA, 2008

A bacia do Riacho Reginaldo, completamente inserida na cidade de Maceió - AL (Figura 7) consolidou-se como importante área de interesse para estudos por vários aspectos, conforme enfatizam Neves et al. (2007), entre os quais se destacam:

- está totalmente inserida na área urbana do município (Figura 8);
- possui 87 mil habitantes, representando cerca de 10% da população do município, segundo Contagem da População 2007 (IBGE, 2009 a.);
- é delimitada por dois dos principais eixos viários da cidade: Via Expressa e Av. Fernandes Lima;
- abrange, total ou parcialmente, 18 dos 50 bairros do município (Antares, Barro Duro, Canaã, Centro Farol, Feitosa, Gruta de Lourdes, Jacintinho, Jaraguá, Jardim Petrópolis, Jatiúca, Mangabeira, Ouro Preto, Pinheiro, Pitanguinha, Poço, Santa Lúcia e Serraria (Figura 9);

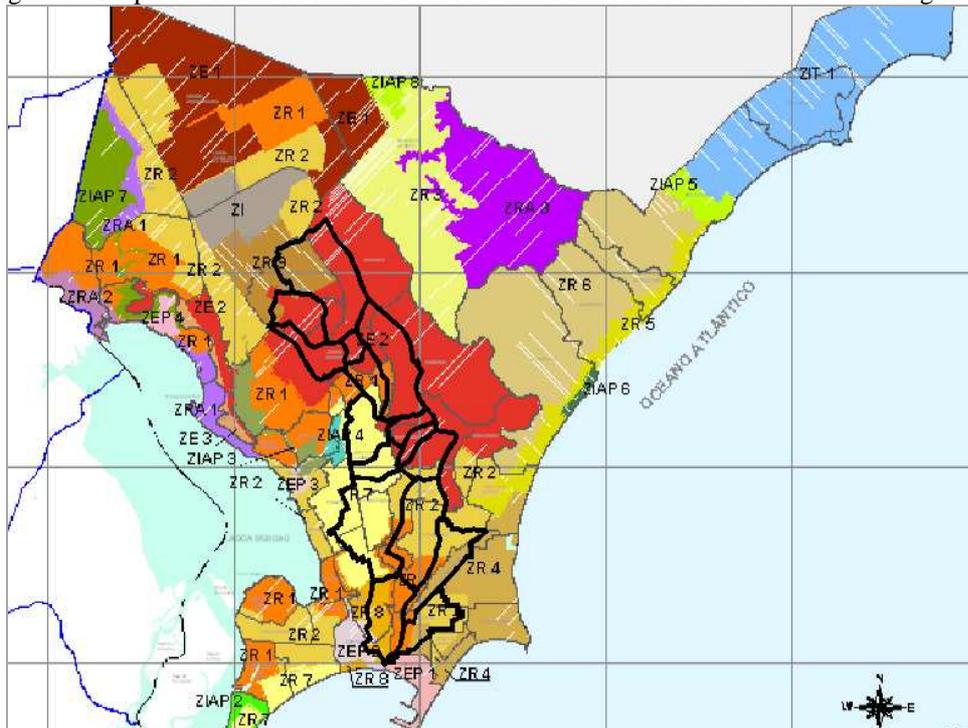
- apresenta alto grau de degradação sócio-ambiental, com grande parte da sua população vivendo em habitações sub-normais;
- é foco dos principais debates políticos relacionados aos temas sociais do município;
- apresenta problemas relacionados aos principais elementos da infra-estrutura urbana: habitação, saneamento básico, transportes, entre outros.

Figura 7 - Localização da bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo



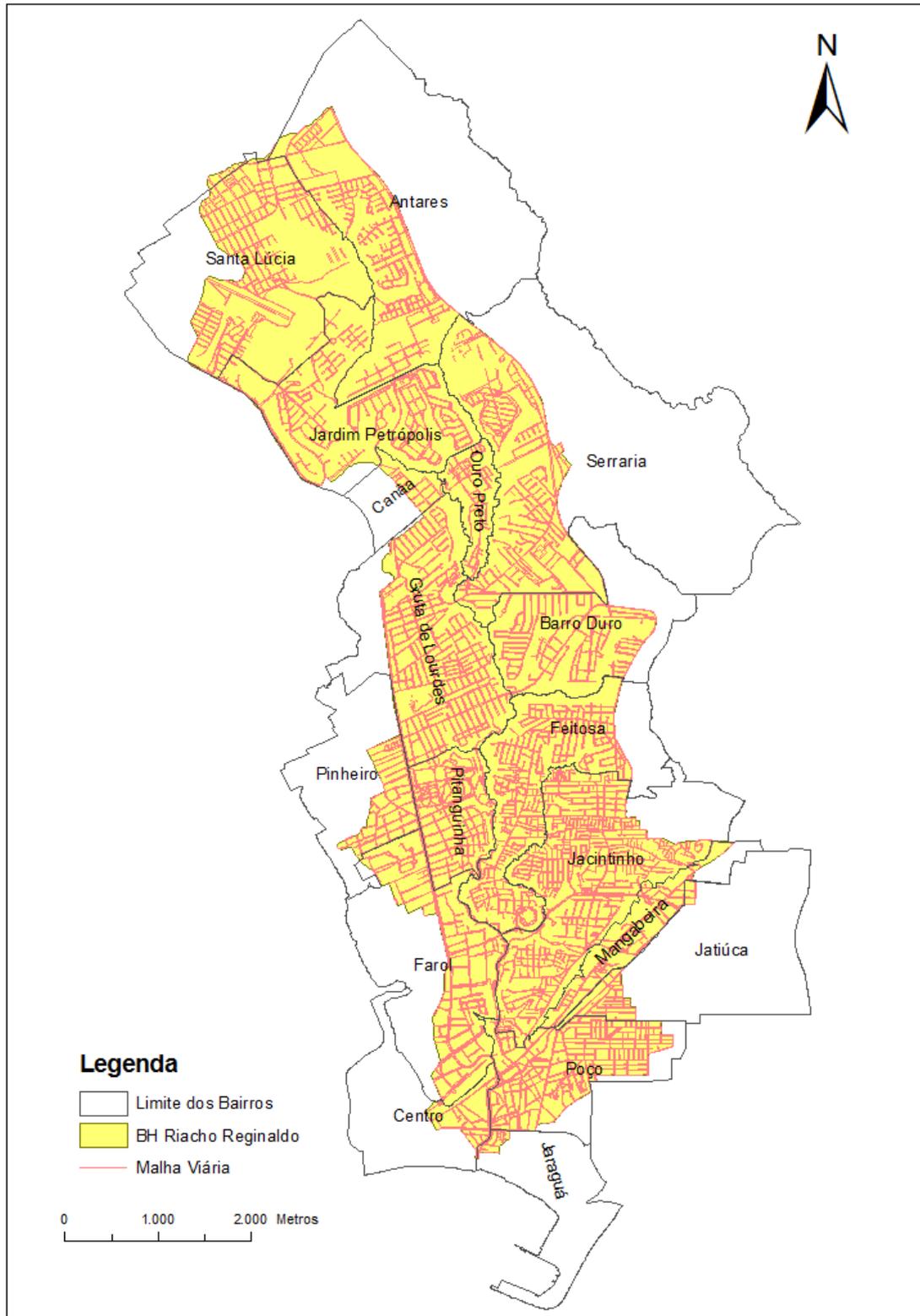
Fonte: Autora,2008

Figura 8 - Mapa dos zoneamentos da área urbana de Maceió com a bacia do Riacho Reginaldo



Fonte: Pedrosa, 2008

Figura 9 - Localização dos bairros da bacia do Reginaldo



Fonte: Autora, 2008

A estruturação da bacia do Riacho Reginaldo como objeto de pesquisa foi iniciada e consolidada através do Projeto Casadinho, a partir da instalação de uma rede de monitoramento. Um dos aspectos de destaque nessa área (comum à maioria das bacias urbanas brasileiras) é a carência de informações acerca dos aspectos ligados ao escoamento das águas pluviais, tais como a inexistência da rede de monitoramento hidrométrico (pluviométrico e fluviométrico), a carência de informações da rede de drenagem existente, contemplando não apenas as estruturas inicialmente instaladas, mas também as intervenções realizadas posteriormente, entre outras.

A instalação de equipamentos na bacia para monitoramento hidrológico considerou os pontos de interesse para monitoramento levantados por Peplau (2006). Inicialmente, foram instalados 2 sensores de nível (um deles permanece em operação) e 4 pluviômetros (Figura 10 e Figura 11). Tais equipamentos fornecem informações importantes dos eventos ocorridos na bacia que, inclusive foram utilizados por Pimentel (2009) em uma análise das relações de quantidade e qualidade no escoamento superficial na bacia. Entretanto, devido ao seu curto histórico ainda impede a avaliação históricas dos dados, como por exemplo, o tempo de recorrência de eventos.

Figura 10 - Pluviômetro instalado na bacia



Fonte: Autora, 2008

Figura 11 - Sensor de nível no Riacho Gulandim



Fonte: Autora, 2008

Os padrões de urbanização da bacia, destacados por Neves et al. (2007), provocam impactos importantes sobre o ciclo hidrológico urbano, sendo destacados os frequentes problemas causados pelas enchentes (Figura 12). Uma das principais características da bacia em estudo é a intensa ocupação urbana do trecho médio em direção à foz (Figura 13), esta ocupação aumenta a impermeabilização do solo, diminuindo assim a infiltração e ocasionando o aumento do escoamento superficial. Destaca-se ainda a ocupação da calha do Riacho Reginaldo pela população de baixa renda, aumentando ainda mais os riscos de inundação, transmissão de

doenças de veiculação hídrica e deslizamentos de encostas durante os eventos de maior magnitude (Figura 14, Figura 15 e Figura 16). Na região mais alta da bacia ainda resta parte da vegetação nativa, mas alguns impactos já podem ser observados como, por exemplo, a erosão causada pelo fluxo nos períodos chuvosos (Figura 17) e o acúmulo de lixo na calha do Riacho Reginaldo (Figura 18).

Figura 12 - Impacto das enchentes nos bairros Ouro Preto (esquerda) e Jacintinho (direita)



Fonte: MACEIÓ, 2004

Figura 13 - Vista aérea da região próxima a foz da bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo



Fonte: SENA, 2006

Figura 14 - Convivência da população com o Riacho Reginaldo



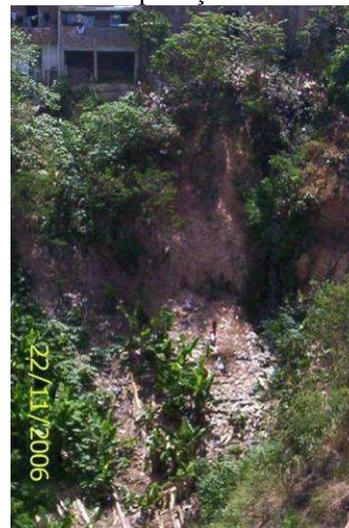
Fonte: PEPLAU et al., 2006

Figura 15 - Ocupação de encostas íngremes junto ao trecho canalizado



Fonte: Autora, 2008

Figura 16 - Lançamento de esgoto em taludes sem proteção



Fonte: Autora, 2008

Figura 17 - Erosão causada pelo fluxo nos períodos chuvosos



Fonte: Autora, 2008

Figura 18 - Resíduos sólidos carregados pelas águas pluviais na calha do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2008

A urbanização da região onde se encontravam as nascentes do Riacho Reginaldo provocou graves impactos, transformando a calha do Riacho simplesmente em um canal de escoamento pluvial e de esgoto sanitário. O curso d'água principal na parte baixa da bacia é perene, embora sua vazão durante o período de estiagem seja praticamente resultante do despejo de esgotos domésticos, realizada por ligações irregulares com a rede pluvial ou lançamentos diretos dos esgotos sobre a calha do Riacho Reginaldo e de seus afluentes (Figura 19).

A dificuldade de visualização da bacia como um sistema e de compreensão dos processos naturais que nela ocorrem por parte da comunidade em geral, traz dificuldades sobre a compreensão e a percepção do sistema hidrológico e sua inserção na paisagem da cidade, já que os efeitos, principalmente de poluição, só são mais evidentes no trecho final

onde o Riacho é chamado de “Salgadinho” (Figura 20). Desta forma, não se desenvolve a idéia de que causas à montante são determinantes para o estado degradado do Riacho a jusante, fazendo com que as ações de “despoluição do Riacho” só sejam implementadas em seu trecho final, em geral de forma fragmentada e paliativa (Neves et al., 2007).

Figura 19 - Ligações irregulares de esgoto doméstico na rede pluvial



Fonte: Autora, 2008

Figura 20 - Região ocupada junto ao trecho final (canalizado) do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2008

### 3.1.1 Características Fisiográficas

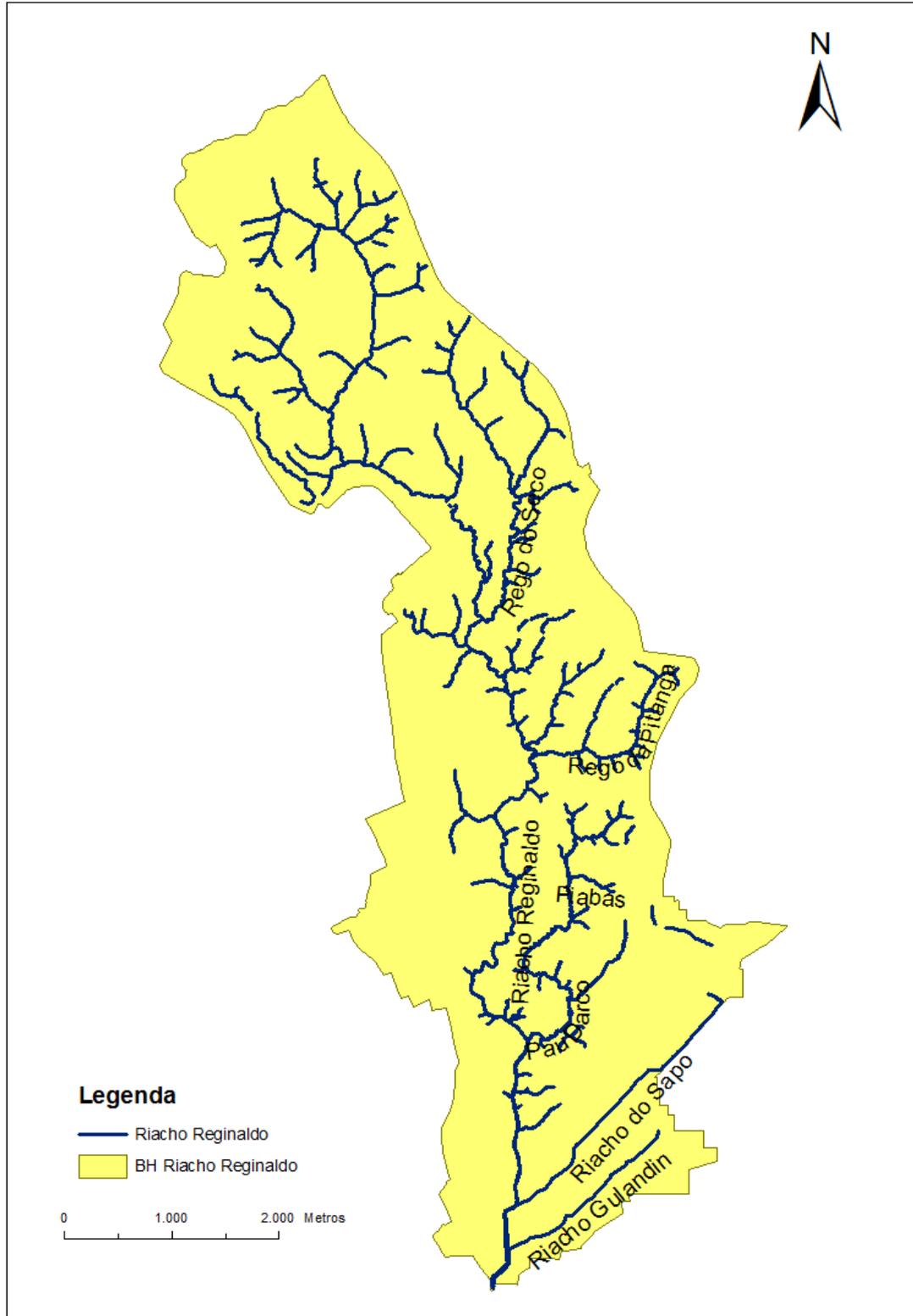
A bacia do Riacho Reginaldo possui 26,5 km<sup>2</sup>, tendo sua nascente situada no bairro de Santa Lúcia e sua foz na praia da Avenida (Oceano Atlântico), no bairro do Jaraguá. Na caracterização física da bacia podem ser observadas algumas peculiaridades, destacadas por Neves et al. (2007), como as áreas planas de tabuleiro, o vale principal bem definido e as áreas planas costeiras. Possui cota mínima de 0 (nível do mar) em sua foz e cota máxima de 98 m na parte alta da bacia.

Os maiores afluentes do Riacho Reginaldo estão em sua margem esquerda, destacando-se: o Riacho Gulandim, o Riacho do Sapo, o Riacho Pau D’Arco e os córregos Rego da Pitanga, Rego do Seco e Piabas (Figura 21). Os Riachos do Sapo e do Gulandim deságuam no trecho popularmente conhecido como Salgadinho, já próximo à foz do Riacho Reginaldo. Ambos são canalizados e cruzam área urbana plana e bem consolidada e sua contribuição à vazão do Reginaldo é perene (PEPLAU et al., 2006).

Neves et al. (2007) destacam que seu vale bem definido se deve ao fato da proximidade de encostas íngremes em margens opostas. Isto ocorre até a inserção do talvegue na planície litorânea. A implicação dessa peculiaridade é que a calha inundável torna-se restrita e, portanto, mais susceptível a cheias naturais sob um menor espelho d’água e maior profundidade. Ou seja, em teoria há naturalmente a limitação da ocupação desse local, mas na

prática tal condição adversa não vem sendo respeitada e ocupa-se o fundo do vale sem considerar os riscos de alagamentos associados à planície de inundação.

Figura 21 - Representação dos principais afluentes do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2008

Sua forma alongada proporciona uma melhor dinâmica de fluxo quanto à distribuição temporal do volume escoado na calha principal, o que diminui o risco de transbordamento do canal. Contudo, o aumento da impermeabilização do solo em toda a bacia provoca o aumento do escoamento superficial, aumentando o risco de transbordamento (NEVES et al. 2007).

O vale e as encostas do Riacho Pau D'Arco são densamente ocupados por habitações precárias de áreas invadidas. Situa-se entre os bairros do Feitosa e do Jacintinho, perenizado por contribuição de esgotos domésticos. O córrego Rego da Pitanga nasce no Barro Duro e faz a divisa desse bairro com o Feitosa, e não apresenta vazão permanente. O córrego Rego do Seco apresenta em sua foz no bairro de Ouro Preto e seu escoamento não é permanente. As grotas desta sub-bacia ainda não sofreram processo de invasão (PEPLAU et al., 2006).

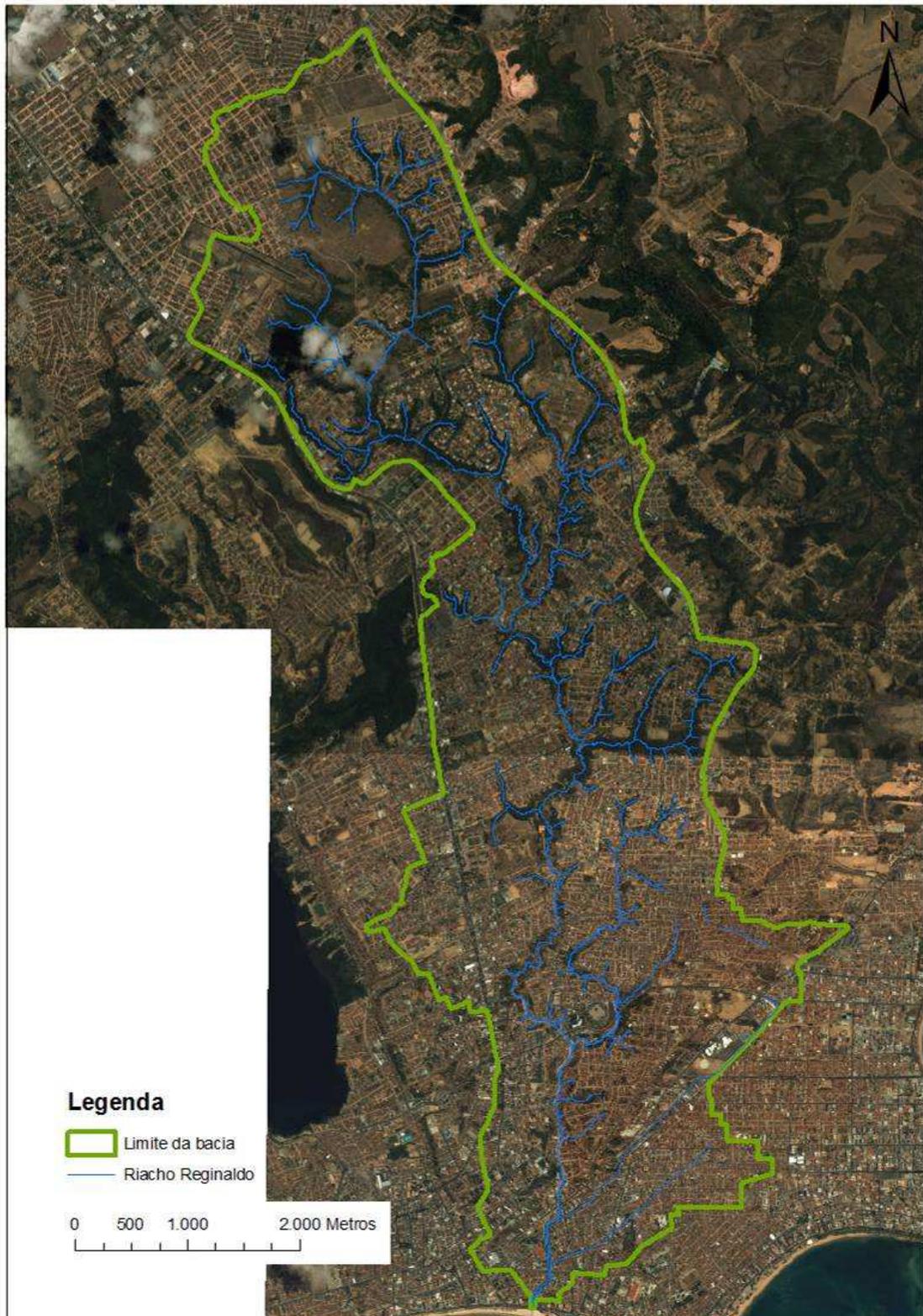
Neves et al. (2007) destacam que o sistema de drenagem da bacia é composto, basicamente, por canais naturais, alguns trechos retificados tanto no canal principal quanto nos Riachos do Sapo e Gulandim e por alguns sistemas isolados de microdrenagem, sobretudo nos loteamentos mais recentes. Destacam-se como elementos da macrodrenagem o trecho da foz até cerca de 2 km a montante no canal principal, e os Riachos Gulandim e Sapo, que se encontram retificados e canalizados. Destaca-se que a maior parte da bacia não tem redes de microdrenagem.

Além da grande produção de sedimentos na bacia, que provoca o assoreamento dos canais de drenagem, observa-se, ainda, que a rede de drenagem é utilizada como ponto de lançamento de todo tipo de resíduo (lixo, entulho, esgoto, etc.). Desta forma, boa parte do sistema se encontra com a capacidade de escoamento reduzida em função da obstrução provocada por estes resíduos (NEVES et al., 2007).

### 3.1.2 Uso e Ocupação do Solo

A característica marcante da bacia do Riacho Reginaldo, em relação ao uso e ocupação do solo, é a impermeabilização sem controle de todos os tipos de ocupação (públicos e privados). Na bacia existem grandes empreendimentos como importantes centros comerciais, centros de convenções, supermercados, entre outros. Ressalta-se que, apesar do impacto no escoamento promovido pela impermeabilização de grandes áreas para a instalação destes empreendimentos, nenhuma medida mitigadora destes impactos foi exigida pelo poder público ou implementada por iniciativa dos proprietários destes empreendimentos (NEVES et al., 2007). Através da Figura 22 pode ser observada a intensa ocupação da bacia, sobretudo nos trechos mais de jusante.

Figura 22 - Destaque para a intensa impermeabilização do solo da bacia



Fonte: Autora, 2008

O vale da bacia do Reginaldo é em grande parte habitado pela população de baixa renda, que além de invadir a calha de inundação, aumentando o risco de enchentes, também ocupa as suas encostas de maneira inadequada, proporcionando situação desfavorável quanto

à estabilidade dos taludes no período de chuvas. Nas áreas planas de tabuleiro existem desde habitações simples, até condomínios fechados de pessoas de alta renda (PEPLAU E CABRAL, 2007).

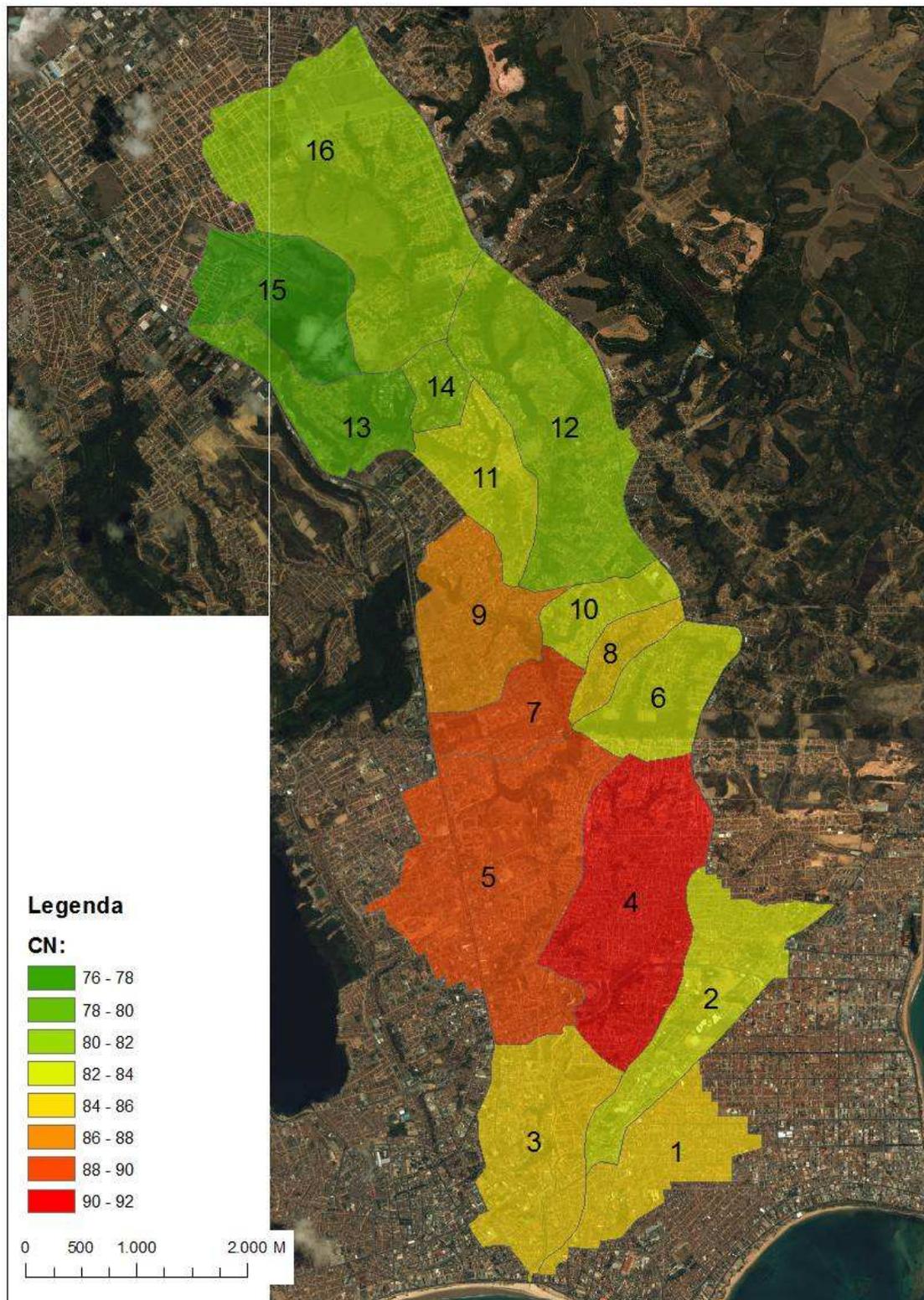
Nas residências, sejam elas unifamiliares ou condomínios, faltam espaços permeáveis: comumente os proprietários pavimentam áreas que poderiam ser utilizadas para jardins ou áreas verdes. Também é comum as áreas dos telhados tomarem quase todo o lote, ou seja, lotes vizinhos aparentam ter telhados contíguos (NEVES et al., 2007).

Considerando que, quando utilizado o método SCS, o parâmetro associado às condições do solo e seu uso e ocupação é o *Curve Number* (CN), Sena et al. (2006) apresentaram uma metodologia para estimativa do parâmetro CN para a bacia do Riacho Reginaldo com base em cartas com a malha urbana. Para este estudo a bacia foi dividida em 16 sub-bacias, tendo sido observados valores do parâmetro CN para as sub-bacias variando entre 80,4 e 91,0; refletindo o alto grau de urbanização da mesma. Silva Jr. (2009) avaliou, com base em visitas de campo, fotografias aéreas e na base cartográfica com a malha urbana, a evolução do uso e ocupação do solo, entre 1960 e 2004, para a bacia do Riacho Reginaldo. O autor conclui que o intenso crescimento da população da bacia nas décadas de 60 e 80 contribuiu para o maior avanço do parâmetro SCS no mesmo período.

Posteriormente, Pedrosa (2008), com base em cartas topográficas, imagem de satélite e visitas de campo, melhorou a caracterização do uso e ocupação do solo da bacia do Riacho Reginaldo. Obtendo, a partir desta caracterização, os valores de CN para 16 sub-bacias, definidas considerando aspectos como: pontos de interesse para avaliação do escoamento, uso e ocupação do solo (considerando aspectos como o sistema de drenagem atribuído a região) e topografia. Os valores de CN para a sub-bacias variaram entre 77,66 e 90,16, na Figura 23 é apresentado um mapa com a delimitação das 16 sub-bacias e seus respectivos valores de CN.

Uma característica evidente no mapeamento do CN das sub-bacias do Riacho Reginaldo é os valores mais baixos na parte mais alta da bacia. Tal resultado já era esperado considerando-se que sua ocupação é conhecidamente menos intensa nesta região, onde ainda pode ser observada a presença de sítios e de grandes condomínios fechados com extensas áreas verdes e ainda, em áreas mais restritas, alguns remanescentes da vegetação natural. Diferente da parte média e baixa da bacia, onde o CN tem valores mais elevados devido à sua intensa urbanização.

Figura 23 - Mapa do CN das 16 sub-bacias do Riacho Reginaldo



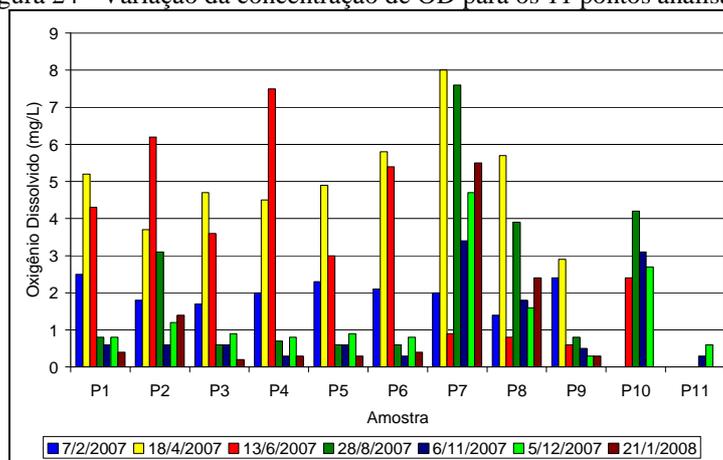
Fonte: Autora, 2008

### 3.1.3 Qualidade Físico-química e Microbiológica

A avaliação da qualidade da água do Riacho Reginaldo passa por um entendimento, não apenas das características da bacia, mas também do contexto mais amplo onde a mesma encontra-se inserida. Como a cidade de Maceió tem pouca cobertura da rede de esgoto sanitário, os canais e Riachos que deveriam transportar somente águas pluviais recebem e transportam esgoto bruto (Neves et al., 2007). Em vários pontos, distribuídos em diferentes regiões da bacia, observa-se o lançamento de esgotos diretamente na calha do Riacho Reginaldo e seus afluentes. Apesar da maior incidência de lançamentos na parte média e baixa da bacia (regiões densamente ocupadas), tal característica também é observada, em menor proporção, na parte alta da bacia.

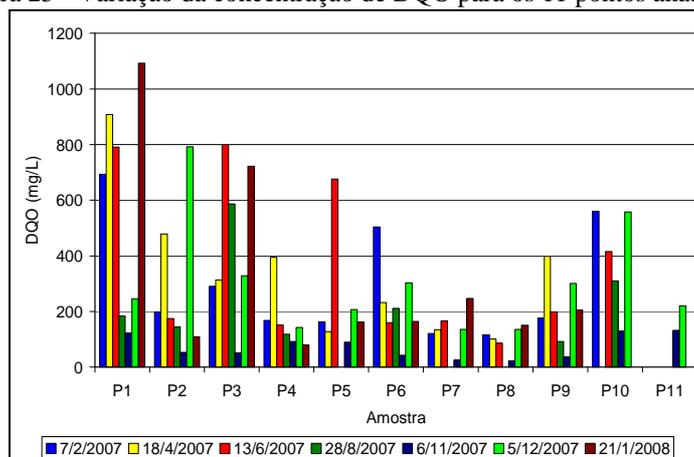
O estado de degradação ambiental da bacia do Riacho Reginaldo motivou o estudo realizado por Pimentel (2009) onde foi avaliada a qualidade ambiental da bacia, com base na avaliação físico-química e bacteriológica de amostras de água coletadas ao longo da bacia e nas condições locais. Para o estudo foram coletadas amostras da água do Riacho Reginaldo em 11 diferentes pontos distribuídos sobre a bacia, entre fevereiro de 2007 a janeiro de 2008. Avaliando os parâmetros físico-químicos de qualidade da água do Riacho Reginaldo percebe-se que os dados obtidos indicaram que na maior parte do tempo a concentração de OD (oxigênio dissolvido) foi inferior a 0,4 mg/l, a concentração de DQO variou de 86 a 908 mg/L (com maiores valores na parte baixa da bacia) e a concentração de DQO5 variou de 22 a 260 mg/L, conforme apresentado na Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Variação da concentração de OD para os 11 pontos analisados



Fonte: Pimentel, 2009

Figura 25 - Variação da concentração de DQO para os 11 pontos analisados



Fonte: Pimentel, 2009

Quando avaliada a qualidade microbiológica da água, Pimentel (2009) obteve resultados de concentração de coliformes totais entre  $1,5 \times 10^6$  UFC/100 mL e  $4,8 \times 10^8$  UFC/100 mL, enquanto que a densidade de *E. coli*, variou de  $1 \times 10^5$  UFC/100 mL a  $8 \times 10^7$  UFC/100 mL, destaca-se que estes índices estão compatíveis com esgoto doméstico *in natura*.

A autora conclui que os resultados obtidos das amostras da água do Riacho Reginaldo indicaram que, tanto a qualidade microbiológica quanto a qualidade físico-química da bacia está ambientalmente comprometida, com características de esgoto doméstico. Tal característica foi atribuída à precariedade do esgotamento sanitário, da inadequada infraestrutura urbana, dos hábitos adquiridos da população, da inexistência de educação ambiental, entre outros fatores.

### 3.1.4 Gestão Municipal de Riscos

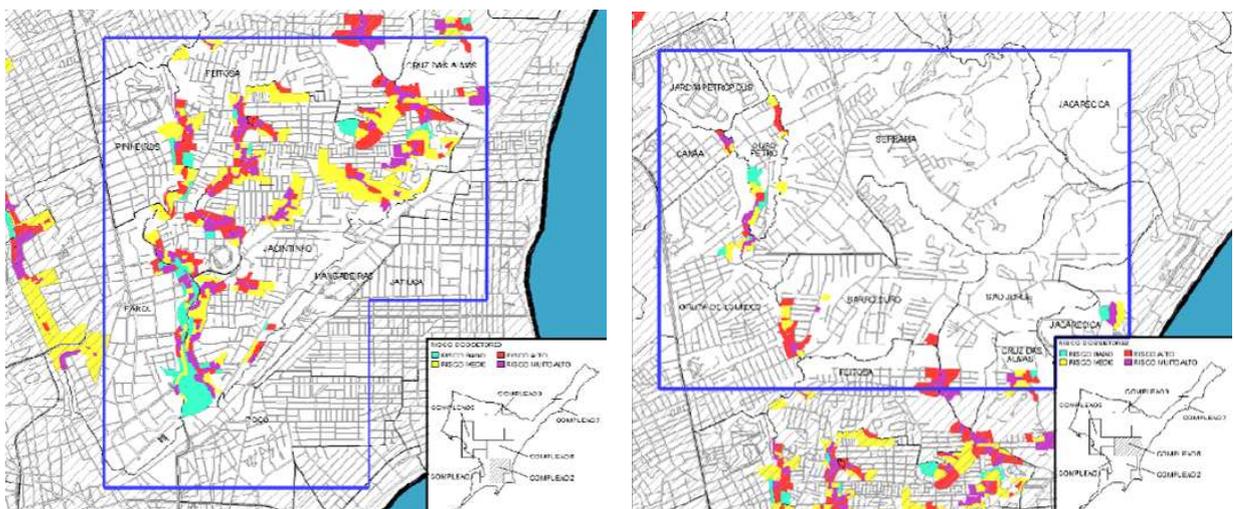
Considerando-se que a bacia do Riacho Reginaldo se situa na cidade de Maceió, deve-se destacar a atuação da Coordenadoria de Defesa Civil do Município (COMDEC), que atua junto à população durante os eventos críticos, ou seja, durante os eventos que possam acarretar perda de vidas humanas. Sua atuação destaca-se principalmente durante os períodos chuvosos, quando existe a ocorrência de alagamentos e deslizamentos de encostas. A COMDEC possui representantes junto às comunidades, que, além de servirem como ponte de ligação entre a população e a Defesa Civil, facilitam o trabalho durante os atendimentos de emergência, por conhecer diretamente a região e a população atingida.

Entre outras atividades, a COMDEC realizou a indicação de um conjunto de assentamentos precários onde se caracterizavam situações de risco do ponto de vista dos condicionantes geológico-geotécnicos. Posteriormente, tais assentamentos precários serviram

como base para a confecção do Plano Municipal de Redução de Risco de Maceió (PMRR). O PMRR (MACEIÓ, 2007) é produto do convênio nº 174613 – 67, firmado entre a Secretaria Municipal de Construção da Infra-Estrutura do Município de Maceió (SMCIE) e a Caixa Econômica Federal/Ministério das Cidades, com recursos do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários, Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários.

O detalhamento do PMRR divide a bacia do Riacho Reginaldo em dois Complexos: Baixo Reginaldo e Alto Reginaldo (Figura 26). O Complexo Baixo Reginaldo (não foram utilizados os limites da bacia) compreende principalmente os bairros Jacintinho e Feitosa, além de parte do Barro Duro e São Jorge; Farol e Pitanguinha e uma pequena parte de Cruz das Almas. O referido complexo apresentou 269 Setores de Risco em 28 diferentes localidades. O Complexo Alto Reginaldo compreende trechos de vários bairros, como Gruta de Lourdes, Ouro Preto e Jardim Petrópolis; Barro Duro e Serraria e Antares. Nessa unidade foram mapeados 49 setores de Risco em 7 localidades. Ressalta-se que, algumas regiões da bacia do Riacho Reginaldo merecem atenção especial, pois as mesmas encontram-se contempladas não apenas nos setores de risco apresentados no PMRR, mas em alguns casos, são coincidentes com as áreas de alagamento apresentadas neste estudo.

Figura 26 - Mapeamento dos setores de risco na bacia do Riacho Reginaldo, Complexo Baixo Reginaldo (esq.) e Alto Reginaldo (dir.)



Fonte: Maceió, 2007

### 3.1.5 O Modelo Numérico do Terreno

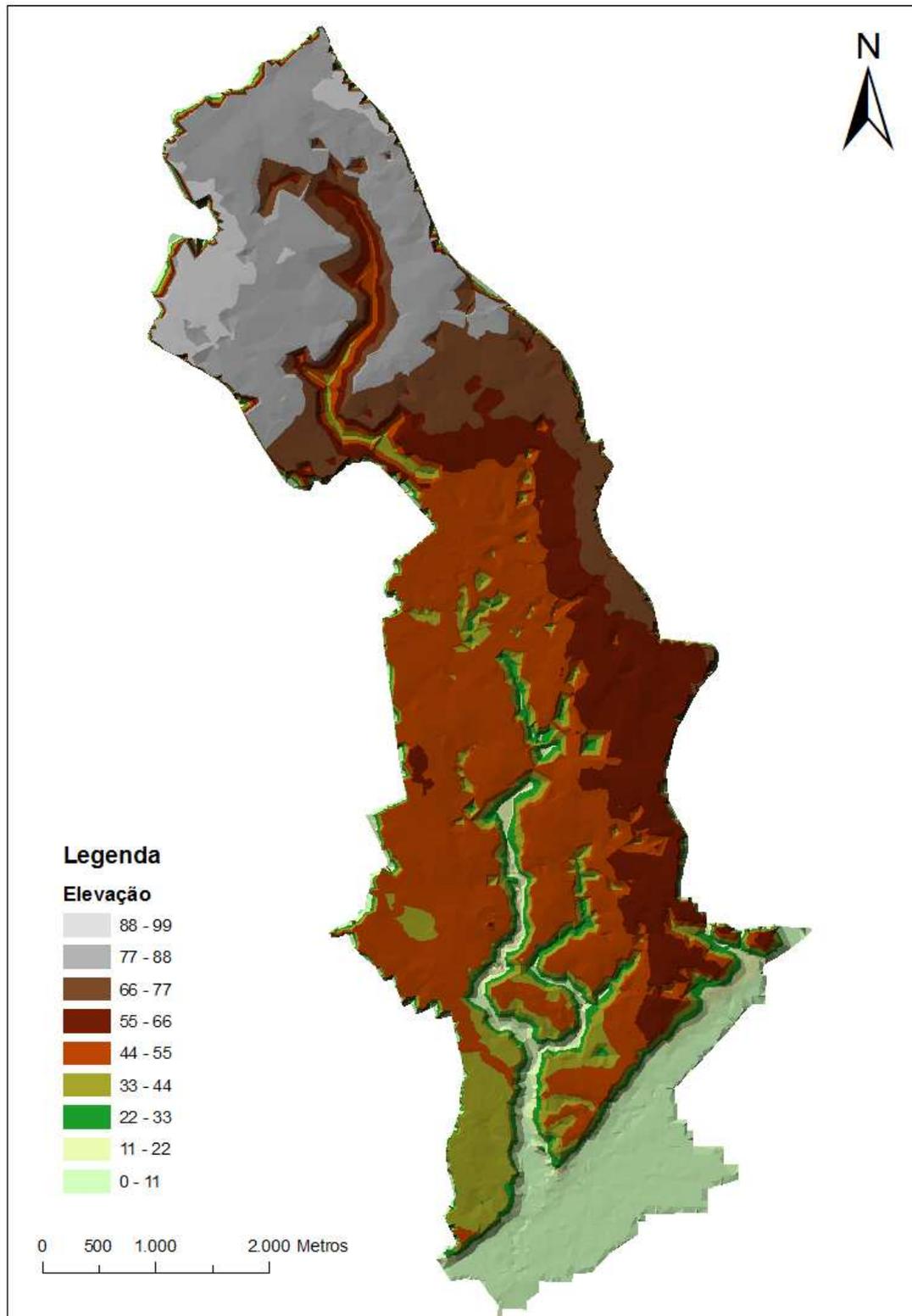
A avaliação dos pontos de alagamento da bacia do Riacho Reginaldo foi realizada utilizando como base o Modelo Numérico do Terreno (MNT), construído a partir da base cartográfica numérica da Secretária Municipal de Controle do Convívio Urbano da Prefeitura Municipal de Maceió (SMCCU, 1999), na escala 1:2000. A base cartográfica numérica apresenta, para cada um dos bairros da cidade de Maceió, além das informações de altitude, aspectos como a presença de rios, córregos, Riachos, canais, pontes, postes, edificações (públicas e privadas) bem como as delimitações de lotes, quadras e bairros.

Considerando que a base cartográfica da cidade de Maceió, na escala 1:2000, encontrava-se dividida em vários arquivos no formato *DWG*, um para cada bairro da cidade, foi necessária a reunião das informações dos diversos bairros que compõem a bacia do Riacho Reginaldo. Em seguida, foi gerado o MNT, através do programa ArcGis® com base nas informações de coordenadas e altitudes dos pontos existentes na base cartográfica numérica da SMCCU. A confecção baseou-se em técnicas de triangulação entre os pontos com cota conhecida, formando assim planos e conseqüentemente fornecendo as informações de altitude para os demais pontos da bacia. As informações de elevação apresentadas no MNT foram confrontadas com as observações de campo realizadas durante as visitas.

Através da Figura 27 é possível visualizar alguns aspectos que caracterizam a bacia, entre eles as áreas planas de tabuleiro, a planície costeira e a presença de um vale bem definido ao longo de todos os cursos d'água.

Deve-se observar que o MNT (Figura 27) apresenta algumas inconsistências nos trechos de montante na calha dos corpos d'água. Tais inconsistências se devem à ausência de pontos cotados nestes locais para interpolação das cotas. Destaca-se que estas regiões apresentam menores graus de ocupação e, portanto, maior dificuldade de acesso para caracterização. Desta forma, para o detalhamento das informações destas regiões, a geração das áreas alagadas não foi possível.

Figura 27 - Modelo Numérico do Terreno da Bacia do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2008

### 3.1.6 Caracterização Ambiental e de Áreas de Alagamentos

A caracterização ambiental das áreas sujeitas a alagamentos, bem como a caracterização destes alagamentos (frequência, período de recorrência), passa, obrigatoriamente, por uma primeira etapa de levantamento das regiões sujeitas a estes eventos. Este levantamento foi realizado através de visitas a órgãos municipais e estaduais ligados aos alagamentos, bem como em visitas de campo onde foram avaliadas, junto aos moradores, a ocorrência ou não de alagamentos.

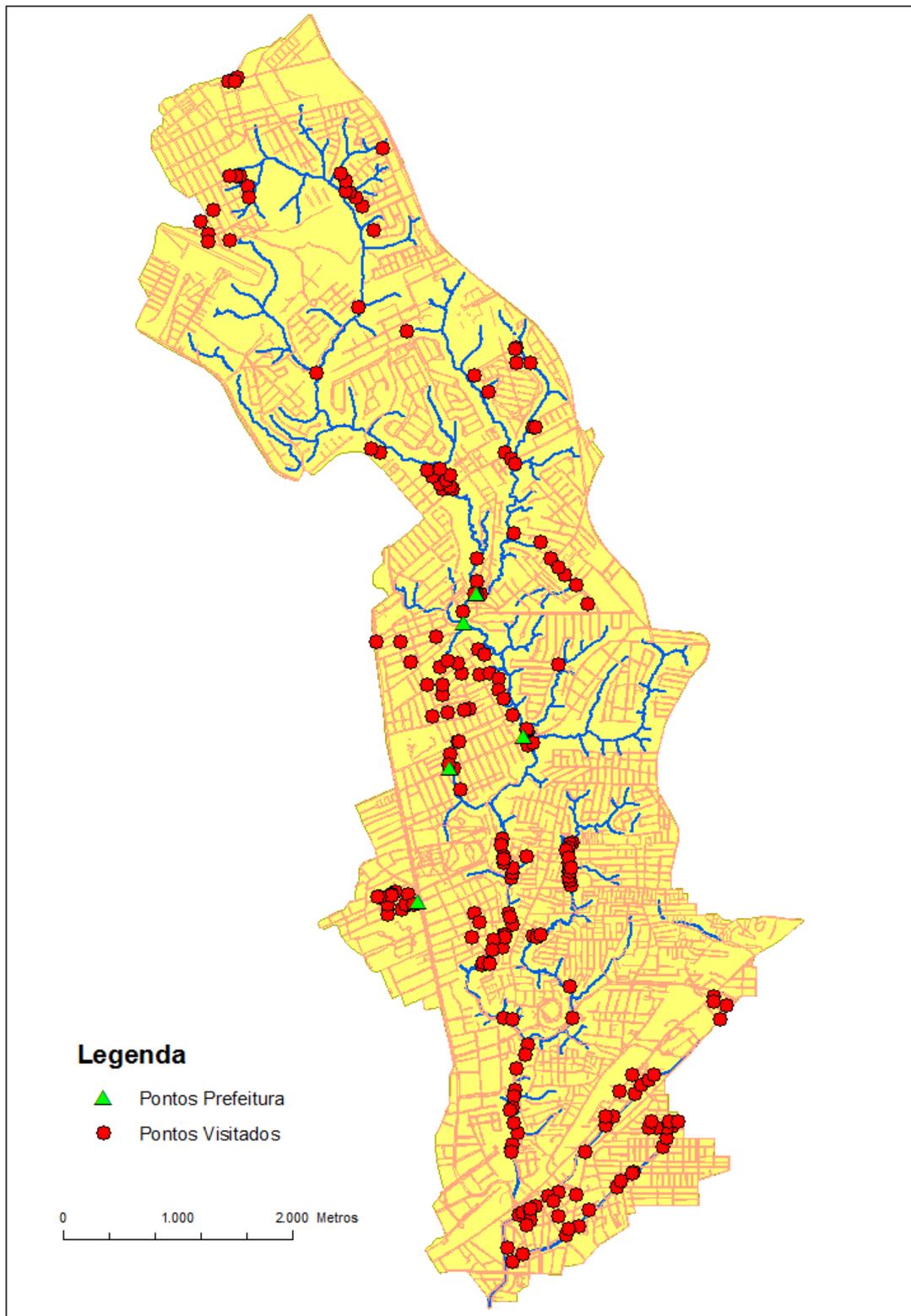
Para o levantamento de informações acerca das áreas de alagamento da bacia do Riacho Reginaldo foi realizado contato com a Defesa Civil do Estado de Alagoas e a Defesa Civil do Município de Maceió. Ambas citaram o *Plano Municipal de Redução de Risco de Maceió* como uma importante fonte de informação acerca dos riscos inerentes a bacia em estudo. A Defesa Civil municipal afirmou que não existem registros sistemáticos dos atendimentos por eles realizados e que, apenas são realizados registros superficiais nos casos de morte em decorrência de eventos extremos (como, por exemplo, alagamentos e deslizamentos). Através da Defesa Civil municipal foram obtidos alguns contatos de líderes comunitários de algumas regiões da bacia, facilitando e tornando mais seguro o trabalho de campo.

Posteriormente foi realizada uma avaliação preliminar dos pontos de alagamento, junto a Superintendência Municipal de Obras e Urbanização de Maceió (SOMURB), visto que a mesma é responsável pela drenagem urbana do município de Maceió. Esta etapa teve como objetivo contemplar, nas regiões a serem visitadas, aquelas já caracterizadas pelos órgãos responsáveis como problemáticas em relação à drenagem urbana.

Deve-se destacar que, assim como a Defesa Civil, a SOMURB não mantém um registro sistemático das regiões com problemas de alagamento. Contudo, a experiência dos técnicos da Gerência de Galerias e Canais que trabalham diariamente nesta área fez com que os mesmos fornecessem uma lista de locais com alagamentos frequentes. Além desta lista, foram apresentados 5 pontos considerados críticos, estes pontos encontram-se apresentados na Figura 28.

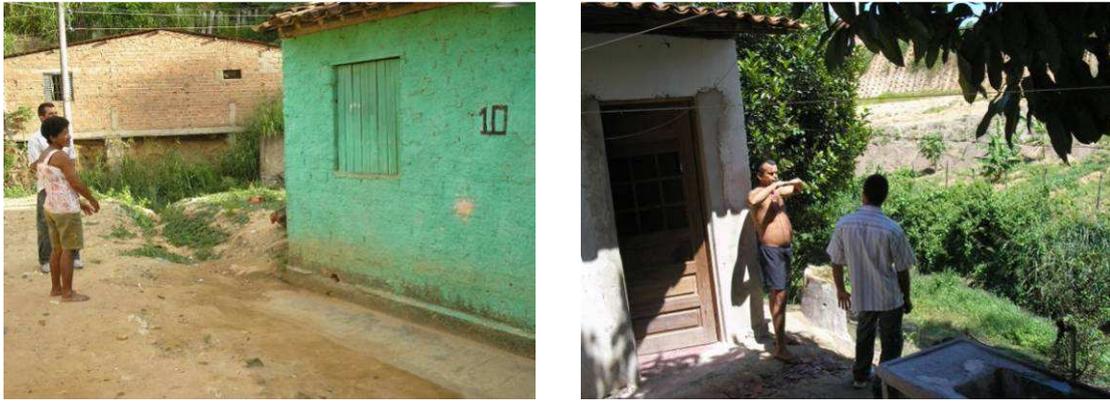
Após a identificação preliminar dos pontos de interesse junto às instituições citadas, foi realizada a avaliação dos pontos de alagamento junto aos moradores, em visitas de campo (Figura 29). Tais visitas tinham dois objetivos principais: (i) caracterizar os pontos de alagamentos identificados junto às instituições responsáveis pela drenagem e (ii) identificar e caracterizar pontos de alagamentos não apresentados pelas instituições responsáveis pela drenagem e pela gestão de riscos.

Figura 28 - Mapa com os pontos indicados pela SOMURB e os pontos visitados durante o levantamento das áreas atingidas pelos alagamentos



Fonte: Autora, 2008

Figura 29 - Levantamento de informações dos alagamentos, junto aos moradores da bacia



Fonte: Autora, 2008

Durante as visitas buscou-se identificar, junto aos moradores, as características da região e suas relações com ocorrência de alagamentos. Nos pontos identificados como alagáveis, buscou-se caracterizar a magnitude dos eventos observados, ou seja, se os alagamentos eram pontuais e se localizavam apenas na rua ou se as casas também eram atingidas. Procurou-se levantar também a frequência de ocorrência destes eventos, principalmente junto aos moradores mais antigos. Os níveis máximos atingidos pela água também foram avaliados e relacionados com a frequência de ocorrência. Sempre que possível buscou-se levantar informações nos pontos considerados mais suscetíveis a alagamentos, como por exemplo, residências junto à calha ou em pontos topograficamente suscetíveis aos alagamentos (identificados pela topografia da região).

Deve-se observar que a informação associada ao tempo de retorno possui elevado grau de incerteza, sobretudo para a maior cheia observada. Esta observação se deve a alguns aspectos:

- O nível de água atingido durante o alagamento pode estar associado menos à magnitude da cheia e mais à obstrução dos canais, em alguns casos;
- O tempo de observação das cheias na bacia é pequeno, em geral associado ao tempo de ocupação urbana da região que, em geral, é inferior a 20 anos;
- A própria determinação do nível de água atingido tem certo grau de subjetividade, uma vez que nem sempre é possível observar as marcas da cheia e a informação é passada por um morador.

Buscou-se, da mesma forma, identificar as principais causas de ocorrência dos alagamentos, podendo-se destacar: obstrução das redes de drenagem por todo tipo de resíduos sólidos (móveis, sacos plásticos, garrafas, restos de vegetação, entre outros), influência da maré (na foz), características da precipitação (intensidade, distribuição espacial e temporal, condições antecedentes aos eventos mais importantes, impermeabilização, rápida concentração de escoamento) entre outros, diagnosticados nas visitas em campo e nas características da bacia e do seu sistema de drenagem.

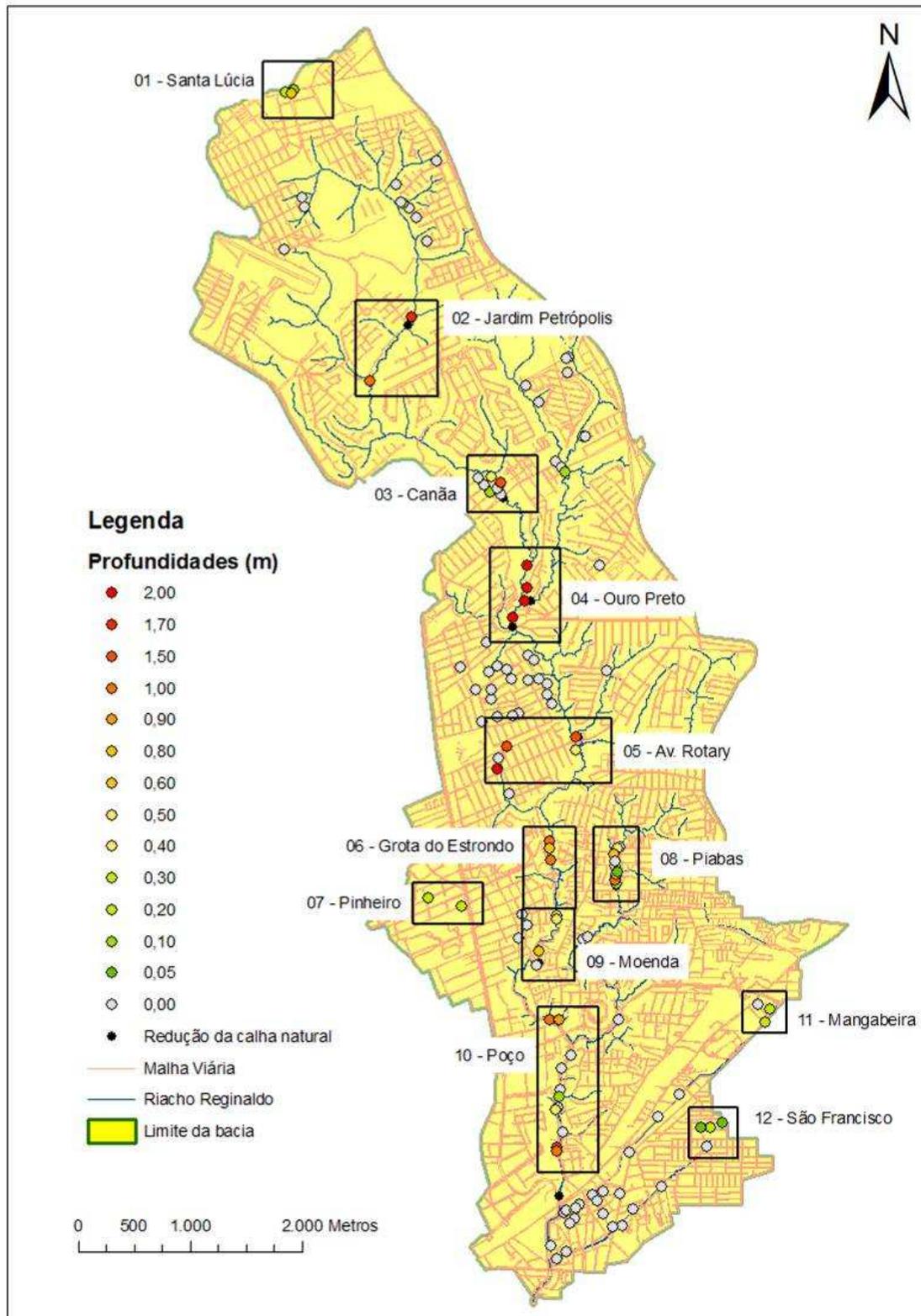
Durante as visitas para a determinação dos pontos de estudo, também foram levantadas as demais características da gestão da drenagem urbana, ligadas às inundações. Entre elas destacam-se os pontos de acúmulo ou depósito de lixo na bacia, devido a sua capacidade de obstrução da rede de drenagem, bem como o seu potencial de poluição das águas pluviais; os pontos de deslizamento de terra, devido a sua relação direta com o escoamento superficial; as áreas atendidas pelo esgotamento sanitário, pois a sua inexistência conduz a ligação do esgoto diretamente na rede pluvial promovendo a poluição dessas águas e a proliferação de doenças de veiculação hídrica durante os eventos de alagamentos.

Uma vez que o processo de caracterização junto aos moradores envolve grande subjetividade relacionada à percepção do morador em relação aos eventos, durante as visitas tentou-se avaliar as informações analisadas com o maior número possível de moradores, procurando diminuir a incerteza associada às informações obtidas. Todas as visitas foram documentadas através de fotos e relatórios detalhados das mesmas, sendo os pontos visitados identificados através de suas coordenadas, que posteriormente foram distribuídas sobre o mapa da bacia (Figura 28).

Para que fossem definidas as áreas a serem estudadas com maior detalhamento, excluindo-se as áreas da bacia que não possuem problemas com os alagamentos considerados críticos, foi confeccionado um mapa das profundidades atingidas dentro das residências nos pontos onde foram levantadas as informações junto aos moradores locais para que, através do mesmo, fossem escolhidas as áreas a serem estudadas. Através do mapa de profundidades foram definidas 12 regiões que apresentaram problemas desta natureza, os mesmos são apresentados em um mapa (Figura 30), que também apresenta os pontos onde ocorrem reduções da calha natural do Riacho Reginado, promovidos por galerias, pontes ou aterramentos existentes.

Convém destacar que, no presente trabalho, foram consideradas como áreas críticas de alagamento as áreas onde a água atinge o interior das edificações. Portanto, áreas de alagamento situadas integralmente nas ruas (não atingindo o interior das edificações) não foram consideradas como críticas, apesar da sua relevante capacidade de causar transtornos ao sistema viário.

Figura 30 - Profundidade atingida pela água dentro das residências nos pontos onde foram realizados os levantamentos de campo



Fonte: Autora, 2008

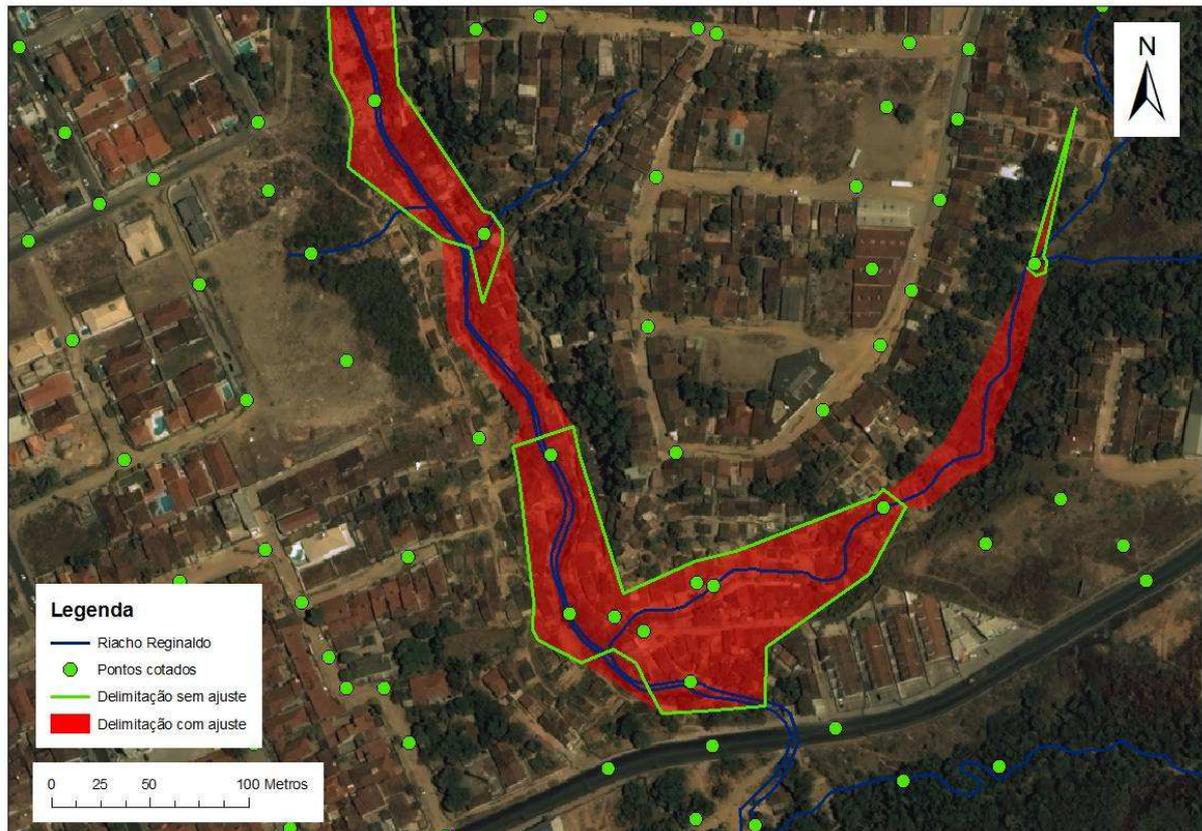
### 3.1.7 Delimitação das Áreas Alagadas

Considerando-se que as informações obtidas em campo eram pontuais, tornou-se necessária a sua espacialização para a realização das análises posteriores. Esta espacialização baseou-se no MNT, através do qual foi obtido o valor da cota correspondente a cada um dos pontos levantados em campo e a este valor foi acrescido o valor da profundidade a qual a mesma foi submetida durante o evento chuvoso, obtendo-se assim a cota atingida pela água e a sua respectiva linha d'água. A partir da linha d'água foi obtida a área atingida pelo alagamento, sendo que esta área alagada foi confrontada com as demais informações da região, obtidas dos levantamentos realizados em campo, procurando assim dirimir possíveis incertezas inerentes ao processo.

Como destacada no item 3.1.5, o MNT da bacia foi confeccionado com informações de pontos cotados, distribuídos em toda a bacia, obtidos a partir da base cartográfica da Prefeitura de Maceió, na escala 1:2000 (SMCCU,1999). Entretanto, algumas regiões (da calha principalmente) não dispunham de uma quantidade de informações suficientes para a adequada interpolação das cotas, dificultando a sua representação. Desta forma, em algumas regiões foram necessários alguns ajustes para a adequada representação da linha d'água, com base nas informações de hidrografia e nas informações obtidas nas visitas de campo. A Figura 31 ilustra os pontos que deram origem ao MNT, com destaque para a ausência de pontos em alguns trechos da calha onde foi realizado o refinamento da delimitação da linha d'água.

Ressalta-se ainda que a delimitação das áreas de alagamento foi confeccionada para uma avaliação em escala macro, permitindo a comparação das condições existentes nas diversas regiões da bacia. Apesar da escala da base da prefeitura ser adequada para a confecção do MNT, para uma avaliação em escala micro torna-se necessário uma maior discretização da área, ou seja, um aumento da densidade de pontos cotados distribuídos sobre a bacia, refinando assim a representação da topografia do terreno.

Figura 31 - Determinação das linhas d'água na região da Av. Rotary

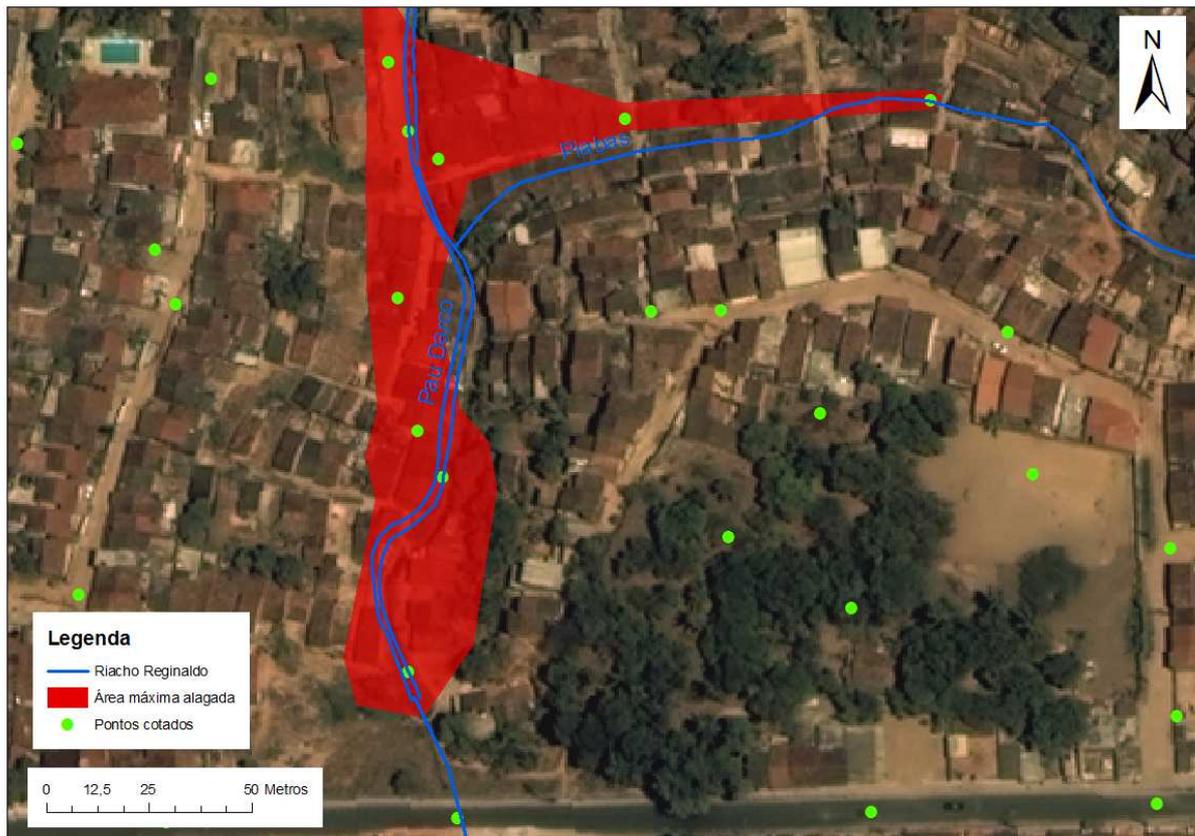


Fonte: Autora, 2008

Considerando que a redução da calha natural do rio, com aterramentos ou galerias por exemplo, altera as características do escoamento, os mesmos foram utilizados como limitadores das áreas alagadas, ou seja, quando a linha d'água cruzava uma galeria a mesma era interseccionada e era considerada apenas a área de alagamento compreendida a montante. Como exemplo, pode ser citado o aterramento da Avenida Rotary, apresentada na Figura 31, onde a mesma serviu como limitador para a área de alagamento. Os alagamentos nas regiões a montante e a jusante foram avaliados através das informações obtidas junto aos moradores da região.

Devido à inexistência de pontos cotados em algumas regiões da calha, conforme mencionado anteriormente a delimitação da área de alagamento, em alguns trechos, não abrange a calha dos corpos d'água, como pode ser observado na Figura 32. Entretanto, tais ocorrências não acarretaram prejuízos à avaliação da área alagada e conseqüentemente ao Índice de Risco de Alagamento.

Figura 32 - Delimitação da área de alagamento que não contempla a hidrografia



Fonte: Autora, 2008

### 3.2 Composição e Mapeamento do Índice de Risco de Alagamento Aplicado à Bacia do Riacho Reginaldo

Para compor um índice de risco devem ser escolhidos indicadores que representem características relevantes em relação aos eventos de alagamento e que consigam retratar, de forma clara, a magnitude dessas características. Em relação aos alagamentos, várias são as características possíveis de serem trabalhadas. Entretanto devem ser escolhidas aquelas que, além de permitirem sua representação através de indicadores, possuam dados disponíveis para sua construção e com grau de confiabilidade aceitável.

Segundo os conceitos tradicionais, o risco é representado por duas componentes, uma relacionada à probabilidade de ocorrência e outra relacionada às suas consequências. Portanto, o levantamento do Índice de Risco de Alagamento deve contemplar estas duas componentes. A profundidade atingida pelos alagamentos é uma componente que representa, de forma clara, as consequências dos alagamentos e, portanto foi utilizada no presente estudo. De forma semelhante, a probabilidade de ocorrência do alagamento foi avaliada através do tempo de recorrência do mesmo, com base em informações obtidas em cada um dos pontos analisados.

Considerando-se o triângulo de risco proposto por Crichton et al. (1997 apud GIUNTOLI, 2008) é possível perceber que, a profundidade atingida pelos alagamentos refere-se à magnitude do evento e, portanto está relacionado com os aspectos da ameaça e também da vulnerabilidade. Já, quando avaliada a frequência desses eventos avalia-se o aspecto da exposição, do triângulo de risco, por retratar o número de vezes que a população foi exposta ao evento de alagamento. A variação de qualquer um desses aspectos altera os demais e, conseqüentemente, o risco propriamente dito.

Além dos fatores anteriormente destacados, a quantidade de indivíduos atingidos pelos alagamentos é também um aspecto que caracteriza as conseqüências do mesmo e, portanto, também foi contemplada no estudo. Considerando que, as regiões com alta densidade demográfica envolvem um maior número de indivíduos afetados pelos alagamentos, ou seja, envolvem um maior número de pessoas desalojadas (dependendo da magnitude do evento) e um maior número de indivíduos expostos às doenças de veiculação hídrica, comumente ocorrida após eventos de grande magnitude.

Quando avaliado o triângulo de risco, a quantidade de indivíduos atingidos pelo alagamento envolve o aspecto da exposição, sendo que a sua distribuição na bacia relaciona-se com a vulnerabilidade. Ou seja, os aspectos de risco são dependentes uns dos outros, sendo que, sua avaliação de forma integrada permite um entendimento melhor das características do alagamento.

Outra característica relevante é a geração de escoamento superficial da bacia de contribuição, no ponto do alagamento, pois quanto maior o volume escoado superficialmente maior é a capacidade de gerar alagamentos quando acumulado em um ponto, seja este acúmulo promovido pelo estrangulamento da seção transversal ou pela topografia do terreno. A geração do escoamento superficial relaciona-se diretamente com a ameaça, do triângulo de risco, e indiretamente com a vulnerabilidade, pois quanto maior o volume gerado e conseqüentemente escoado, maior o risco da população frente ao evento de alagamento.

Portanto, é possível concluir que o Índice de Risco de Alagamento deve retratar as características anteriormente expostas de forma clara, para que a leitura dos seus resultados seja realizada de forma simples. Considerando que o índice deve retratar vários aspectos em apenas um único valor, para a sua composição devem ser utilizados indicadores, cuja função é representar separadamente cada um dos aspectos retratados pelo índice.

Para este trabalho, o Índice de Risco de Alagamento foi obtido a partir do somatório dos 4 indicadores apresentados. A escolha do somatório se deve à sua capacidade de permitir a verificação dos efeitos de cada um dos indicadores sobre o Índice, facilitando a avaliação

dos seus resultados. Portanto, o Índice de Risco de Alagamento adotado para a Bacia do Riacho Reginaldo pode ser obtido a partir da Equação (1).

$$\text{IRA} = \text{Ic} + \text{If} + \text{Ip} + \text{Iq} \quad (1)$$

Onde:

IRA: Índice de Risco de Alagamento;

Ic: Indicador de Consequência;

If: Indicador de Probabilidade de Ocorrência (Frequência);

Ip: Indicador de População Atingida;

Iq: Indicador de Geração de Escoamento Superficial.

O Índice de Risco de Alagamento torna-se uma importante ferramenta de gestão das águas pluviais urbanas, pois permite comparar as diversas regiões da bacia frente aos alagamentos. Com base em seus resultados é possível determinar as regiões mais críticas, associadas aos alagamentos, e assim priorizá-las quando forem realizados projetos que minimizem tais impactos. Para a composição dos 4 indicadores utilizados, foram associados 4 níveis de avaliação (de 1 a 4), associados à magnitude da característica analisada. Uma vez que não foi desenvolvida uma análise para avaliar a priorização de uma característica em relação à outra, o peso de cada um dos indicadores usado na composição do índice é o mesmo, ou seja, não há diferença de importância entre os indicadores.

A escolha por avaliar as quatro características com o mesmo grau de importância, ou seja, não priorizando nenhuma delas e, portanto, não atribuindo pesos diferentes aos indicadores, deve-se ao fato da variação de importância entre os indicadores de acordo com a abordagem da avaliação. Por exemplo, para estudos realizados pela defesa civil a característica mais relevante poderia ser o número de pessoas afetadas pelo evento, ou seja, o indicador de população atingida. Entretanto, quando avaliadas as perdas financeiras promovidas pelo evento, a característica mais importante poderia ser a profundidade do alagamento, ou seja, o indicador de consequência.

Nos itens seguintes, além das metodologias utilizadas para a obtenção das informações a serem representadas, são apresentadas também a amplitude dos dados e a sua discretização em níveis pré-estabelecidos.

### 3.2.1 Indicador das Consequências

A profundidade é a consequência concreta que caracteriza o alagamento, não apenas pela sua capacidade de refletir os danos provocados pelo mesmo, mas também por ser uma propriedade concreta e visível. É a profundidade que determina o grau de exposição da população ao alagamento, ou seja, se a profundidade for pequena (não alcançando o interior das residências) acarretará apenas problemas de deslocamentos nas ruas, quanto maior a profundidade, maiores também serão os danos, tornando muitas vezes necessário a retirada dos indivíduos de suas residências. Quando são avaliadas as profundidades atingidas dentro das residências podem ser destacados alguns limites de acordo com os danos causados, tais profundidades foram adaptadas de Zonensein (2007) para profundidades atingidas no interior das residências e com base nas informações coletadas dos moradores nas visitas de campo.

- Com uma profundidade até 0,10 m já ocorrem danos a estrutura e são perdidos alguns bens, porém, muitas vezes, os moradores não chegam a deixar as residências.
- Com uma profundidade entre 0,10 e 0,80 m praticamente todos os bens já foram perdidos, os moradores geralmente retiram-se das residências.
- Com uma profundidade entre 0,80 e 1,50 m existe a probabilidade da ocorrência de afogamentos e arraste de pessoas.
- A partir da profundidade de 1,5 m, avaliando-se a curva de danos de inundação versus profundidade de submersão apresentada por Machado et. al, (2005), os custos das perdas tornam-se praticamente constantes. Concluindo-se que, a partir desta profundidade já foram perdidos todos os bens.

No presente trabalho, as consequências dos alagamentos são avaliadas através da profundidade de água no interior das residências. Esta característica foi levantada junto aos moradores das regiões atingidas pelos alagamentos em visitas de campo, onde eram identificadas as alturas de água atingidas nas residências, a partir de marcas de cheias nas paredes das casas ou de informações dos próprios moradores. A partir do nível de água de cheia, e com o auxílio do MNT, foram traçadas as linhas d'água para as profundidades identificadas. Para cada uma das profundidades utilizadas como referência, foi atribuído um valor de indicador, de acordo com seu grau de risco, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Indicador das Consequências

<b>Profundidade (m)</b>	<b>Indicador</b>
< 0,10 m	1
< 0,80 m	2
< 1,5 m	3
≥ 1,5 m	4

Fonte: Autora, 2009

Visto que os indicadores são atribuídos às áreas de alagamento obtidas junto à população residente na região, as áreas não atingidas por alagamentos naturalmente já são excluídas do estudo. Portanto, o primeiro nível do indicador já corresponde a uma profundidade de alagamento (inferior a 0,10m). A partir de 1,5 m todos os bens já foram perdidos e os moradores já abandonaram as residências, o que significa, portanto, que as profundidades acima da mesma foram consideradas as mais críticas (nível 4).

Como já apresentado no 3.1.7 foi possível delimitar para cada uma das regiões da bacia a máxima área exposta ao alagamento (relativa ao evento que proporcionou maior profundidade, segundo os moradores) e, em alguns casos, uma área com alagamentos mais frequentes. De posse da área máxima atingida pelos alagamentos, foi possível delimitar as profundidades atingidas pela água dentro das residências, para os 4 níveis do indicador relativo às consequências.

Ou seja, partindo-se do valor da cota da área máxima de alagamento e, considerando-se que acima da mesma não existe alagamento (dentro do período analisado), foram definidas (através de subtração) as cotas que correspondiam ao limite das áreas onde as residências ficariam sujeitas a profundidades de 0,10, 0,80 e 1,5 m (profundidades de referência, conforme Tabela 4). Cada uma das áreas compreendidas entre duas linhas que delimitavam as referidas cotas receberam um valor de indicador de acordo com a Tabela 4.

A partir da delimitação das áreas de cada um dos níveis do indicador sobrepostos aos mapas referentes à hidrografia, malha viária, limite da bacia e demais informações relevantes foi confeccionado o mapa do Indicador das Consequências.

### 3.2.2 Indicador de Probabilidade de Ocorrência

A probabilidade de ocorrência de um alagamento refere-se à frequência com que uma determinada área é atingida pelo alagamento. Tal etapa baseou-se nas informações obtidas junto aos moradores quanto ao número de vezes, em um determinado período, que a região foi atingida por um alagamento de determinada magnitude. Deve-se observar que esse valor, geralmente, está associado ao número de anos que o morador reside na região. Para cada uma das áreas atingidas pelos alagamentos e com base nas informações de frequência dos vários moradores da região foi possível determinar os tempos de recorrência aproximados dos alagamentos para as diversas profundidades mencionadas por eles.

Os eventos de maior magnitude relatados pelos moradores, ou seja, os que atingiram a maior área de abrangência e conseqüentemente atingiram as maiores profundidades, são os que possuem tempo de recorrência maior. Portanto, a mesma área alagada possui duas características atribuídas a ela, a sua conseqüência (profundidade) e a sua frequência (recorrência). Portanto, ambos os indicadores possuem delimitações máximas coincidentes, a área máxima alagada.

Convém ressaltar que, nem sempre a magnitude do evento chuvoso possui relação direta com a magnitude do evento de alagamento, visto que o mesmo depende de outras características, como por exemplo, a situação de conservação dos canais de escoamento ou as chuvas antecedentes.

Destaca-se ainda que, o tempo de recorrência para os eventos menos frequentes refere-se ao evento de maior magnitude dos últimos anos, onde o número de anos varia de acordo com a vivência do morador na região alagada, ou seja, de características como o tempo de moradia na região afetada e de quantos alagamentos o mesmo presenciou. Considerando que, em todos os casos, para a bacia do Riacho Reginaldo, os eventos de maior magnitude (que geraram as maiores profundidades) ocorreram apenas uma vez, variando de evento de uma região para a outra da bacia, o termo *tempo de recorrência* passa a ser tempo de ocorrência, por ter ocorrido apenas uma única vez.

Como o indicador do tempo de ocorrência foi determinado através do tempo de recorrência (em anos), o indicador foi dividido em quatro faixas, dando peso maior as áreas constantemente atingidas pelos alagamentos, ou seja, com tempo de recorrência menor, obedecendo a faixas apresentadas na tabela 5.

Tabela 5: Indicador de Probabilidade de Ocorrência

TR (anos)	Indicador
< 1	4
< 5	3
≤ 15	2
>15	1

Fonte: Autora, 2009

As regiões frequentemente alagadas (TR<1 ano), mesmo que com pequenas lâminas de água, são consideradas críticas, pois podem reduzir o valor de venda dos imóveis e, no caso de imóveis comerciais dificultam a fixação de comerciantes no local, devido à constante perda dos bens e a dificuldades constantes de acesso. Portanto, alagamentos com tempo de recorrência inferior a 1 ano receberam o maior valor do indicador, o valor quatro (4).

O valor do tempo de recorrência inferior a 5 anos, relativo ao indicador 3, foi definido com base na sua relação direta com o dimensionamento das estruturas de drenagem.

O valor de TR referente a 15 anos separa os indicadores de valor 1 e 2, foi determinado com base nas informações de campo, pois se trata do período médio de residência dos moradores na bacia visto que, a ocupação de algumas regiões da bacia é recente.

A partir da delimitação, em cada uma das regiões da bacia, das áreas alagadas (máxima e com alta frequência de alagamentos), buscou-se avaliar o tempo de recorrência desses alagamentos. A área de alagamento máxima possui, de maneira geral, um único evento observado durante o período de ocupação urbana na região e, portanto, seu tempo de recorrência foi considerado como igual ao tempo de vivência das pessoas que relataram os alagamentos na região. Assim sendo, cada uma das áreas alagadas possui um tempo de recorrência diferente, de acordo com as informações obtidas em campo. Por outro lado, os eventos mais frequentes permitem uma melhor avaliação dos tempos de retorno, uma vez que os níveis se repetiram várias vezes em um período de alguns anos (variável de uma região para outra).

De posse das áreas alagadas e seus respectivos tempos de recorrência, juntamente com a hidrografia, malha viária, limite da bacia e demais características foi composto o mapa de probabilidade de ocorrência.

### 3.2.3 Indicador de População Atingida

O terceiro componente do Índice de Risco refere-se à exposição da população ao alagamento. Considerando-se que uma forma de avaliar este componente é através do número de indivíduos e bens econômicos atingidos, torna-se necessário utilizar um indicador que represente tal grandeza.

Para a determinação do Indicador de População Atingida, foram utilizados os dados referentes à Contagem da População 2007 - Agregado por Setores Censitários (IBGE, 2009a) realizada pelo IBGE. A escolha pela definição da população atingida pelos alagamentos através das informações agregadas por setores censitários foi feita, pois, segundo IBGE (2009a), o setor censitário é a menor unidade territorial, com limites físicos identificáveis em campo, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto esgota a totalidade do Território Nacional.

Desta forma, os setores censitários abrangem a totalidade da área da bacia e conseguem discretizá-la em áreas de tamanho adequado ao objetivo da pesquisa em questão. Os limites dos setores censitários da bacia do Riacho Reginaldo também foram obtidos do site do IBGE (IBGE, 2009b), onde são fornecidos os limites dos setores censitários para o município de Maceió, de onde foi possível extrair da totalidade dos setores censitários do município, apenas os setores pertencentes à bacia em estudo, reduzindo os setores de 872 (todo o município) para 247 (situados na bacia do Riacho Reginaldo).

Juntamente com a delimitação dos limites dos setores censitários também foram fornecidas informações quanto ao seu perímetro e área, além da sua identificação numérica. Esta identificação numérica permite fazer a integração entre as informações constantes nos documentos da contagem da população e a sua distribuição espacial.

Cada conjunto de arquivos de informações da contagem da população refere-se a um estado da federação (mais o distrito federal), o arquivo constitui-se de várias planilhas onde são expostas informações como: códigos e nomes das subdivisões geográficas, informações sobre as características dos domicílios, sobre os responsáveis pelos domicílios, população residente, entre outras. Além das planilhas é fornecido também um documento onde são apresentadas informações relativas ao estudo, bem como a descrição das informações contidas nas planilhas.

Todas as planilhas (Figura 33) possuem a identificação do setor censitário, a situação e o tipo do setor. Cada linha existente nas planilhas, com exceção da linha do cabeçalho, refere-se a um setor censitário, identificado através de um código numérico com 15 dígitos que corresponde a informações de: unidade da federação, município, distrito, subdistrito e setor.

Cada coluna refere-se a uma variável do setor censitário, identificada através de um código com o seguinte formato Vnnnn, onde nnnn é um número. A descrição de cada um dos códigos encontra-se no documento que acompanha as planilhas e a variável utilizada no presente estudo foi a V0301 – Pessoas (população residente no setor).

Figura 33 - Parte da planilha de informações da contagem de população

Variável

↓

Identificação do setor censitário →

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Cod_setor	Situacao	Typo_do_seto	V0301	V0302	V0303	V0304	V0305	V0306	V0307	V0308	V0309	V0310	V0311	V0312	V0313	V0314	V0315	V0316
2	270010205000001	1	0	1333	1320	0	6	7	665	659	4	2	668	661	2	5	320	239	0
3	270010205000002	1	0	2053	2050	0	3	0	974	974	0	0	1079	1076	3	0	499	342	1
4	270010205000003	1	0	1979	1970	4	5	0	969	966	3	0	1006	1004	2	0	478	352	0
5	270010205000004	5	0	267	267	0	0	0	129	129	0	0	138	138	0	0	76	47	0
6	270010205000005	8	0	1324	1295	0	29	0	662	646	16	0	662	649	13	0	277	221	0
7	270010205000006	8	0	1604	1604	0	0	0	831	831	0	0	773	773	0	0	353	280	0
8	270010205000007	8	0	142	141	0	1	0	74	73	1	0	68	68	0	0	35	28	0
9	270010205000008	8	0	724	724	0	0	0	392	392	0	0	332	332	0	0	147	112	0
10	270010205000009	8	0	1256	1225	26	5	0	640	639	1	0	590	586	4	0	283	204	0
11	270010205000010	8	0	1484	1483	0	1	0	761	761	0	0	723	722	1	0	288	227	0
12	270010205000011	8	0	1369	1369	0	0	0	695	695	0	0	674	674	0	0	317	225	0
13	270010205000012	8	0	811	810	0	1	0	416	415	1	0	395	395	0	0	170	144	0
14	270010205000013	8	0	1322	1322	0	0	0	646	646	0	0	676	676	0	0	282	218	0
15	270010205000014	8	0	697	674	22	1	0	341	340	1	0	334	334	0	0	149	119	0
16	270010205000015	5	0	136	136	0	0	0	72	72	0	0	64	64	0	0	40	29	0
17	270010205000016	5	0	455	455	0	0	0	230	230	0	0	225	225	0	0	124	88	0
18	PESSOAP1	27																	

↑

Identificação da planilha

Fonte: Autora, 2009

De posse do número de pessoas residentes em cada setor censitário e da sua respectiva área, foi possível obter a densidade demográfica de cada setor dividindo o primeiro valor pelo segundo e, conseqüentemente obtendo o número de pessoas expostas aos alagamentos, considerando que quanto maior a densidade maior é o número de pessoas expostas.

Convém salientar que a densidade populacional bruta é descrita através da relação entre a população residente e a área total da região avaliada, seja ela uma cidade, país, ou um setor censitário. A densidade líquida relaciona a população residente apenas com as áreas ocupadas e não com a totalidade da área avaliada. Para a presente avaliação, foi considerada a densidade bruta, considerada como representativa das condições reais, visto que os setores censitários possuem em média 14 ha, ou seja, dividem a área da bacia em pequenas porções.

Para a determinação dos níveis do indicador relativo à população atingida, foi avaliada a densidade populacional dos setores censitários atingidos pelos alagamentos. Dos 247 setores censitários situados total ou parcialmente na bacia, 84 são atingidos pelas áreas de alagamento, com densidade populacional dos setores censitários atingidos variando entre 10 e 1467 hab/ha, sendo que apenas 4 deles possuem densidade superior a 400 hab/ha, e que mais da metade (57%) dos setores atingidos pelos alagamentos possui até 100 hab/ha.

Desta forma, foi considerado que o acréscimo de 100 hab/ha na densidade populacional delimitaria um novo nível do indicador. Uma vez que o indicador possui quatro níveis, a escala abrange até os 400 hab/ha, aos valores superiores a este (4 ocorrências) foi atribuído o maior valor do indicador (4). A definição das faixas de densidade, para cada um dos valores do indicador, encontra-se apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Indicador de População Atingida

Densidade (hab./ha)	Indicador
Até 100	1
Até 200	2
Até 300	3
Igual ou superior a 300	4

Fonte: Autora, 2009

O mapeamento do Indicador da população atingida foi confeccionado a partir da delimitação dos setores censitários e as respectivas informações de população residente em cada uma delas, obtidas do IBGE. Contudo, foi necessário o ajuste da camada do mapa relativo à delimitação dos setores censitários devido aos diferentes posicionamentos dos mesmos pontos nos arquivo dos setores censitários disponíveis no site do IBGE e na imagem de satélite da região. Este ajuste foi realizado com base em pontos facilmente identificáveis no arquivo dos setores censitários e na imagem de satélite, considerando que os pontos da imagem estavam com as coordenadas corretas, estas coordenadas foram atribuídas aos mesmos pontos dos setores censitários, fazendo com que os demais pontos se ajustassem aos pontos com coordenadas conhecidas. Tal ajuste foi realizado com o auxílio do programa ArcGis®.

Considerando que, mesmo com o ajuste realizado na camada dos setores censitários ainda eram observadas algumas diferenças entre as informações da imagem de satélite e a delimitação dos setores, foi realizada uma visita ao IBGE, com o intuito de sanar tais discordâncias. Funcionários do IBGE informaram que a delimitação dos setores censitários pode não representar fielmente a realidade, pois é confeccionada a partir de croquis feitos em campo (sem escala) e que, apenas a partir do ano 2010 será introduzido o uso de GPS para melhorar o refinamento dessas bases.

Como o croqui confeccionado em campo possui algumas referências (como nomes de ruas, por exemplo), as informações neles contidos são confrontadas com a base existente, dirimindo parte das incertezas. Entretanto, nas regiões de aglomerados subnormais (grotas e

favelas) esse refinamento torna-se precário, devido à dificuldade de obtenção de pontos de referência em campo para posterior refinamento.

Como, parte das áreas alagadas está situada em regiões com a ocorrência de aglomerados urbanos subnormais e, considerando que existem problemas de posicionamento e escala dos setores censitários nessas regiões o ajuste, caso fosse realizado para a bacia como um todo, poderia apresentar grandes distorções. Portanto, para a delimitação do mapeamento do Indicador População Atingida, foi realizado um novo ajuste nas informações de delimitação dos setores separadamente, para cada uma das regiões alagadas da bacia.

De posse da delimitação das manchas de alagamento e dos setores censitários (devidamente ajustados), foram obtidas as áreas dos setores contidas dentro da mancha de alagamento, excluindo-se do estudo áreas que não estão sujeitas aos alagamentos.

#### 3.2.4 Indicador de Geração de Escoamento Superficial

Considerando que uma das principais características das bacias urbanas, como a do Riacho Reginaldo, é a alta taxa de impermeabilização do solo e conseqüentemente, a alta geração do escoamento, a quantificação deste volume escoado é relevante, pois quanto maior o volume escoado superficialmente maior é a sua capacidade de gerar alagamentos quando a calha não possui capacidade de escoar esse volume gerado. Portanto, para avaliar a capacidade de geração de alagamentos foi considerado um indicador de geração de escoamento superficial.

A avaliação da geração de escoamento superficial foi realizada através da vazão específica. Para o levantamento das características da vazão específica da bacia do Riacho Reginaldo, foi utilizado como base o trabalho de Pedrosa (2008), onde a bacia foi dividida em 16 sub-bacias, com determinação do uso e ocupação do solo através de imagens de alta resolução e visitas em campo. De posse das características físicas, o autor realizou as simulações da transformação chuva-vazão para diferentes cenários. Os resultados obtidos por Pedrosa (2008) utilizados para avaliar o Indicador de Geração de Escoamento foram as vazões de pico, com tempo de retorno da chuva de projeto igual a 10 anos, para a determinação das vazões específicas para cada uma das sub-bacias. Na Tabela 7 podem ser observadas as características de cada uma das sub-bacias, tais como área, vazão de pico ( $Q_{pico}$ ) e vazão de pico específica ( $Q_{pe}$ ).

Tabela 7: Características das 16 sub-bacias para o cálculo da vazão específica de pico

Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Vazões	
		Qpico (m <sup>3</sup> /s)	Qpe (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
1	1,27	12,49	9,85
2	1,72	18,21	10,57
3	1,93	22,48	11,64
4	2,74	33,61	12,28
5	3,64	40,38	11,08
6	1,08	11,49	10,66
7	0,79	8,41	10,67
8	0,43	6,06	14,03
9	1,46	19,47	13,38
10	0,56	6,48	11,48
11	1,00	9,12	9,10
12	2,85	23,01	8,08
13	1,15	10,90	9,52
14	0,36	4,21	11,65
15	1,40	10,26	7,35
16	4,12	34,61	8,40

Fonte: Pedrosa, 2008

Destaca-se que a utilização deste indicador engloba informações de características físicas da bacia e de tipo, uso e ocupação do solo, uma vez que estas características alteram os tempos de resposta da bacia e a geração de escoamento superficial. Esses valores foram utilizados como referência para a composição do Indicador de Geração de Escoamento Superficial. Considerando que os valores de vazão específica obtidos variam de 7,35 até 14,03 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, foi convencionado que o acréscimo de 2 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> a vazão específica seria o limitador dos níveis do indicador. Portanto, os níveis do Indicador de geração escoamento respeitam valores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Indicador de Geração de Escoamento Superficial

Indicador	Vazão específica (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
1	Até 9,00
2	Até 11,00
3	Até 13,00
4	Acima de 13,00

Fonte: Autora, 2009

De posse da delimitação da área das 16 sub-bacias e suas respectivas vazões específicas, foi possível obter para cada uma das manchas de alagamento a delimitação das áreas compreendidas em cada uma destas sub-bacias, excluindo assim as regiões não atingidas

pelos alagamentos. O produto do cruzamento destas duas informações foi um mapa com a delimitação da vazão específica para as manchas de alagamento que, além de permitir a avaliação da capacidade de geração do escoamento superficial, torna possível a atribuição dos valores do indicador apresentados na Tabela 08.

A superposição deste mapa com as demais informações a bacia como a hidrografia, malha viária, limite da bacia dentre outras compôs mapa do indicador de geração de escoamento superficial da bacia do Riacho Reginaldo.

### 3.2.5 Mapeamento do Índice de Risco de Alagamento

Considerando que, o Índice de Risco de Alagamento é o somatório dos indicadores (de conseqüências, probabilidade de ocorrência, população atingida e geração do escoamento superficial) o mapeamento do Índice é composto pelo somatório dos valores dos indicadores espacializados.

Entretanto, mesmo os indicadores possuindo a mesma delimitação externa, o da mancha de alagamento, a espacialização dos valores em seu interior varia de forma diferente, de acordo com as características de cada um dos indicadores. A representação gráfica de cada um dos indicadores é composta por diversos polígonos, cada um deles possui um atributo que corresponde ao valor do indicador (1 a 4), sendo que todo o polígono possui um mesmo atributo. Tendo em vista tal afirmação, para que seja possível a soma espacializada desses valores representados em blocos (polígonos), foi necessário transformar o polígono em raster.

A principal diferença entre os dois é que, o vetor possui uma delimitação física, polígono ou linha, e a ele são atribuídas as características da feição (atributo) de acordo com a característica que o mesmo representa como, por exemplo, a delimitação de um determinado uso do solo, ou a delimitação de um bairro. De forma diferente, o raster atribui um valor da feição para cada pixel da imagem, os vários pixels de uma mesma característica delimitam a área de uma mesma feição. Portanto, este último, permite a confecção de cálculos matemáticos com os valores dos pixels da imagem, através da ferramenta chamada álgebra de mapas.

Finalmente, através da ferramenta de álgebra de mapas foi obtido o mapa do Índice de Risco de Alagamento para a bacia do Riacho Reginaldo, através da adição dos valores das quatro imagens dos indicadores.

## **4 RESULTADOS**

Conforme apresentado no Capítulo 1.1, o objetivo do presente estudo é a construção e mapeamento de um Índice de Risco associado à Alagamentos (IRA) para a bacia do Riacho Reginaldo. Para alcançar tal objetivo foram necessárias algumas etapas intermediárias, entre elas:

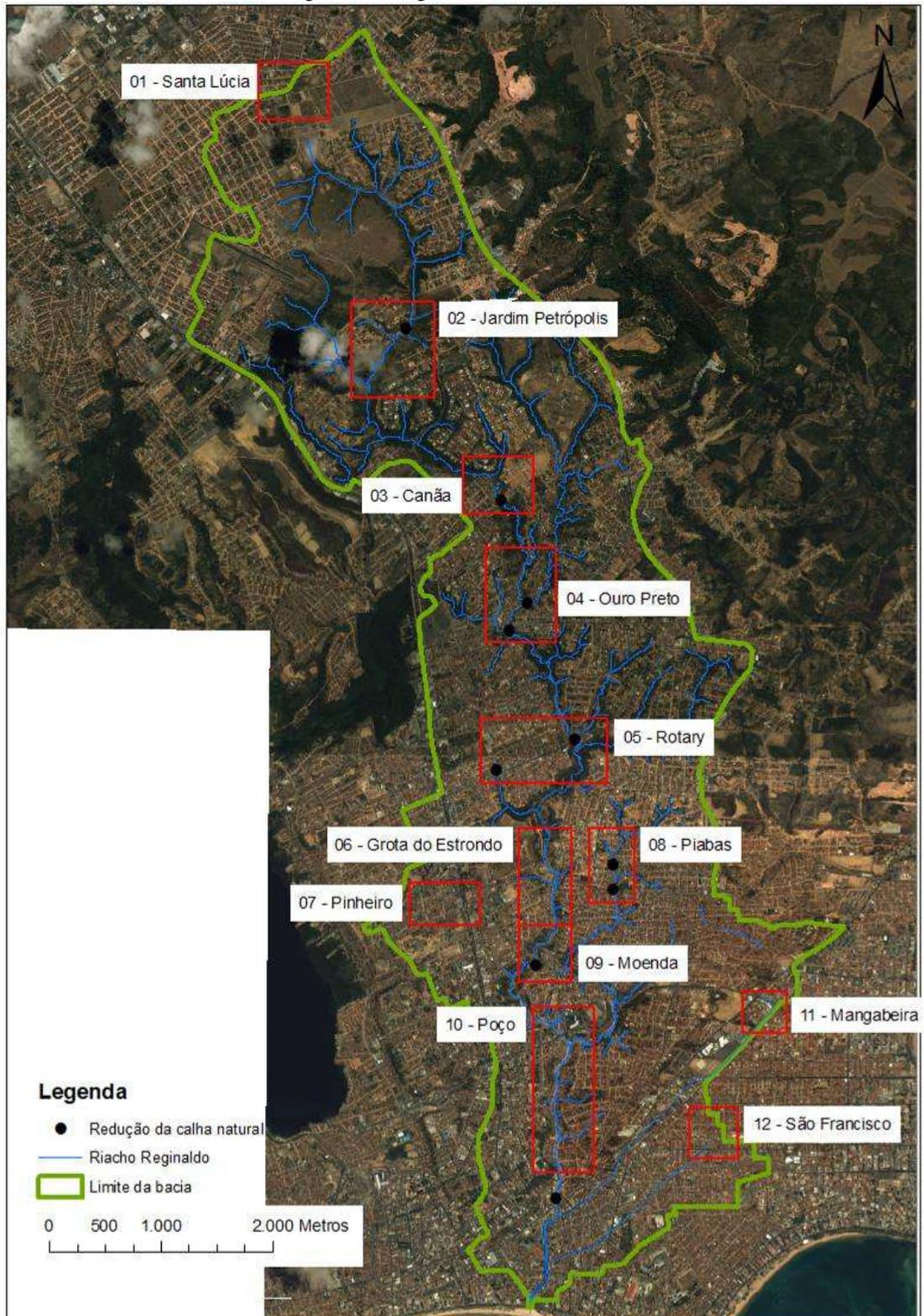
- a) Levantamento das regiões com problemas de alagamento;
- b) Caracterização ambiental das áreas com problemas relativos a alagamentos;
- c) Delimitação dessas áreas de alagamento e as características relevantes a elas associadas;
- d) Mapeamento dos indicadores que compõem o Índice de Risco de Alagamentos.

Desta forma, neste capítulo são apresentados, além do mapeamento do próprio Índice de Risco de Alagamento para a bacia do Riacho Reginaldo, os resultados referentes às etapas acima apresentadas, bem como as principais características envolvidas com cada uma delas.

### **4.1 Caracterização Ambiental da Bacia do Riacho Reginaldo**

Para a adequada avaliação do Índice de Risco de Alagamento é necessário que, sejam conhecidos os vários aspectos que norteiam os eventos de alagamento, entre os quais podem ser citadas as causas desses alagamentos e os impactos produzidos pelos mesmos. A caracterização ambiental da bacia fornece subsídios para uma avaliação detalhada dessas áreas sujeitas à alagamentos. No presente estudo esta caracterização foi realizada através de visitas de campo, em artigos relativos a bacia, visitas a órgãos públicos envolvidos, entre outros. Para facilitar a identificação das regiões a serem detalhadas, a Figura 34 apresenta o mapa da bacia, com a denominação das 12 regiões críticas de alagamento, ou seja, onde o alagamento atinge o interior das edificações.

Figura 34 - Regiões a serem detalhadas



Fonte: Autora, 2008

Apesar das regiões 03 (Canaã) e 11 (São Francisco) serem regiões com problemas de alagamento não foi possível delimitar suas áreas alagadas, pois durante a definição destas áreas foram utilizadas apenas as regiões onde se dispunha de uma quantidade de informações suficientes para a adequada delimitação das mesmas, desta forma, a falta de informações adequadas inviabilizou a confecção dos mapas das áreas de alagamento para estas duas regiões.

Na região 03, situada no bairro do Canãa, algumas residências estão suscetíveis a alagamentos, sendo que em alguns pontos o nível da água dentro das residências chegou a 1,50 m. Entretanto, tal região foi descartada do levantamento pois, não se dispunha de informações de pontos cotados, em número adequado, para a delimitação das áreas alagadas desta região.

Da mesma forma, a região 11, situada na Rua São Francisco (bairro da Jatiúca), também foi descartada do levantamento, pois, as informações de cotas obtidas da base cartográfica não correspondiam às informações observadas em campo. Assim sendo, para evitar a ocorrência de incertezas nos resultados, para tal região, não foi delimitada a área de alagamento, mesmo tendo sido constatado que na região a profundidade de água dentro das residências chegou a 30 cm em alguns pontos.

#### 4.1.1 REGIÃO 01 – Santa Lúcia

A região identificada como 01 – Santa Lúcia (Figura 35) se situa no limite dos bairros Santa Lúcia e Antares (bacia do Riacho Reginaldo) e o bairro do Tabuleiro dos Martins (bacia do Tabuleiro dos Martins). Encontra-se em processo de urbanização, sendo observada a presença de alguns terrenos desocupados e várias construções novas na região. Sua ocupação é predominantemente por residências de classe média baixa e pequenos comércios como: mercadinhos, bares, padarias, ferragens e postos de gasolina.

Nos últimos dois anos foram realizadas obras de infra-estrutura na região, como a pavimentação da Avenida Manoel Afonso de Melo, modificando as características de drenagem e de impermeabilização do solo. Segundo moradores da própria rua, os problemas de alagamento diminuíram após a pavimentação da rua. Observa-se que tal afirmação se deve ao fato da ausência de empoçamentos que comumente ocorrem em ruas de solo exposto. Em contrapartida, moradores da Rua Theodomiro Deodato informaram que a pavimentação da rua anteriormente mencionada promoveu o aumento do volume escoado para a mesma, pois esta se encontra no ponto mais baixo e, portanto, mais suscetível a alagamentos.

Figura 35 - Região 01 – Santa Lúcia



Fonte: Autora, 2008

Nesta região destaca-se a Rua Teodomiro Deopato como uma das mais problemáticas em relação a alagamentos. Na parte não pavimentada da rua, as residências foram construídas praticamente no nível da rua e, pelo menos uma vez no ano, a água atinge cerca de 20 cm dentro das residências (Figura 36 a). Em várias delas, observa-se a construção de batentes para minimizar os danos causados pelos alagamentos (Figura 36 b). Apesar da região pavimentada (asfalto) da rua caracterizar-se por ser o ponto topograficamente mais suscetível a alagamentos, a água não atinge as residências, pois as mesmas foram construídas elevadas. Mesmo nas residências mais elevadas, pode ser observada a presença de batentes, como na parte não pavimentada da rua, os moradores justificam a presença dos mesmos para proteger as residências da entrada da água quando, existe a circulação de veículos nos períodos em que a rua encontra-se alagada, sendo que a referida circulação promove o movimento da água formando ondas, estas algumas vezes invadem as residências (Figura 37).

Figura 36 a - Nível de alagamento atingido dentro da residência e b - Construção de batentes nas residências das ruas não pavimentadas



Fonte: Autora, 2008

Figura 37 - Construção de batentes nas residências das ruas pavimentadas



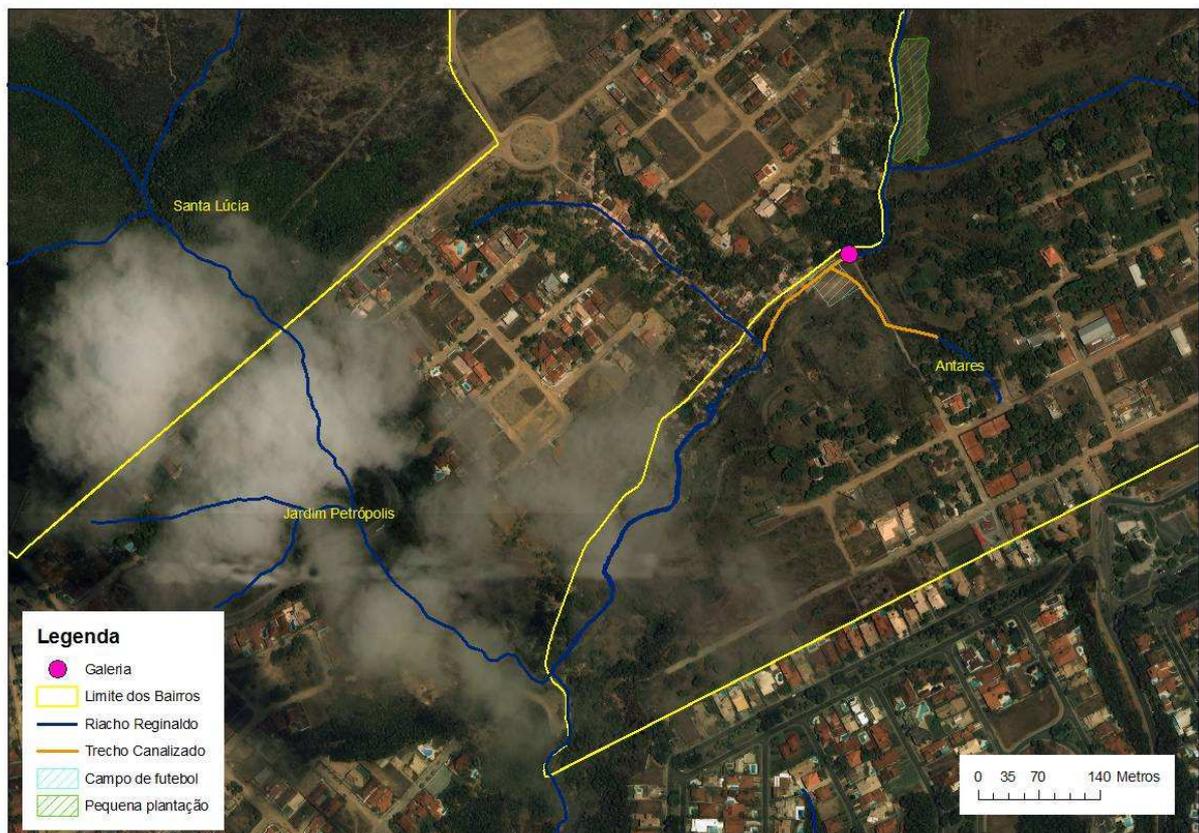
Fonte: Autora, 2008

Observa-se que o serviço de coleta de resíduos sólidos é realizado na região, o que resulta em ambientes sem acúmulo de lixo. Entretanto, observa-se o escoamento de águas servidas nas sarjetas. Da mesma forma, no que se refere à infra-estrutura de drenagem, não foram identificadas redes locais de microdrenagem na rua (inexistência de bocas de lobo ou poços de visita).

#### 4.1.2 REGIÃO 02 – Jardim Petrópolis

Região localizada no limite dos bairros Jardim Petrópolis e Antares (Figura 38), caracteriza-se por grande área verde, inclusive com a presença de plantações e criações de animais (Figura 39). Entretanto, existe pequena concentração de residências de classe média baixa próxima a região canalizada do Riacho Reginaldo, chamada de Grota Poço Azul. Apesar da existência da mata ciliar, em alguns pontos a mesma já foi removida e, substituída pela ocupação residencial, por plantações de culturas de subsistência e área de lazer (campo de futebol).

Figura 38 - Região 02 – Jardim Petrópolis



Fonte: Autora, 2008

Figura 39 - Presença de criação de animais na calha



Fonte: Autora, 2008

Apesar da calha do Riacho Reginaldo na região ser natural (Figura 40 a), existe um pequeno trecho canalizado, sob um campo de futebol (Figura 40 b), ou seja, o campo está sobre a calha do rio. Ainda na mesma região pode ser observada a presença de erosão acentuada provocada, segundo relatos, pelo direcionamento do escoamento de outra bacia (bacia do Tabuleiro) para a bacia do Riacho Reginaldo (Figura 41 a). Esta contribuição atualmente não existe mais, sendo que o escoamento da bacia do Tabuleiro, desde o ano de 2004, é direcionada para a bacia do Riacho Jacarecica. O aumento do escoamento promovido pelo acréscimo da vazão de outra bacia contribuinte necessitava de estruturas de drenagem compatíveis, algumas delas ainda encontram-se na região, danificadas ou assoreadas (Figura 41 b).

Figura 40 a - Calha natural do Riacho Reginaldo e b - Obstrução da entrada da galeria



a

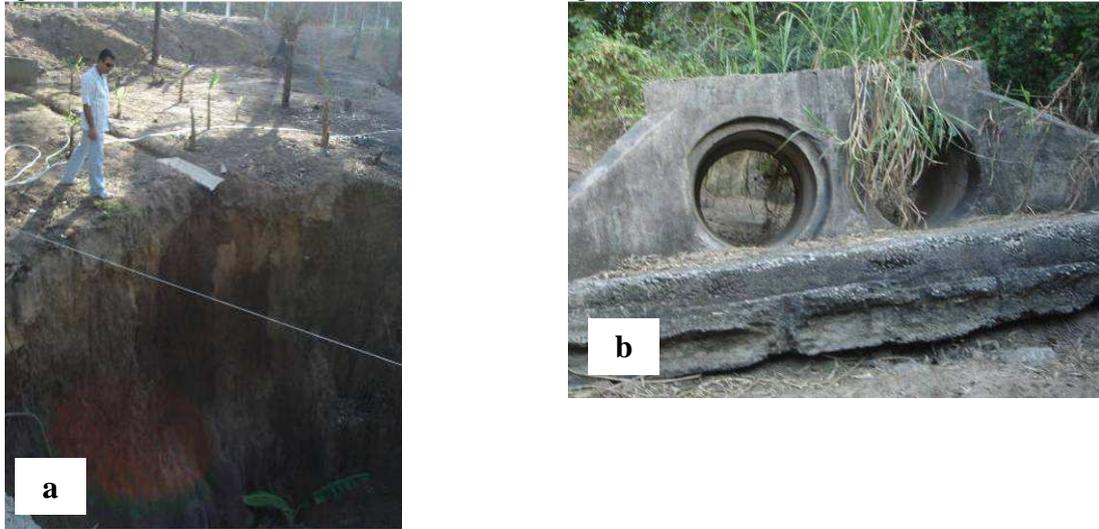
Campo de futebol



b

Fonte: Autora, 2008

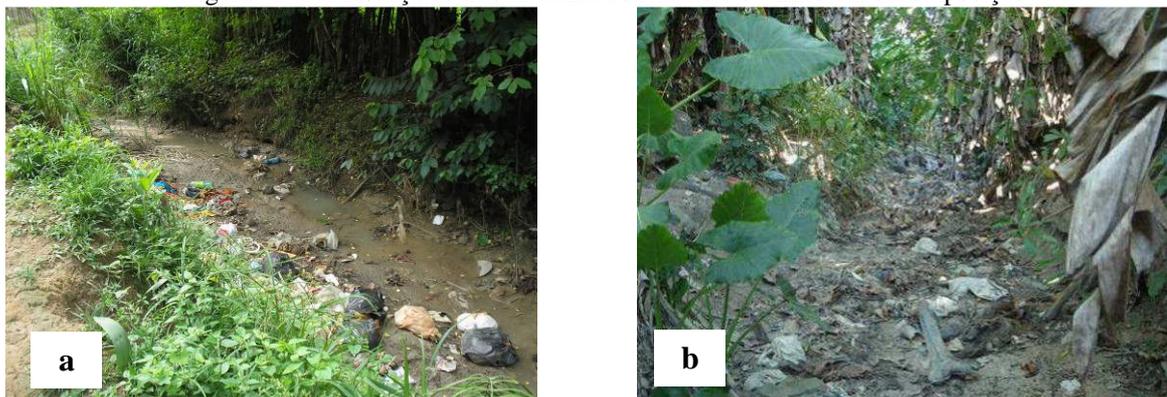
Figura 41 a - Erosão observada na calha do Riacho Reginaldo e b - Estrutura de drenagem danificada



Fonte: Autora, 2008

Pode ser observada ao longo da calha grande quantidade de lixo, galhos e troncos de árvore, indicando problemas associados ao manejo dos resíduos sólidos (Figura 42 a). Alguns pontos da região não têm cobertura de coleta de lixo, o que faz com que o mesmo seja depositado na calha do Riacho, como neste trecho o Riacho Reginaldo não é perene e, portanto permanece seco boa parte do ano o lixo acaba se decompondo no local, gerando mau cheiro e a proliferação de insetos e roedores (Figura 42 b).

Figura 42 a - Presença de lixo na calha do Riacho e b - Lixo em decomposição



Fonte: Autora, 2008

Diferentemente do período seco, no período chuvoso os resíduos sólidos depositados na calha são carregados, acumulando-se na entrada da região canalizada promovendo a sua obstrução e conseqüentemente o frequente alagamento da região a montante desta obstrução.

A presença da grande quantidade de lixo na calha, juntamente com a presença de esgoto lançado sem tratamento (fato confirmado pela observação de escoamento mesmo sem a ocorrência de chuvas e pelo odor característico), reforça a importância de um trabalho de

consciência ambiental na totalidade da bacia e não apenas nas regiões de jusante, onde os impactos são mais visíveis. Tal afirmação reforça a idéia de que, causas de montante são determinantes para o estado degradado de jusante e que estas condições adversas devem ser mitigadas em todas as regiões da bacia.

#### 4.1.3 REGIÃO 04 – Ouro Preto

Região localizada no limite dos bairros: Ouro Preto, Gruta de Lourdes e Serraria (Figura 43). Caracteriza-se pela ocupação desordenada, constituída por residências de baixa renda construídas junto à calha (Figura 44 a), a região encontra-se em expansão, fator que é comprovado pela presença de residências em construção (Figura 44 b). Sua calha, nesta região, encontra-se natural, sofrendo apenas com as modificações provenientes da ocupação ao longo da mesma.

Figura 43 - Região 04 – Ouro Preto



Fonte: Autora, 2008

Figura 44 a - Residências construídas na calha e b - Novas construções na calha



Fonte: Autora, 2008

Na região, o escoamento sofre, principalmente, a influência da redução da calha natural do Riacho Reginaldo promovido pelo aterramento sob uma via existente no local (Figura 43, Redução da calha 01). No local havia um aterramento de menor porte, onde já existia uma galeria retangular responsável por escoar a água proveniente da região de montante para jusante do aterramento. Com a ampliação da via e, a consequente ampliação do aterramento foi construída uma galeria circular sobre a antiga, fato que pode ser comprovado pela existência dos dois tipos de galeria (Figura 45 a e b). Após a conclusão das obras houve o acúmulo do escoamento na pista (alagamento), dificultando o fluxo de veículos e tornando necessárias novas estruturas de drenagem, entre elas uma escadaria que funciona como dissipador de energia, levando o escoamento da pista para o canal existente no fundo da calha (Figura 46 a e b).

Figura 45 a - Entrada da galeria e b - Saída da galeria



Fonte: Autora, 2008

Figura 46 a - Início do dissipador de energia junto à pista e b - Dissipador de energia



Fonte: Autora, 2008

O evento de alagamento de maior magnitude na região foi o ocorrido em 2004, quando algumas das residências a montante da galeria ficaram submersas, tal evento ocorreu antes das obras de ampliação da via. Após as obras de ampliação, até o momento da visita, não haviam ocorridos mais eventos extremos para que fosse verificada a eficiência da nova rede de drenagem, apenas o evento anteriormente mencionado que promoveu o acúmulo do escoamento na pista.

Apesar da existência da coleta de lixo, tanto das residências quanto diretamente da calha (Figura 47 a), pode ser observado o acúmulo de lixo junto à entrada da galeria indicando que existe o carregamento de resíduos sólidos durante os eventos chuvosos, promovendo a obstrução do escoamento quando acumulados junto à entrada da galeria (Figura 47 b).

Figura 47 a - Coleta de lixo na calha e b - Acúmulo de lixo na entrada da galeria



Fonte: Autora, 2008

Pode ser observado que em alguns trechos a mata ciliar foi retirada em ambas as margens, sendo substituída pela construção de residências (Figura 48 a). Mesmo sendo observada a intensa ocupação urbana (Figura 48 b), ainda existe a presença de algumas áreas verdes e outras áreas onde, apesar da inexistência de vegetação, a superfície permanece sem ocupação, ou seja, o solo encontra-se exposto (região próxima a entrada da galeria).

Figura 48 a - Residências em ambas as margens do Riacho Reginaldo e b - Região com intensa ocupação atingida pelos alagamentos



Fonte: Autora, 2008

O esgoto das residências localizadas junto à calha é lançado diretamente no Riacho, fato evidenciado pelo cheiro e aspecto do pequeno fluxo de água observada na região (Figura 49). Tal fato aumenta o risco de contaminação de doenças, agravado pela presença de criação de animais para consumo junto à calha do Riacho, que inclusive utilizam a água do Riacho para sua dessedentação.

Figura 49 - Fluxo de água proveniente dos esgotos lançados na calha

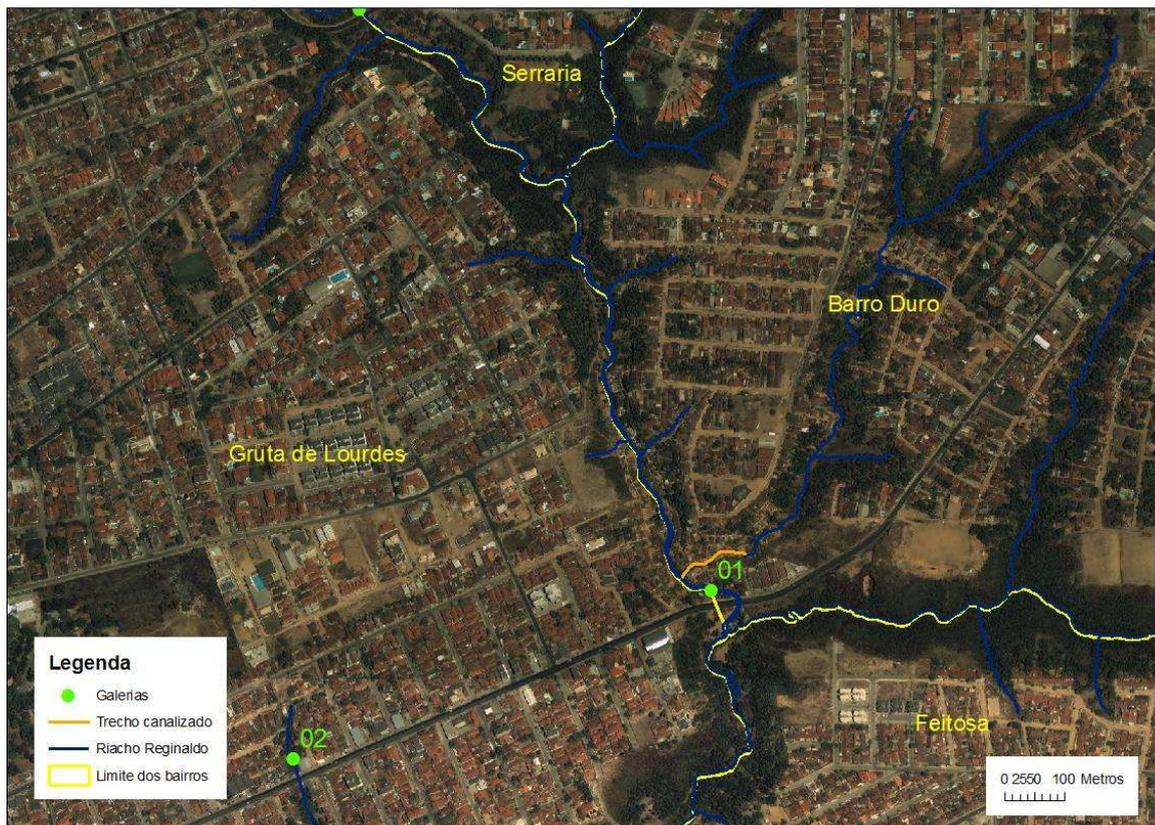


Fonte: Autora, 2008

#### 4.1.4 REGIÃO 05 – Rotary

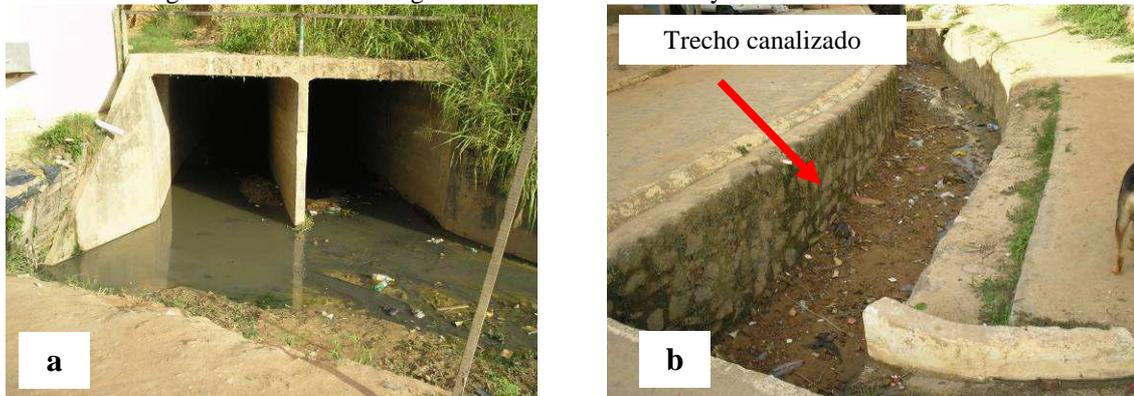
A região alagada próxima a Avenida Rotary situa-se no limite dos bairros: Barro Duro, Gruta de Lourdes e Feitosa. Caracteriza-se pela ocupação residencial da população de baixa renda, junto à calha do Riacho. Na região existe a redução da calha natural do Riacho Reginaldo (Galeria 01, Figura 50), promovido pela galeria sob o aterramento da Avenida Rotary (Figura 51 a) além de, um pequeno afluente canalizado na margem esquerda do Reginaldo (Figura 51 b) que conduz a água proveniente de grotas situadas em regiões mais altas, entre elas a gruta do Pica-Pau.

Figura 50 - Região 05 – Rotary



Fonte: Autora, 2008

Figura 51 a - Entrada da galeria sob a Avenida Rotary e b - Afluente canalizado



Fonte: Autora, 2008

Ainda pode ser observada a presença da mata ciliar na região. Entretanto, nas regiões a montante das duas galerias existentes observa-se que a mata ciliar foi totalmente removida, dando espaço para construções de baixo padrão construtivo. Exatamente nestas regiões é onde ocorrem os alagamentos que, devido à alta concentração populacional, atinge um grande número de pessoas, tornando os eventos ainda mais críticos.

Nesta região existe coleta de lixo, não tendo sido observada a presença de lixo na calha do Riacho Reginaldo. Entretanto, no afluente canalizado pode ser observada a presença

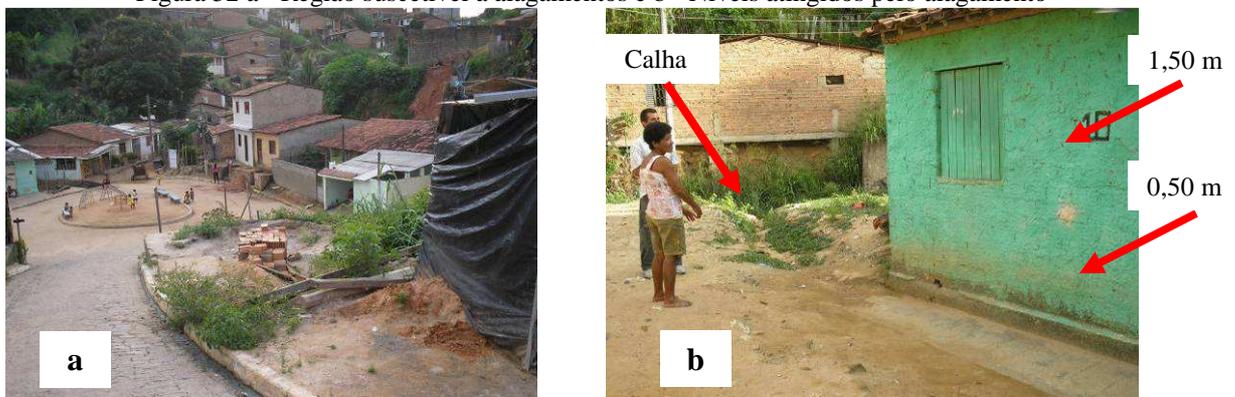
de lixo, indicando que o mesmo deve-se ao carreamento do mesmo das regiões mais altas durante os eventos chuvosos (Figura 51b).

A redução da calha do Riacho anteriormente citada (Galeria 01 da Figura 50), contribui para o alagamento da região a montante, atingindo uma área com intensa ocupação. Tal região é topograficamente suscetível a alagamentos, devido não apenas a sua baixa altitude, mas também a declividade acentuada dos taludes da região (Figura 52 a).

Todos os anos a água atinge o interior das residências, com registro de marcas de cheias nas paredes das edificações (Figura 52 b e Figura 53 a). Na mesma região os níveis máximos atingidos nos eventos críticos diminuíram, segundo os moradores, tal diminuição deve-se a limpeza periódica que é realizada ao longo do canal, aliada a coleta de lixo implantada na região. Apesar da melhoria das condições de fluxo dos canais contribuírem para a redução dos alagamentos, deve-se observar que esta redução pode estar associada, apenas, à percepção dos moradores em um período curto de observação e não a real diminuição da ocorrência de eventos significativos nos últimos períodos chuvosos.

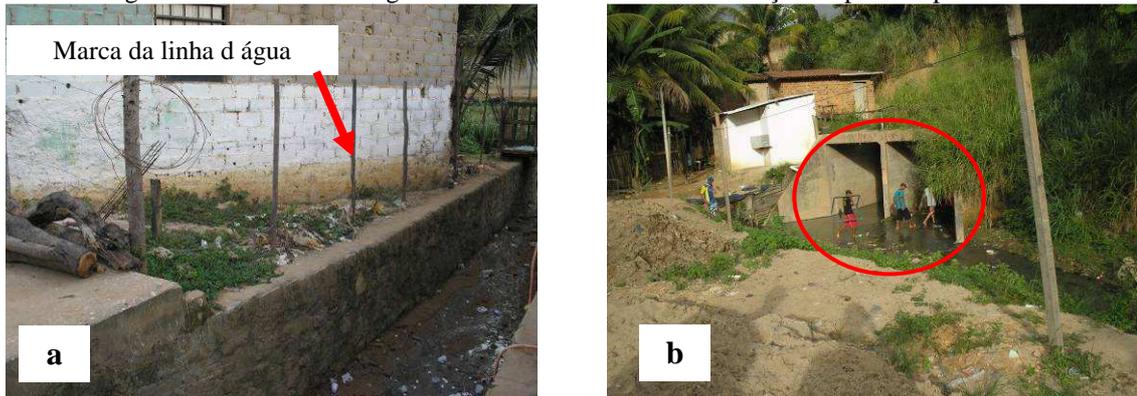
Nessa região, o esgoto das edificações é lançado diretamente na calha do Riacho, tal fato faz com que o esgoto se misture as águas pluviais que invadem as residências durante os alagamentos. A alta concentração da população na região faz com que mais pessoas estejam sujeitas ao contato com água contaminada pelos esgotos, ficando assim mais pessoas suscetíveis as doenças de veiculação hídrica. Mesmo nos períodos secos, quando a água do Riacho é praticamente proveniente dos esgotos lançados na calha, é comum a presença de moradores locomovendo-se pela calha e conseqüentemente em contato com a água contaminada (Figura 53 b).

Figura 52 a - Região suscetível a alagamentos e b - Níveis atingidos pelo alagamento



Fonte: Autora, 2008

Figura 53 a - Marca de alagamento nas residências b - Circulação de pessoas pela calha



Fonte: Autora, 2008

Na região da galeria 02 (Figura 50), houve registro pelos moradores, de apenas um evento de alagamento a montante do mesmo, isto se deve ao fato da calha ser bastante encaixada com taludes muito íngremes, tal fato impede a construção de edificações junto à calha, edificações estas que estariam mais suscetíveis aos alagamentos (Figura 54).

Figura 54 - Galeria existente



Fonte: Autora, 2008

#### 4.1.5 REGIÃO 06 – Estrondo

Região localizada no limite entre os bairros Pitanguiha e Feitosa. Devido às características distintas das áreas da região avaliada, a mesma foi dividida em dois trechos para a melhor caracterização ambiental (Figura 55). Vale ressaltar que ambos os trechos mencionados caracterizam-se pela ocupação desordenada, predominantemente por residências de baixo padrão construtivo. Podendo ser observadas inclusive edificações sobre a calha do Riacho Reginaldo (Figura 56 e Figura 57).

Figura 55 - Região 06 – Estrondo



Fonte: Autora, 2008

Figura 56 - Presença de residências na calha



Fonte: Autora, 2008

Figura 57 - Residência junto à margem



Fonte: Autora, 2008

No trecho 01 (Figura 55) ainda pode ser observada a presença da mata ciliar, principalmente na margem direita. Ainda no mesmo trecho existe a presença de uma grande área verde pertencente ao Exército Brasileiro, onde se observa parte de sua área coberta com vegetação rasteira e o restante caracteriza-se pelo solo nu. Apesar da existência de áreas verdes, pode ser observada a presença de residências de baixo padrão construtivo sobre a calha e junto à margem esquerda, do trecho 01, e da margem direita, do trecho 02.

A região final do trecho 01 caracteriza-se por uma topografia que favorece o extravasamento da área atingida pelo alagamento, a profundidade atingida dentro das residências na região foi de 1 m, sendo que a marca do nível atingido pela água pode ser observada em algumas residências (Figura 58).

Figura 58 - Marca do nível atingido pelo alagamento

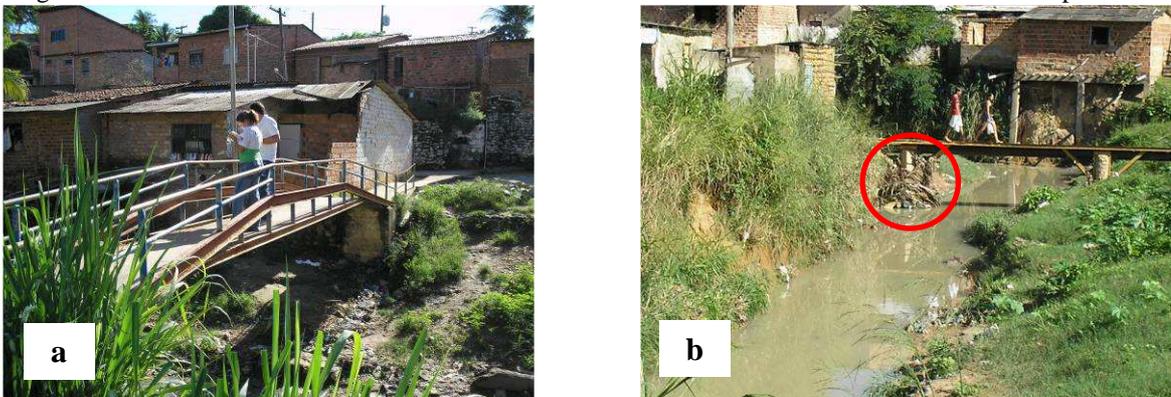


Fonte: Autora, 2008

A região teve um dos seus eventos mais críticos em 2004, onde foram atingidas as maiores profundidades. Os anos de 1994 e 2006 também foram citados como anos onde ocorreram eventos de grande magnitude.

Na região pode ser observada a presença de várias pontes sobre a calha do Riacho Reginaldo (Figura 59 a). Apesar das mesmas não promoverem a redução da calha (por serem confeccionadas com estrutura metálica e, portanto, não necessitando de aterramento), pode ser observada grande quantidade de resíduos presos a sua estrutura, que são carregados durante os eventos chuvosos e se acumulam junto às estruturas das pontes, promovendo a obstrução do escoamento (Figura 59 b). Convém ressaltar que a região possui coleta de lixo nas residências, além da presença constante de uma coletora junto ao campo de futebol onde podem ser depositados resíduos (Figura 60), diminuindo assim o acúmulo de lixo que pode causar o entupimento de galerias a jusante.

Figura 59 a - Pontes metálicas sobre a calha do Riacho e b - Acúmulo de resíduos na estrutura da ponte



Fonte: Autora, 2008

Figura 60 - Coletoras de lixo situadas no campo de futebol



Fonte: Autora, 2008

Em alguns pontos da região 06 pode ser observada a presença de criação de animais na calha do Riacho Reginaldo, que utilizam a água para sua dessedentação, mesmo ela sendo aparentemente poluída pelos esgotos que são lançados, sem nenhum tratamento, no Riacho (Figura 61).

Figura 61 - Criação de animais na calha do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2008

#### 4.1.6 REGIÃO 07 – Pinheiro

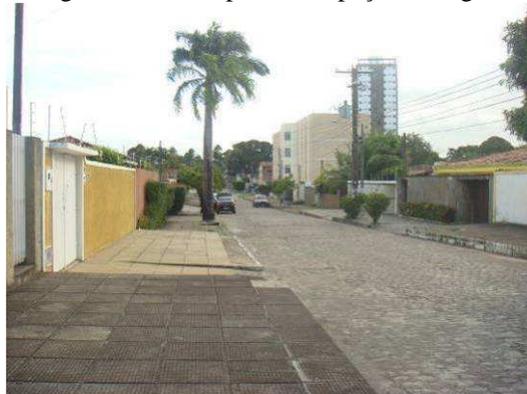
A região localiza-se no bairro Pinheiro, próximo aos limites dos bairros Farol e Pitanguinha (Figura 62). A taxa de impermeabilização do solo na região é alta, praticamente toda a vegetação foi removida, restando apenas algumas árvores isoladas nas calçadas e em alguns quintais. Caracteriza-se pela ocupação regular de residências de classe média, além de estabelecimentos comerciais como agências de viagem, academias, serviços de informática entre outros (Figura 63). Nesta região intensamente urbanizada, destaca-se a presença de uma área pouco edificada pertencente ao Complexo Educacional Antônio Gomes de Barros (CEAGB), onde existe a presença de vegetação rasteira e solo exposto.

Figura 62 - Região 07 - Pinheiro



Fonte: Autora, 2008

Figura 63 - Exemplo de ocupação da região



Fonte: Autora, 2008

A Rua Miguel Palmeira é famosa devido aos constantes alagamentos sendo, inclusive, objeto de alguns estudos. Neves et al. (2008) destacam a topografia local como um fator desfavorável, que propicia o acúmulo do escoamento em determinados pontos. Os mesmos autores destacam que várias obras já foram realizadas para tentar sanar os problemas de alagamento da região, entretanto nenhuma medida foi eficiente.

A região sofre com alagamentos mesmo para eventos de alta frequência, com períodos de recorrência inferiores a um ano e chegam a atingir aproximadamente 0,60 m, nos pontos mais baixos da rua. Além da Rua Miguel Palmeira outros pontos da região também sofrem

com problemas de alagamentos, entre os quais podem ser destacados os cruzamentos das ruas. Esta característica deve-se ao fato do escoamento superficial ser dirigido para estes pontos (mais baixos) onde teriam acesso a rede de drenagem existente, podendo ser destacados como pontos de alagamento os cruzamentos da Rua Sargento Aldo Almeida com as Ruas Cícero Virgínio de Torres e Coronel Lima Rocha (Figura 64).

Figura 64 - Região constantemente alagada



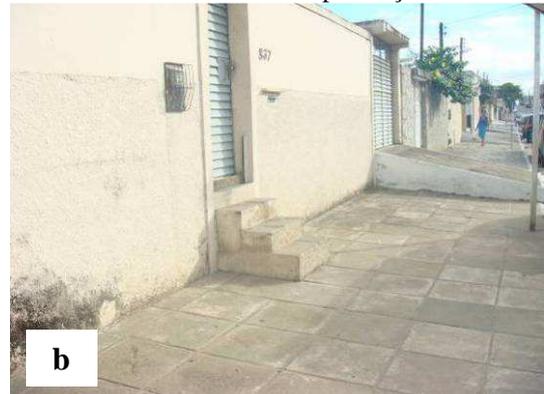
Fonte: Autora, 2008

Além das tentativas de solução dos alagamentos por parte do poder público, individualmente, os moradores adotaram pequenos diques para minimizar os impactos dos alagamentos. A Figura 65 a e b mostram a construção de batentes e a Figura 66 mostra a elevação do piso das construções.

Figura 65 a - Construção de escada que funciona como batente e b - Residência com a presença de batente



a



b

Fonte: Autora, 2008

Figura 66 - Prédio comercial com piso elevado



Fonte: Autora, 2008

Uma das medidas adotadas pela SOMURB para sanar tais problemas foi a escavação de uma bacia de retenção dentro do CEAGB (Figura 67). A referida bacia teria a função de receber o volume escoado, promovendo o amortecimento do pico das vazões e encaminhando de forma gradativa o volume recebido novamente para a rede de drenagem existente. Entretanto, segundo Neves et al. (2008) a mesma encontrava-se desconectada da rede de drenagem pluvial até que fossem realizados estudos de avaliação da implantação da mesma.

Figura 67 - Lagoa do CEAGB



Fonte: Autora, 2008

Considerando a alta frequência dos alagamentos, anteriormente mencionada, aliada a alta taxa de urbanização e a elevada circulação de veículos e pedestres na região, ou seja, ao grande número de pessoas atingidas, torna-se uma região relevante em relação aos estudos sobre alagamentos. Regiões como a do Pinheiro, onde a ocupação encontra-se consolidada, a exposição frente ao alagamento varia, de acordo com as características construtivas das edificações, ou seja, algumas residências podem estar juntas e uma delas não ser afetada por um alagamento por possuir seu piso elevado. A elevação do nível do terreno para construir torna-se, portanto, uma prática comum para resolver, individualmente, os problemas de alagamentos em regiões críticas.

#### 4.1.7 REGIÃO 08 – Piabas

Região localizada no entorno do afluente Pau D'arco, a região é chamada de Piabas devido ao pequeno braço de córrego localizado na região. A área localiza-se no limite dos bairros Feitosa e Jacintinho (Figura 68). Caracteriza-se pela intensa ocupação desordenada pela população de baixa renda (Figura 69), possuindo apenas uma área não ocupada por construções, junto à Rua Pastor Eurico Calheiros, além desta área existem apenas alguns pontos isolados onde pode ser observada a presença de algumas árvores.

Figura 68 - Região 08 – Piabas



Fonte: Autora, 2008

Figura 69 - Exemplo de ocupação na região



Fonte: Autora, 2008

Em vários pontos pode ser observada a presença de construções próximas ou até mesmo sobre a calha do Riacho (Figura 70 e Figura 71), dificultando muitas vezes a visualização da própria calha e modificando o trajeto natural do fluxo durante os períodos chuvosos.

Figura 70 - Construções sobre a calha



Fonte: Autora, 2008

Figura 71 - Construções próximas da calha



Fonte: Autora, 2008

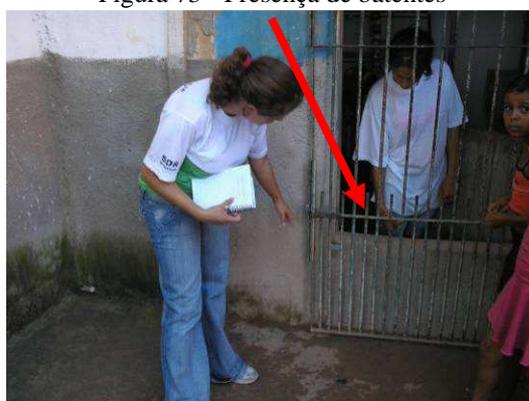
A drenagem da região possui a influência de dois aspectos: a existência de um aterramento sob a Rua Pastor Eurico Calheiros (Figura 68, aterramento 01 e Figura 72 a) que promove a redução da calha natural do rio e outro aterramento de menor porte sob uma via local (Figura 68, aterramento 02). Além destes, a região sofre influência dos vários pequenos estrangulamentos promovidos pelas construções sobre a calha. Devido aos constantes alagamentos podem ser observadas as construções de batentes (Figura 72 b e Figura 73) e a elevação do piso das residências para minimizar os danos causados pelos alagamentos.

Figura 72 a - Galeria existente e b - Presença de batentes



Fonte: Autora, 2008

Figura 73 - Presença de batentes



Fonte: Autora, 2008

A região possui coleta do lixo doméstico e, periodicamente a retirada de lixo na calha do Riacho. Consequentemente, durante as visitas a campo não foi verificada a presença de lixo depositada ao longo da calha. Contudo, alguns moradores informaram que durante os eventos chuvosos pode ser observado o acúmulo de resíduos junto à galeria.

A vazão observada em tempo seco na calha do Riacho Reginaldo é resultado, basicamente, do esgoto doméstico que é lançado *in natura* na calha do Riacho. Tal lançamento pôde ser constatado através do grande número de tubulações provenientes das residências despejando resíduos diretamente na calha (Figura 74).

Figura 74 - Lançamento de esgotos diretamente na calha



Fonte: Autora, 2008

#### 4.1.8 REGIÃO 09 – Moenda

Região situada no limite dos bairros Pitanguinha, Feitosa e Farol. Na margem direita do Riacho Reginaldo é observada a presença significativa de vegetação, mas, na margem esquerda a mata ciliar foi retirada e substituída pelas construções de baixa renda (Figura 75). Apesar de ser observada a presença de residências de alto padrão no bairro da Pitanguinha, a calha do Riacho Reginaldo caracteriza-se pela ocupação desordenada pela população de baixa renda (Figura 76).

Figura 75 - Região 09 – Moenda



Fonte: Autora, 2008

Figura 76 - Exemplo da ocupação da região



Fonte: Autora, 2008

Neste trecho a água atingiu aproximadamente 0,80 m de profundidade dentro das residências situadas junto à margem e, para se protegerem, os moradores construíram muretas na entrada das residências (Figura 77 a). Na região pode ser observada a presença de uma ponte (Figura 77 b), chamada de ponte da ladeira da Moenda, que aumenta os níveis de alagamentos a montante. A jusante da ponte nenhuma residência foi atingida pela água proveniente dos alagamentos.

Figura 77 a - Presença de muretas nas residências e b - Ponte existente



Fonte: Autora, 2008

Em toda a extensão da calha do Riacho Reginaldo pode ser observada a presença de crianças brincando ou se deslocando através do Riacho Reginaldo (Figura 78), tal característica é de extrema relevância, considerando que a vazão do Riacho nos períodos de tempo seco é resultante do despejo de esgoto, tornando o curso d'água responsável pela disseminação de doenças de veiculação hídrica.

Figura 78 - Deslocamento através da calha



Fonte: Autora, 2008

#### 4.1.9 REGIÃO 10 – Poço

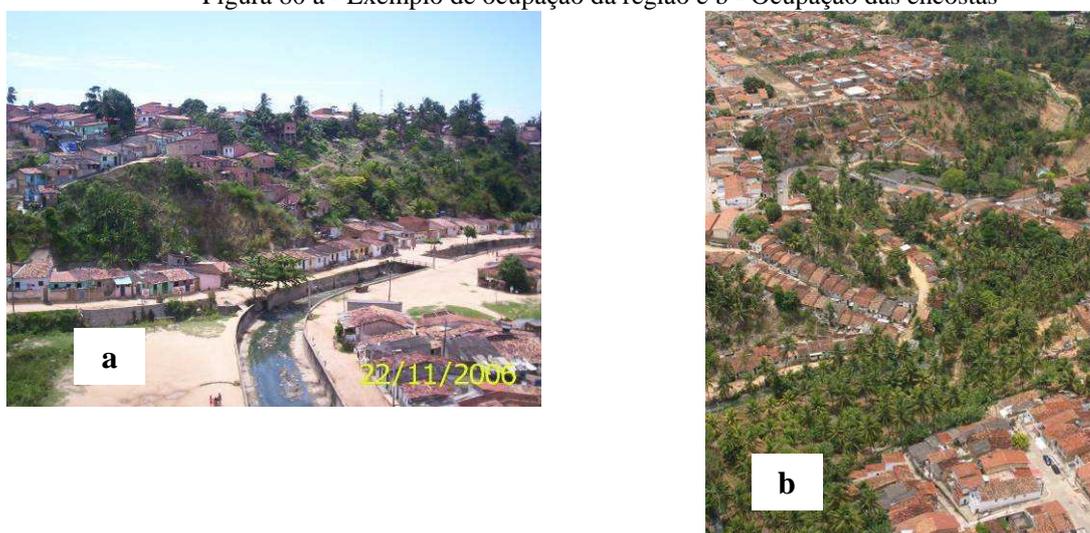
A região possui acesso através do bairro do Poço e parte do trecho analisado localiza-se no limite dos bairros do Farol e Jacintinho, outra parte do trecho fica no limite entre os bairros do Farol e do Feitosa. No trecho avaliado existe a presença do afluente Pau D'arco, na margem esquerda do Riacho Reginaldo (Figura 79). Sua principal característica é a ocupação desordenada pela população de baixa renda, além de pequenos comércios, como bares e armazéns. Nesta região o vale é bastante encaixado e as encostas são densamente ocupadas por residências, durante os eventos chuvosos as águas escoam em grande volume e com grande velocidade das regiões mais altas, formando uma enxurrada que muitas vezes invade as residências (Figura 80 a e b).

Figura 79 - Região 10 – Poço



Fonte: Autora, 2008

Figura 80 a - Exemplo de ocupação da região e b - Ocupação das encostas

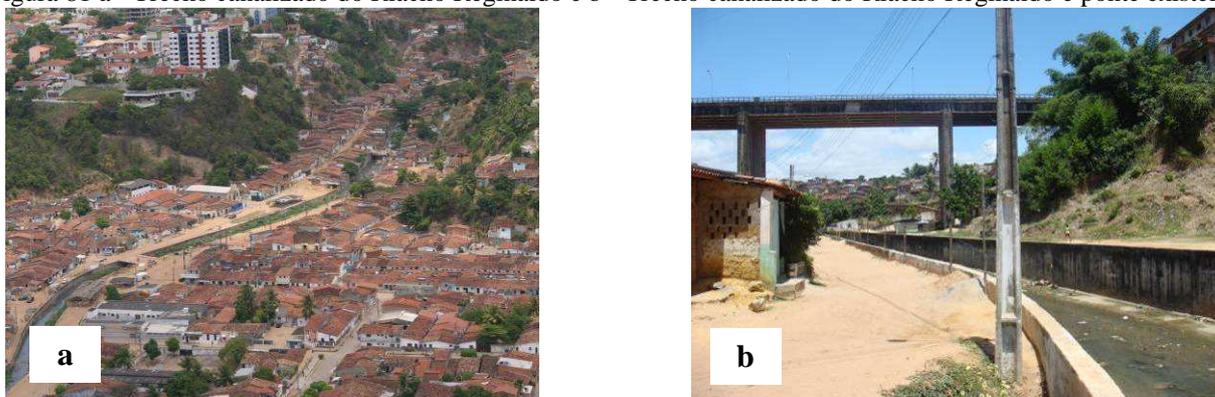


Fonte: Autora, 2008

Em todo o trecho avaliado da Região 10 a calha do Riacho Reginaldo encontra-se canalizada (Figura 81 a e b). A ocorrência de extravasamentos do canal artificial não é frequente, mas a ocorrência de alagamentos pontuais é comum, sendo uma das principais causas dos alagamentos o represamento do escoamento junto à borda do canal, ou seja, a água não consegue entrar no canal principal e se acumula junto a ela. Tal fato deve-se, em parte, ao

lixo carregado pelo escoamento que se acumula e obstrui a entrada do canal. Também podem ser observadas construções sobre as entradas, o que contribui ainda mais para a obstrução do escoamento (Figura 82).

Figura 81 a - Trecho canalizado do Riacho Reginaldo e b - Trecho canalizado do Riacho Reginaldo e ponte existente



Fonte: Autora, 2008

Figura 82 - Construção sobre a entrada de escoamento na calha



Fonte: Autora, 2008

Apesar da existência de coleta de lixo na região (Figura 83 a), pode ser observada grande quantidade de lixo carregado de regiões a montante e acumulado em alguns pontos da calha. Inclusive, pode ser observada a presença de sofás e armários na calha, contribuindo para a obstrução do escoamento e o consequente alagamento da região (Figura 83 b).

Além dos resíduos sólidos, pode ser observada grande quantidade de sedimentos depositados, existindo, inclusive, a atividade de retirada de areia destes pontos da calha, provavelmente para ser utilizada, na construção civil (Figura 84 a e b).

Figura 83 a - Coleta de lixo e b - Presença de sofás na calha



Fonte: Autora, 2008

Figura 84 a - Resíduos sólidos e sedimentos na calha e b - Extração de areia da calha



Fonte: Autora, 2008

Na região não existe coleta nem tratamento de esgoto, ou seja, o esgoto é lançado *in natura* diretamente na calha do Riacho. Tal lançamento é comprovado pela presença de contribuição das redes de drenagem pluvial para o canal do Riacho, mesmo em tempo seco (Figura 85 a), além da presença de grande número de ligações de tubulações na parede do canal artificial (Figura 85 b).

Figura 85 a - Presença de escoamento mesmo sem chuva e b - Presença de ligações de esgoto na calha



Fonte: Autora, 2008

Na região existe um poço, localizado próximo a calha, de onde os moradores retiram água para a lavagem de roupas; tendo em vista a alta taxa de degradação das águas do Riacho Reginaldo a utilização desta água enfatiza o problema de acesso à água potável (Figura 86 a). Apesar do aspecto e odor da água é comum a presença de crianças e animais domésticos em contato com a mesma (Figura 86 b).



Fonte: Autora, 2008

#### 4.1.10 REGIÃO 11 – Mangabeiras

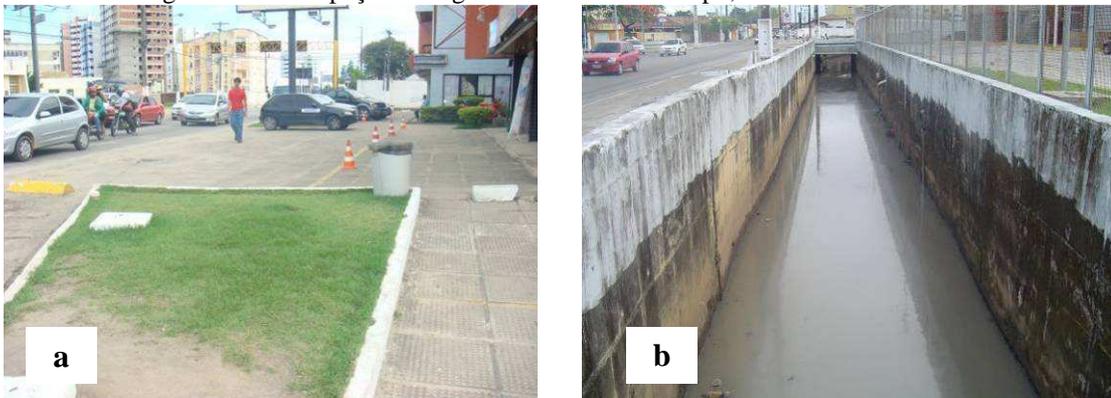
Região localizada no limite dos bairros Mangabeiras e Jatiuca. Caracteriza-se por prédios de classe média alta e a presença de comércios, como shoppings e galerias, supermercados, concessionárias de veículos, farmácias entre outros (Figura 87). Região altamente impermeabilizada, com grande fluxo de veículos e pedestres (Figura 88 a). A região é cortada pelo Riacho do Sapo, afluente do Riacho Reginaldo, totalmente canalizado (Figura 88 b), sendo que, em alguns trechos, encontra-se coberto (Figura 89).

Figura 87 - Região 11 – Mangabeiras



Fonte: Autora, 2008

Figura 88 a - Ocupação da região e b - Riacho do Sapo, totalmente canalizado



Fonte: Autora, 2008

Figura 89 - Trecho do Riacho do Sapo sob via asfaltada



Fonte: Autora, 2008

Praticamente toda a vegetação da região foi removida, permanecendo apenas algumas árvores isoladas. Existe ainda uma faixa não edificável, as demais áreas já foram ou encontram-se em processo de impermeabilização devido à crescente demanda imobiliária da região.

Os alagamentos na região são frequentes, com tempo de recorrência inferior a um ano. Observa-se, entretanto, que grande parte dos alagamentos pode estar associada à obstrução dos canais de drenagem por lixo ou sedimentos. Apesar da região possuir coleta de lixo pode ser observada grande quantidade de resíduos no canal (Figura 90), que durante os eventos chuvosos são carregados das regiões de montante e promovem a obstrução das galerias e consequentemente os alagamentos.

Figura 90 - Presença de resíduos no canal do Riacho do Sapo



Fonte: Autora, 2008

Ao longo do Canal do Sapo podem ser observadas algumas estruturas de barramento, como comportas e grades (Figura 91 a e b). As grades são chamadas de grades de lixo e, possuem a função de reter o lixo impedindo sua passagem para jusante, onde poderiam

acumular-se nas galerias promovendo estrangulamentos. Entretanto para que tais estruturas funcionem a contento sua manutenção deve ser periódica, principalmente em períodos chuvosos, o que não se observa na região, e, nesses casos, a própria grade de lixo funciona como um barramento ao escoamento, provocando alagamentos.

Figura 91 a - Presença de grade de lixo e b - Presença de comporta



Fonte: Autora, 2008

#### 4.2 Áreas de Alagamento

A partir das informações obtidas em campo e com o auxílio do MNT foram delimitadas as áreas de alagamento e seus respectivos tempos de recorrência, estimados com base nas informações de frequência dos alagamentos, obtidas em campo e os resultados foram representados em mapas com a mancha de inundação em cada uma das áreas. Estes mapas apresentam os resultados das áreas alagadas para as 12 regiões previamente levantadas como áreas sujeitas a alagamento, a partir das informações obtidas através de visitas de campo para identificação *in loco* das profundidades de alagamento, junto aos moradores da região. Durante o período de trabalho de campo, entre fevereiro e novembro de 2008, foram consultadas mais de 200 pessoas em 25 diferentes regiões uniformemente distribuídas sobre a bacia, a maior parte dos pontos visitados possui problemas de alagamento, mas, nem sempre considerados críticos para os propósitos deste trabalho, ou seja, nem sempre atingem o interior das edificações. Neste capítulo são descritas as principais características das regiões alagadas, bem como os demais aspectos relevantes ao presente estudo:

**REGIÃO 01 – Santa Lúcia** (Figura 92). Região de alagamento situada fora da calha do curso d'água, promovida pela inexistência de rede de drenagem. Em alguns pontos as residências foram construídas praticamente no nível da rua e, pelo menos uma vez no ano, a água atinge 20 cm dentro das mesmas.

O nível máximo atingido pela água dentro das residências nesta região foi 0,80 m, tendo ocorrido apenas uma vez nos últimos 40 anos, por volta do ano 1993. Na área alagada a profundidade de água no interior das residências varia muito, dependendo das características construtivas das edificações, ou seja, residências de maior porte possuem geralmente o piso elevado, estando mais protegidas, principalmente dos eventos de menor magnitude. Residências com aspectos construtivos mais simples, geralmente, possuem o piso no nível do terreno ficando mais vulneráveis aos efeitos dos alagamentos.

A área alagada possui grande abrangência, visto que, encontra-se situada em uma região de tabuleiro, onde a declividade é pequena. Nesta região a delimitação da área alagada foi realizada apenas dentro dos limites da bacia.

Figura 92 - Área alagada na região 01 – Santa Lúcia



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 02 – Jardim Petrópolis** (Figura 93). Região de alagamento situada na calha do Riacho Reginaldo, onde a água atinge 0,80 m praticamente todos os anos, devido à obstrução da entrada da galeria existente a jusante. Nesta região o evento que produziu o maior impacto foi o ocorrido em 2004, quando a água atingiu 1,70 m dentro das residências, sendo este o de maior magnitude nos últimos 20 anos. A área atingida pelo alagamento é bastante extensa, entretanto a região é constituída por vários sítios cercados de área verde, possuindo apenas, uma região mais densamente ocupada (junto ao trecho canalizado) reduzindo assim a população atingida pelo alagamento.

Figura 93 - Área alagada na região 02 – Jd. Petrópolis



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 04 – Ouro Preto** (Figura 94). Região de alagamento situada na calha do Riacho Reginaldo, causado, principalmente, pela redução da calha natural promovido pelo aterramento existente, que reduz a capacidade de escoamento das regiões de montante, escoamento este de grande volume produzido pelo alto grau de impermeabilização do solo da região de montante.

Na região próxima à entrada da galeria existe uma área grande de extravasamento do alagamento, entretanto não existem muitas residências na região. A montante, a área alagada torna-se mais estreita devido ao vale tornar-se mais encaixado, a concentração de residências neste ponto aumenta, conseqüentemente aumenta também o número de residências atingidas. O evento que causou os maiores impactos relacionados aos alagamentos foi o ocorrido em 2004, onde algumas residências ficaram submersas, ultrapassando a profundidade de 2 m, este foi o evento de maior magnitude registrado pelos moradores nos últimos 17 anos.

Figura 94 - Área alagada na região 04 – Ouro Preto



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 05 – Rotary** (Figura 95). Área de alagamento situada na calha do Riacho Reginaldo, onde na região a montante da galeria existente a profundidade máxima atingida pela água dentro das residências foi de 1,5 m, em 2004, este foi o evento de maior magnitude dos últimos 15 anos. Convém ressaltar que, todos os anos a água atinge a profundidade de 0,50 m dentro das residências. Nesta região o vale é bastante encaixado, não existindo diferença significativa entre as áreas alagadas referentes a cada uma das profundidades anteriormente citadas. A região caracteriza-se pela alta concentração de residências, e conseqüentemente um alto número de indivíduos atingidos pelo alagamento.

A jusante da galeria existe uma região topograficamente suscetível a alagamentos, junto a um campo de futebol, contudo existe apenas uma residência, reduzindo assim o número de indivíduos atingidos. Nesta região, em 2004, a água atingiu 0,50 m e foi o evento de maior magnitude registrado pelos moradores nos últimos 6 anos.

Na mesma região existe outra redução da calha natural (02), promovido por um aterramento, onde a água costuma escoar apenas pela calha, devido à alta declividade dos taludes junto ao aterramento. Entretanto, nos últimos 28 anos, ocorreu um evento extremo, quando a água encobriu algumas residências chegando a profundidades superiores a 2 m.

Figura 95 - Área alagada na região 05 – Rotary



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 06 – Estrondo** (Figura 96). Região de alagamento também situada na calha, onde a água atingiu aproximadamente 1 m dentro das residências construídas junto à calha. No final do trecho 01 existe uma mudança na direção do fluxo do Riacho, o que, juntamente com as características da topografia, favorecem o extravasamento do alagamento, atingindo uma área maior. A região teve um dos seus eventos mais críticos em 2004, o maior registrado pelos moradores nos últimos 7 anos, onde foi atingida a profundidade mencionada anteriormente. Os anos de 1994 e 2006 também foram citados como anos onde ocorreram alagamentos, entretanto com menores consequências.

Apesar da margem esquerda ainda possuir grandes áreas verdes, na margem esquerda existe um extenso aglomerado urbano, chamado de Grotta do Estrondo, que possui alta densidade demográfica e, portanto, um grande número de indivíduos atingidos pelo alagamento.

Figura 96 - Área alagada na região 06 – Estrondo



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 07 – Pinheiro** (Figura 97). Região de alagamentos frequentes, situada fora da calha, com período de recorrência inferior a um ano, para alagamentos de aproximadamente 0,60 m dentro das edificações nos pontos mais baixos. A região possui intensa movimentação de veículos e pedestres, trazendo transtornos para um grande número de indivíduos durante estes eventos. A região possui sistema de drenagem, contudo o mesmo não funciona a contento, várias obras e estudos já foram realizados na região (entre eles Neves et al., 2008) pela ou a pedido da prefeitura com o objetivo de solucionar o problema, entretanto o mesmo persiste até o presente momento.

Figura 97 - Área alagada na região 07 – Pinheiro



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 08 – Piabas** (Figura 98). Área de alagamento situada na calha dos Riachos Pau D’arco e Piabas. Na região avaliada existe a presença de um aterramento para a construção de uma via, a redução da capacidade de escoamento promovido pelo mesmo, apesar da existência de galeria que permite a passagem do escoamento para jusante, promove o alagamento da região a montante. Nesta região a profundidade atingida no interior das residências foi de 1 m, e foi o evento de maior impacto dos últimos 6 anos, registrado pela população.

Além deste aspecto ressalta-se a existência de outro estrangulamento (01), de menor porte, e a presença de vários pequenos estrangulamentos devido à existência de um grande número de edificações próximas e até sobre a calha. A calha nesta região possui formato de U, caracterizado pela existência de área plana no fundo da calha, o que facilita sua ocupação e, portanto, torna a população atingida bastante numerosa.

Figura 98 - Área alagada na região 08 – Piabas



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 09 – Moenda** (Figura 99). Região de alagamento situada na calha do Riacho Reginaldo. O acúmulo do escoamento na região ocorre a montante da ponte existente que promove um estrangulamento no escoamento. Apesar da área de alagamento ser bastante abrangente, devido à calha não ser encaixada neste ponto, a maior parte da região alagada situa-se em área verde. Mesmo assim, algumas residências construídas junto à calha foram atingidas com uma profundidade de aproximadamente 0,80 m , no ano de 2004, tendo sido esta o evento de maior magnitude dos últimos 7 anos.

Figura 99 - Área alagada na região 09 – Moenda



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 10 – Poço** (Figura 100). Região de alagamento situada na calha do Riacho Reginaldo, que, neste trecho, encontra-se canalizado e, apesar do seu transbordamento não ser frequente, algumas características dos alagamentos devem ser destacadas.

As duas áreas de alagamento mais a montante do trecho ocorrem, principalmente, pela dificuldade do volume escoado em acessar o canal principal. Esta dificuldade é promovida pelo acúmulo de grande quantidade de resíduos carregados pela água e acumulados junto aos acessos ao canal. Na mancha de alagamento mais a montante do trecho (antes da ponte) a profundidade atingiu 1 m dentro das residências, sendo que a mesma ocorreu duas vezes nos últimos 10 anos. A segunda mancha de alagamento (de montante para jusante) já ocorreu aproximadamente 5 vezes nos últimos 15 anos, para a profundidade de 0,10 m dentro das residências atingidas.

Apesar de uma das principais características da região 10 ser o vale encaixado, existe a presença de uma região plana na parte mais a jusante da região avaliada, a mesma promove o extravasamento da área alagada e, conseqüentemente um maior número de residências atingidas. Nesta região a maior profundidade atingida foi de 1,5 m e ocorreu apenas uma vez nos últimos 25 anos.

Foram citados, pelos moradores mais antigos, algumas cheias ocorridas no Riacho Reginaldo. Entretanto, não foi possível definir as características destas cheias, menos frequentes, devido à falta de informações confiáveis dos níveis atingidos e a dificuldade em atribuir um tempo de recorrência, devido à mudança do escoamento promovido pela canalização do Riacho neste trecho.

Figura 100 - Área alagada na região 10 – Poço



Fonte: Autora, 2008

**REGIÃO 11 – Mangabeiras** (Figura 101). Região de alagamento situada fora da calha do Riacho Reginaldo, nas proximidades da calha do Riacho do Sapo. Nesta região a profundidade atingida pela água dentro de alguns estabelecimentos comerciais foi de 0,30 m e possui um tempo de recorrência inferior a um ano.

Devido ao escoamento ser realizado através da rede de microdrenagem e do canal do Riacho do Sapo, visto que nesta região o Riacho encontra-se totalmente canalizado, os alagamentos dependem principalmente da rede de drenagem existente e das suas condições durante o evento chuvoso. Nesta região as edificações atingidas dependem também dos aspectos construtivos das mesmas, ou seja, nem todas as edificações situadas dentro da mancha de alagamento podem ter sido invadidas pela água, pois algumas podem ter sido construídas em cotas mais elevadas, por exemplo.

A região é extremamente populosa, devido à presença de prédios residenciais e comerciais, além de possuir um grande fluxo de pedestres e veículos. Portanto, os alagamentos atingem um grande número de indivíduos.

Figura 101 - Área alagada na região 11 – Mangabeira



Fonte: Autora, 2008

### 4.3 Mapas dos Indicadores

Com base na delimitação das áreas de alagamento e, nas suas respectivas características, foi possível atribuir o valor de cada um dos indicadores avaliados para que, posteriormente, fosse obtido o Índice de Risco de Alagamento. Portanto, a seguir são apresentados os mapeamentos dos quatro indicadores que compõem o Índice de Risco de Alagamento: Indicador de Consequência, Indicador de Probabilidade de Ocorrência (Frequência), Indicador da população atingida e Indicador de Geração de Escoamento Superficial.

Para cada uma das regiões detalhadas foi confeccionado o mapeamento dos quatro indicadores. O mapeamento encontra-se apresentado agrupado por indicador, visando facilitar a discussão de algumas características comuns do indicador das diferentes regiões. A avaliação integrada dos quatro indicadores, para cada uma das regiões avaliadas, será realizada posteriormente, junto com a apresentação do mapeamento do Índice de Risco, visto que o mesmo é a representação gráfica da integração entre os indicadores.

Salienta-se que o mapeamento dos indicadores foi confeccionado apenas para as áreas alagadas, o que significa que o limite de cada um dos indicadores é o mesmo da mancha de alagamento, anteriormente apresentada. Para alguns indicadores, como o da população atingida que foi confeccionada a partir de informações de densidade demográfica, poderia ter sido confeccionado o mapa do indicador para toda a bacia. Entretanto, o mesmo não seria representativo ao objetivo deste estudo.

#### 4.3.1 Indicador de Consequência

O Indicador de consequência relaciona a área alagada com as profundidades atingidas pela água no interior das edificações, o mesmo representa as consequências do alagamento, demonstrando a vulnerabilidade da população frente ao evento.

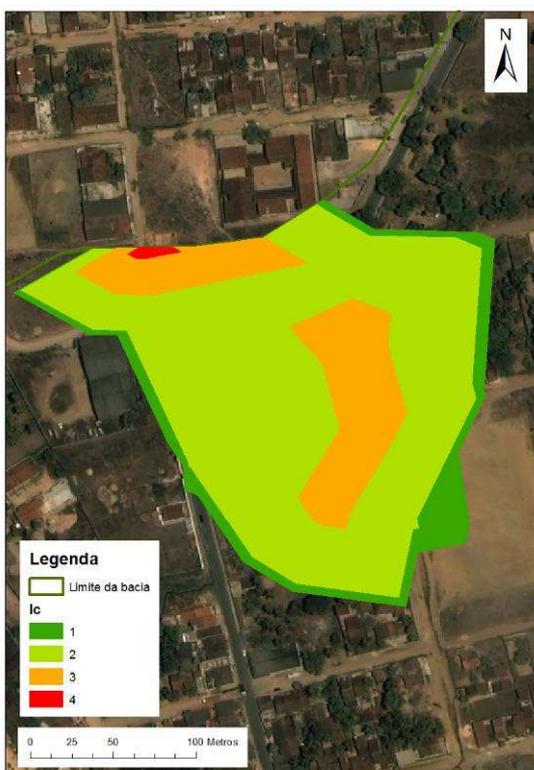
Salienta-se que, no mapeamento do Indicador de Consequência, que utiliza como base a profundidade, a área de alguns níveis do indicador possui delimitações bastante próximas, quase sobrepostas, como pode ser observado nas regiões 02 (Jd. Petrópolis, Figura 103), 04 (Ouro Preto, Figura 104) e 06 (Estrondo, Figura 106). Isto se deve ao fato de estas regiões possuírem um vale encaixado e, portanto, uma calha inundável restrita, ou seja, mesmo com uma grande variação da profundidade não existe grande variação do espelho d'água.

Observa-se, como anteriormente mencionado, que as manchas de alagamento em regiões fora da calha são mais abrangentes. Portanto, cada um dos níveis do indicador é mais facilmente identificável, algumas vezes formando manchas concêntricas, como na região 01

(Santa Lúcia, Figura 102) e 07 (Pinheiro, Figura 107). Tal fato também ocorre junto à calha, em trechos onde ela não é encaixada, como nas regiões 09 (Moenda, Figura 109) e 10 (Poço, Figura 110).

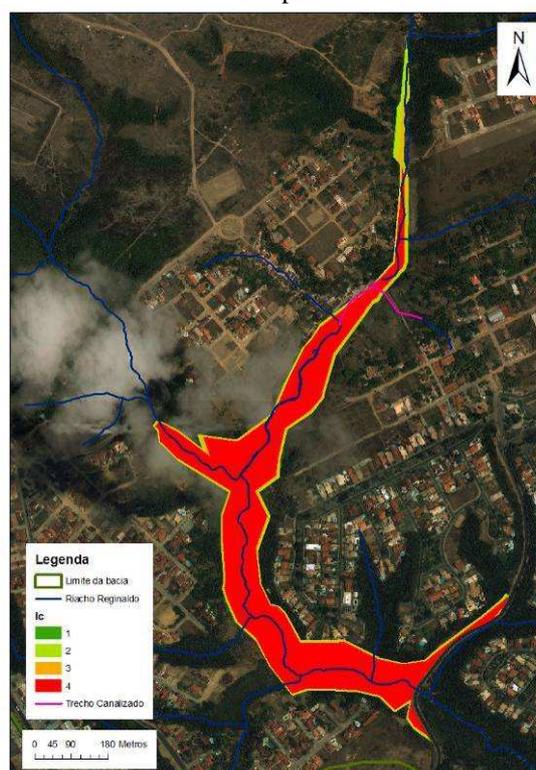
Em alguns casos, a delimitação dos níveis do indicador pode variar de forma diferente, mesmo quando avaliada uma mesma região. Isto ocorre porque o indicador está diretamente relacionado com a topografia do terreno. Tal efeito pode ser observado na região 05 (Rotary, Figura 105), onde a montante do aterramento existente o vale é bastante encaixado e a delimitação dos níveis do indicador praticamente se sobrepõe, diferente da região de jusante, onde existe um extravasamento e, pode ser mais claramente observada a delimitação dos níveis do indicador.

Figura 102 - Indicador consequência – Região 01  
Santa Lúcia



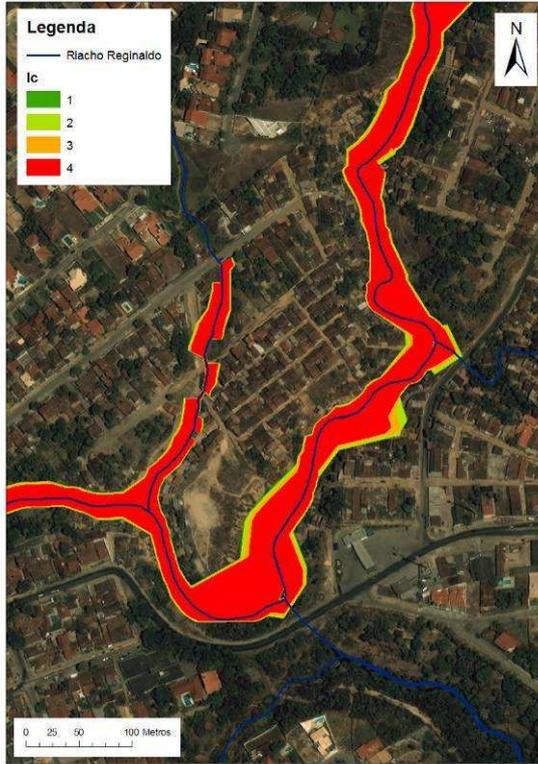
Fonte: Autora, 2009

Figura 103 - Indicador consequência – Região 02 Jd.  
Petrópolis



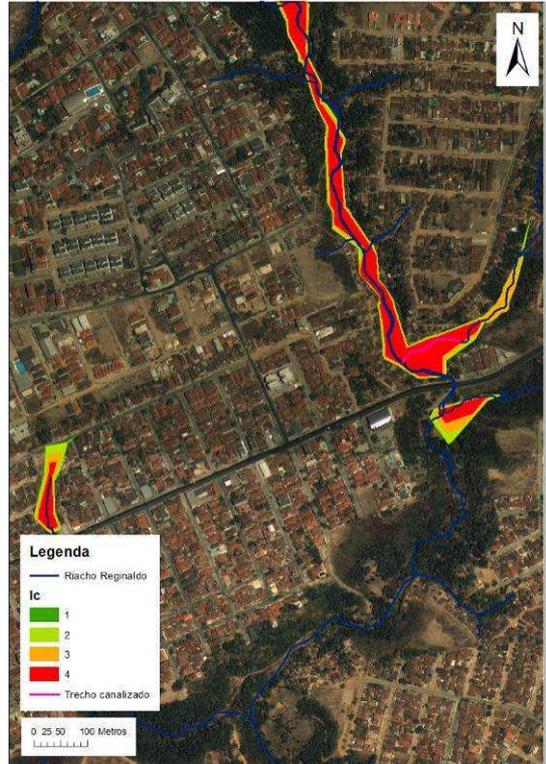
Fonte: Autora, 2009

Figura 104 - Indicador consequência – Região 04 Ouro Preto



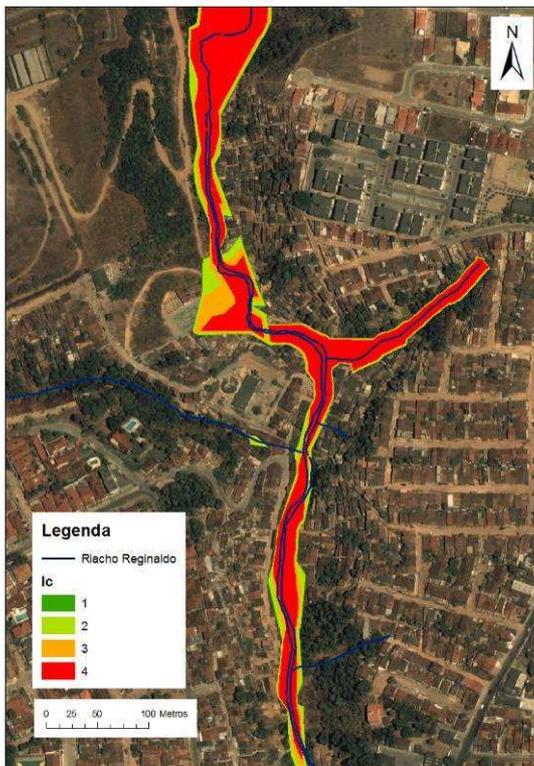
Fonte: Autora, 2009

Figura 105 - Indicador consequência – Região 05 Rotary



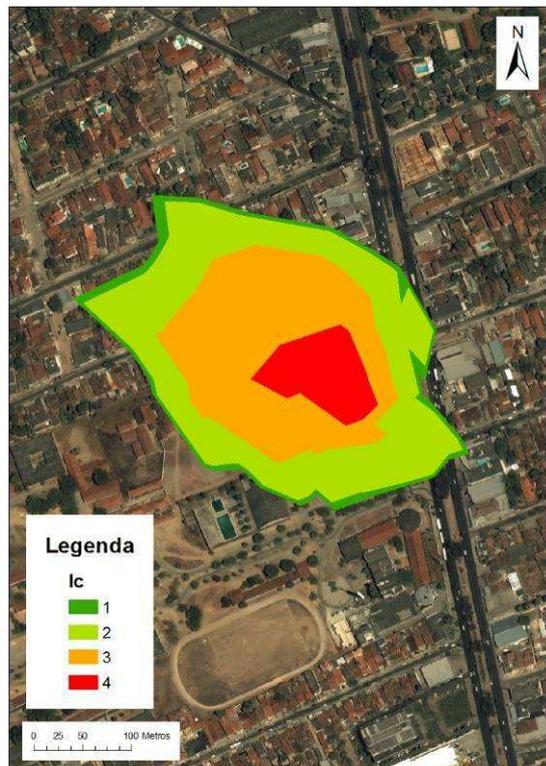
Fonte: Autora, 2009

Figura 106 - Indicador consequência – Região 06 Estrondo



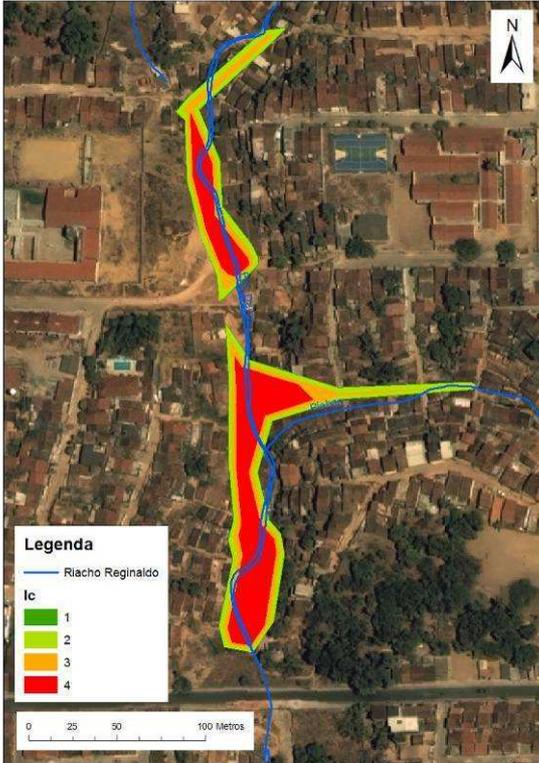
Fonte: Autora, 2009

Figura 107 - Indicador consequência – Região 07 Pinheiro



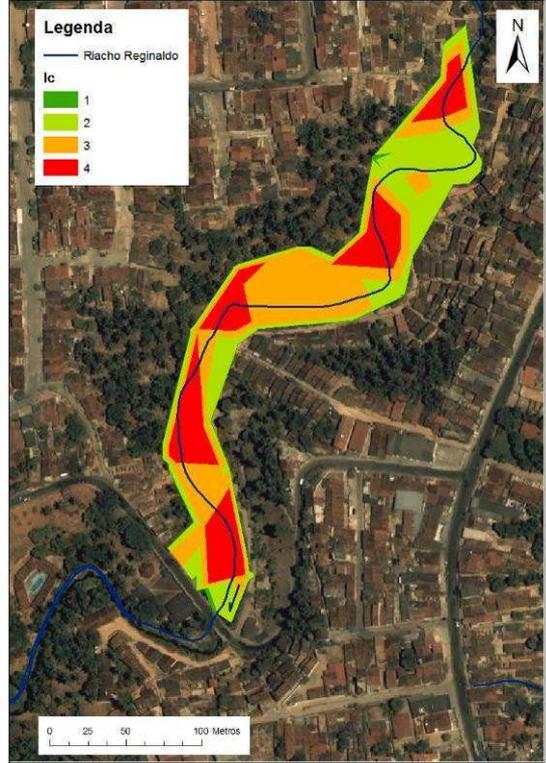
Fonte: Autora, 2009

Figura 108 - Indicador consequência – Região 08 Piabas



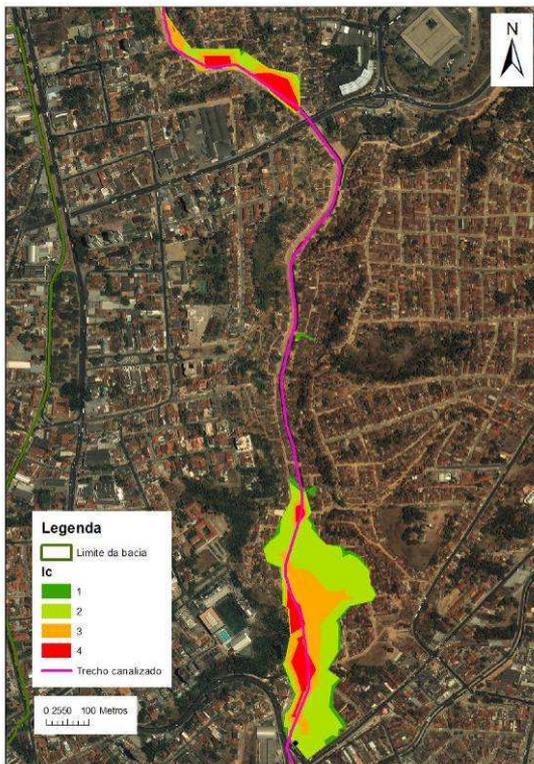
Fonte: Autora, 2009

Figura 109 - Indicador consequência – Região 09 Moenda



Fonte: Autora, 2009

Figura 110 - Indicador consequência – Região 10 Poço



Fonte: Autora, 2009

Figura 111 - Indicador consequência – Região 11 Mangabeira



Fonte: Autora, 2009

#### 4.3.2 Indicador de Probabilidade de Ocorrência

De maneira semelhante ao Indicador de Consequências, o mapeamento do Indicador de Probabilidade de Ocorrência tem como base a delimitação das áreas de alagamento e suas características. Através dos quais foi possível atribuir o valor de cada um dos Indicadores e posteriormente, do Índice de Risco de Alagamento. Portanto, neste item será apresentado o mapa do Indicador de Probabilidade de Ocorrência, que apresenta a frequência de ocorrência da área de alagamento, caracterizando assim o grau de exposição da população a estes eventos.

Um dos aspectos a serem destacados no Indicador de Probabilidade de Ocorrência é a alta frequência dos alagamentos ocorridos nas regiões fora da calha, como na região 01 (Santa Lúcia, Figura 112), 07 (Pinheiro, Figura 117) e 11 (Mangabeira, Figura 121), essas regiões merecem destaque, pois são regiões com intensa circulação de pedestres e veículos.

Em algumas regiões foi possível identificar um único valor de tempo de ocorrência do alagamento, sendo identificado então apenas um dos níveis do indicador, relativo ao evento de maior magnitude, como em 04 (Ouro Preto, Figura 114), 06 (Estrondo, Figura 116), 08 (Piabas, Figura 118) e 09 (Moenda, Figura 119). Em outras regiões foi possível, além do alagamento observado de maior magnitude, obter a área de alagamento frequentemente observada, delimitando assim mais de um nível do Indicador de Probabilidade de Ocorrência, como nas regiões 01 (Santa Lúcia, Figura 112) e 05 (Rotary, Figura 115). Esta consideração não vale para as regiões 07 (Pinheiro, Figura 117) e 11 (Mangabeira, Figura 121), pois nestes o único nível do indicador refere-se aos alagamentos frequentemente observados.

Deve-se destacar que, na metodologia adotada para estimar este indicador foram consideradas as informações de campo obtidas junto aos moradores. Desta forma, existe um grau de incerteza elevado nesta informação, sobretudo para os eventos de maior magnitude. Considerou-se, portanto, que o tempo de retorno do maior evento observado é igual ao período de observação por parte dos moradores, em geral associado ao tempo de ocupação de uma determinada região.

Figura 112 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 01 Santa Lúcia



Fonte: Autora, 2009

Figura 113 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 02 Jd. Petrópolis



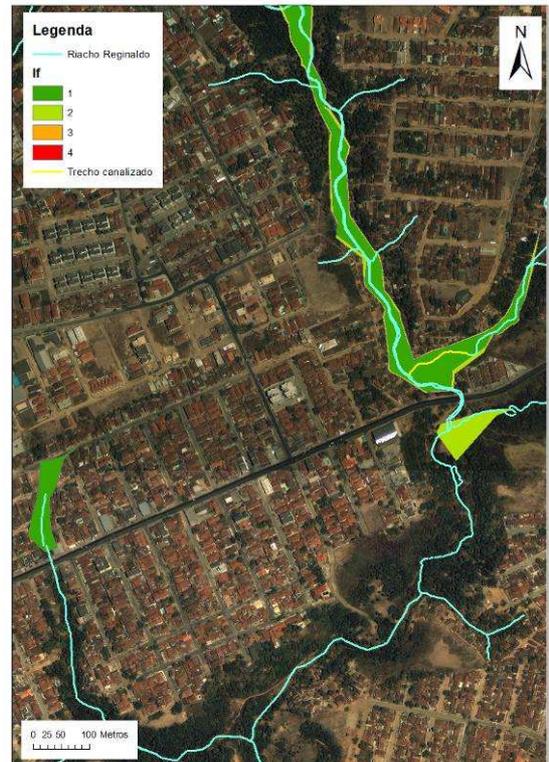
Fonte: Autora, 2009

Figura 114 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 04 Ouro Preto



Fonte: Autora, 2009

Figura 115- Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 05 Rotary



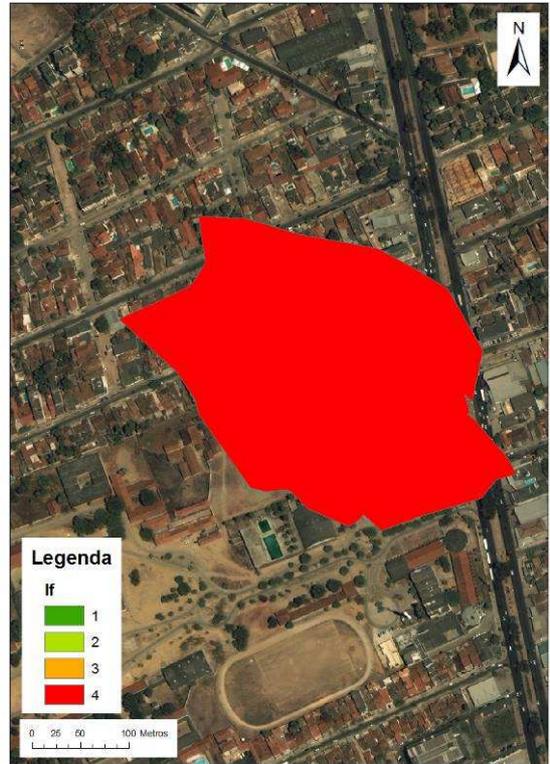
Fonte: Autora, 2009

Figura 116 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 06 Estrondo



Fonte: Autora, 2009

Figura 117 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 07 Pinheiro



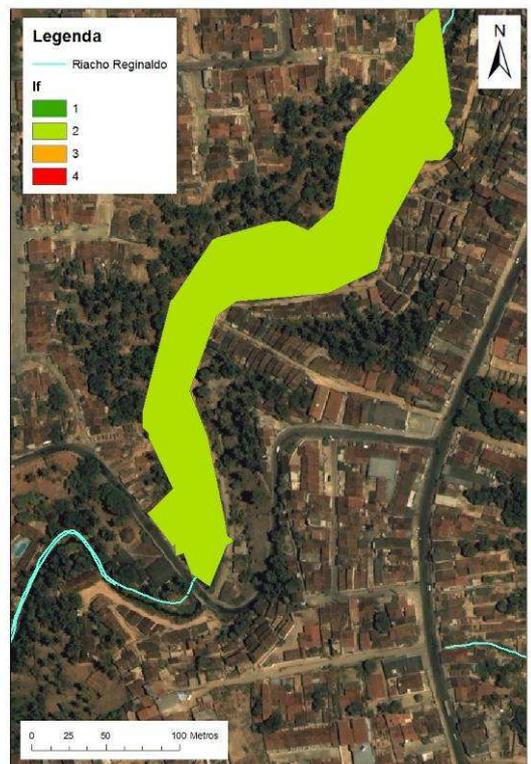
Fonte: Autora, 2009

Figura 118 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 08 Piabas



Fonte: Autora, 2009

Figura 119 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 09 Moenda



Fonte: Autora, 2009

Figura 120 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 10 Poço



Fonte: Autora, 2009

Figura 121 - Indicador de probabilidade de recorrência  
– Região 11 Mangabeira



Fonte: Autora, 2009

#### 4.3.3 Indicador de População Atingida

O mapeamento do Indicador de população atingida foi obtido partir de informações dos setores censitários da bacia do Riacho Reginaldo. Tal Indicador possui relevância tendo em vista que uma área pode ser frequentemente alagada, inclusive com grandes profundidades de lâmina de água, entretanto não causar impactos relevantes ao presente estudo devido à inexistência de edificações na região afetada. Destaca-se, neste caso, que mesmo as bacias em condições naturais apresentam pontos também naturais de alagamentos.

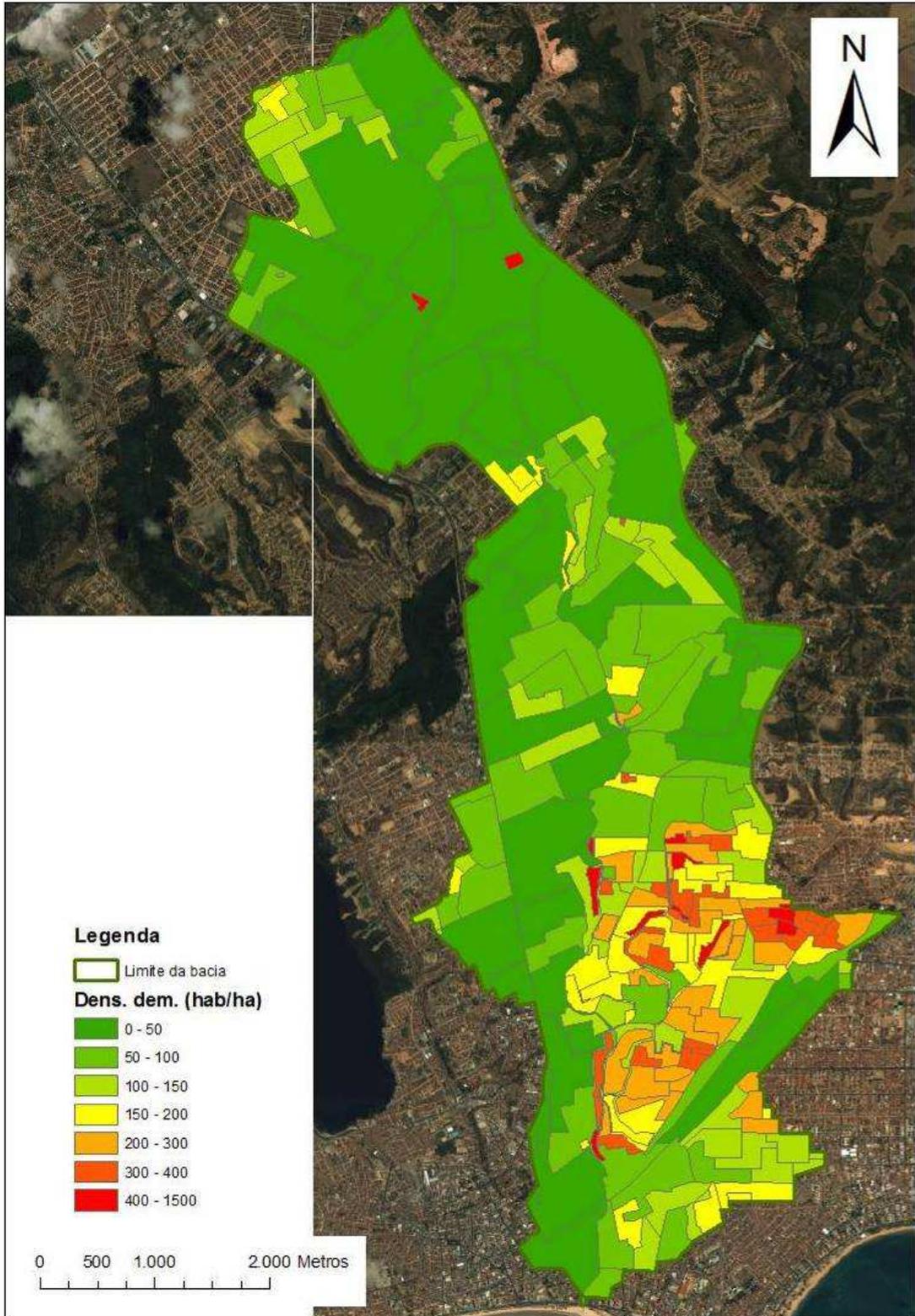
Para a avaliação preliminar do Indicador de População Atingida da bacia do Riacho Reginaldo, primeiramente será apresentado o mapa contendo a densidade demográfica dos setores censitários contidos na bacia (Figura 122), tal mapa será utilizado como base para a confecção do mapeamento do Indicador de População Atingida, apresentado logo a seguir para cada uma das regiões avaliadas.

Considerando-se que, conforme explicitado na metodologia, o Indicador de População atingida foi obtido a partir da densidade populacional dos setores censitários da bacia do Riacho Reginaldo, algumas características devem ser destacadas. A primeira delas é a peculiaridade do formato dos níveis do indicador. Considerando-se que a delimitação dos níveis foi

confeccionada a partir do “recorte”, no formato da mancha de alagamento, dos setores censitários, os mesmos foram seccionados, resultando formatos variados. Esta característica é mais marcante em regiões onde existe a presença de aglomerados urbanos subnormais (grotas ou favelas), pois, para a adequada contagem da população nestas regiões muito populosas, o IBGE as divide em porções menores, ou seja, setores censitários com menores áreas, maior número de setores e consequentemente maior número de interseções da mancha de alagamento. Tal característica pode ser observada nas regiões 06 (Estrondo, Figura 127) e 08 (Piabas, Figura 129).

Para a definição da população atingida foi utilizada a densidade demográfica do setor censitário atingido, a partir da divisão do número de habitantes no setor pela sua respectiva área. Posteriormente o setor foi seccionado, restando apenas a área do setor compreendida dentro da mancha de alagamento e a respectiva densidade demográfica do setor seccionado. Portanto, a densidade demográfica refere-se à totalidade do setor e não da área alagada, devido a não existência de dados com essa escala de refinamento. A partir desta consideração é possível concluir que, a densidade demográfica de parte do setor censitário pode não possuir exatamente as mesmas características do setor como um todo. Exemplo disto pode ser observado na região 01 (Santa Lúcia, Figura 123), onde existem dois valores de Indicador de População Atingida e, a região com maior valor (maior população atingida) não corresponde a maior densidade demográfica, de acordo com a imagem de satélite. Tal fato ocorreu devido à presença de um condomínio dentro do setor censitário seccionado (aumentando a densidade demográfica) não compreendido dentro da mancha de alagamento. Nas regiões com setores censitários menores este erro diminui, pois a densidade de partes do setor é mais representativa da totalidade do setor.

Figura 122 - Mapa de densidade demográfica da bacia do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2009

Figura 123 - Indicador de População Atingida – Região 01 Santa Lúcia



Fonte: Autora, 2009

Figura 124 - Indicador de População Atingida – Região 02 Jd. Petrópolis



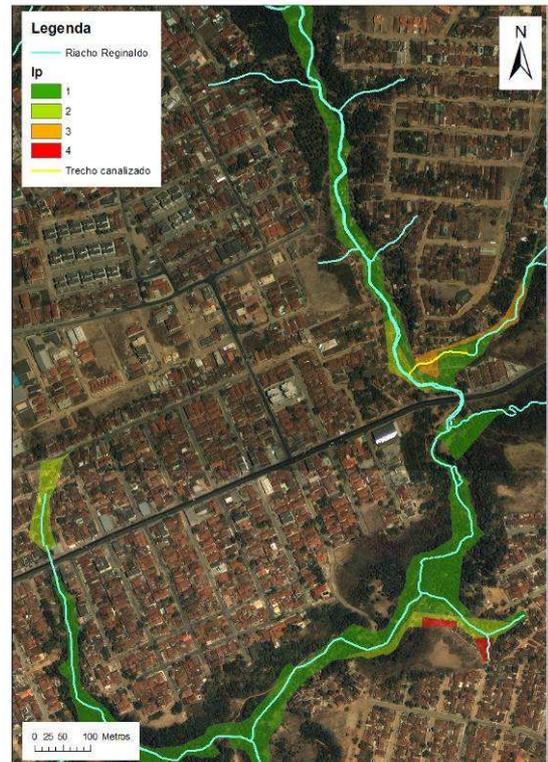
Fonte: Autora, 2009

Figura 125 - Indicador de População Atingida – Região 04 Ouro Preto



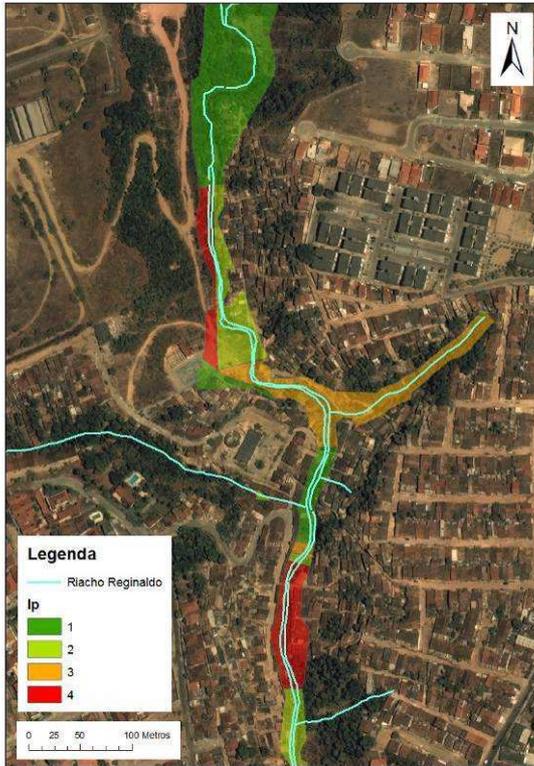
Fonte: Autora, 2009

Figura 126 - Indicador de População Atingida – Região 05 Rotary



Fonte: Autora, 2009

Figura 127 - Indicador de População Atingida – Região 06 Estrondo



Fonte: Autora, 2009

Figura 128 - Indicador de População Atingida – Região 07 Pinheiro



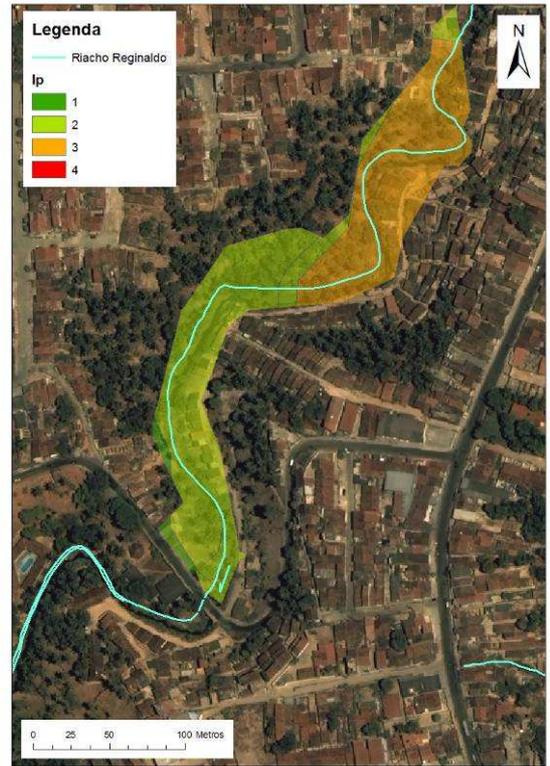
Fonte: Autora, 2009

Figura 129 - Indicador de População Atingida – Região 08 Piabas



Fonte: Autora, 2009

Figura 130 - Indicador de População Atingida – Região 09 Moenda



Fonte: Autora, 2009

Figura 131 - Indicador de População Atingida – Região 10 Poço



Fonte: Autora, 2009

Figura 132 - Indicador de População Atingida – Região 11 Mangabeira



Fonte: Autora, 2009

#### 4.3.4 Indicador de Geração de Escoamento Superficial

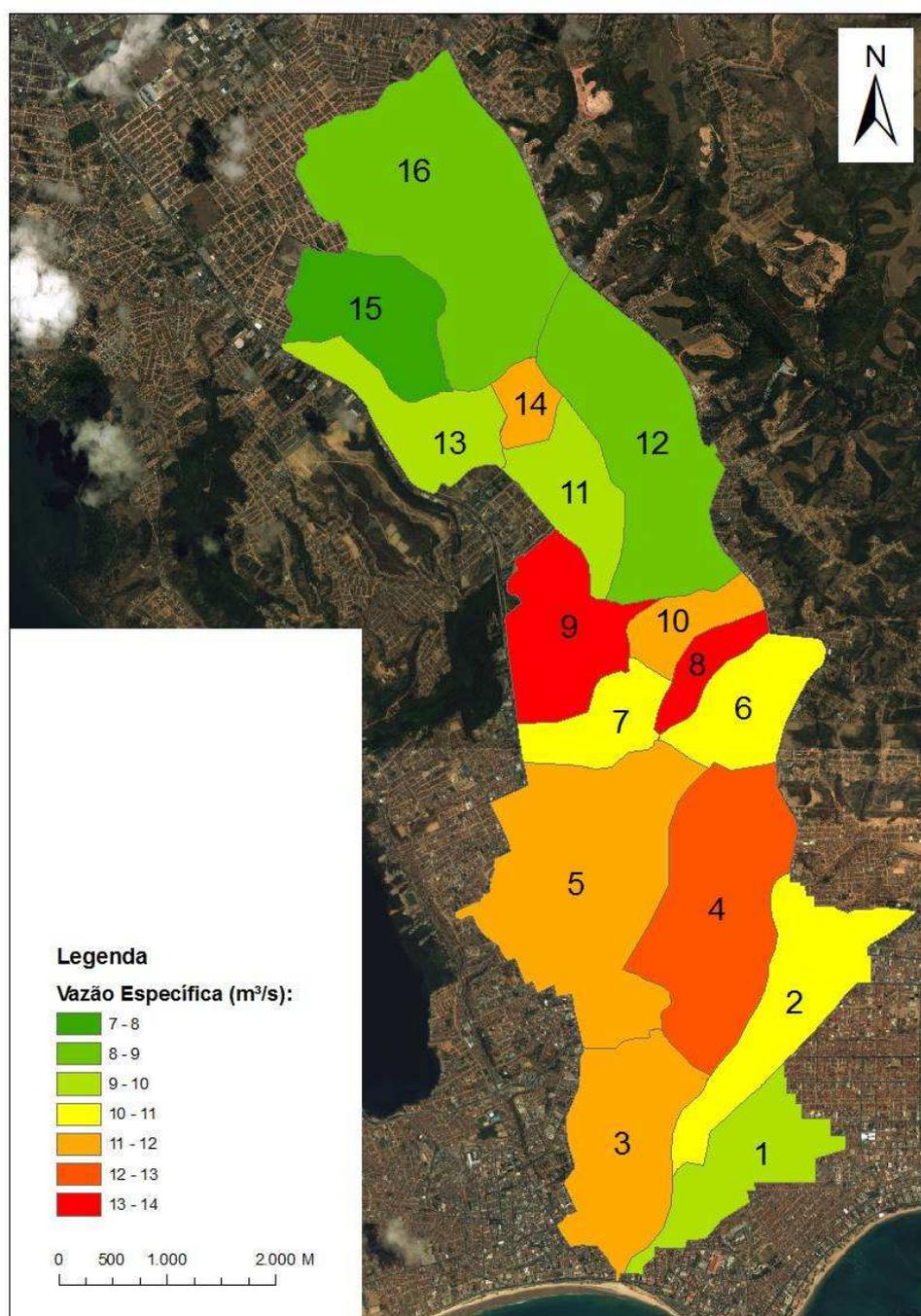
O Indicador de Geração de Escoamento Superficial possui a habilidade de representar a capacidade de uma determinada região em formar alagamentos, visto que, a mesma baseia-se na vazão específica de pico. Portanto, antes de apresentar os mapas do Indicador de Geração de Escoamento Superficial, será apresentado o mapa da vazão específica de pico da bacia do Riacho Reginaldo (Figura 133).

Outra abordagem para a avaliação do escoamento superficial poderia ser realizada através da vazão específica de pico acumulada da bacia, neste caso a avaliação seria realizada sobre o escoamento total acumulado das sub-bacias contribuintes. No presente trabalho optou-se por utilizar a vazão específica de pico de cada uma das sub-bacias, e não a acumulada, pois a mesma representa a capacidade de geração de escoamento da região avaliada, ou seja, permite uma avaliação das condições de escoamento da região (neste caso a sub-bacia) e não do acúmulo das características do escoamento das regiões de montante.

Considerando que o mapeamento deste indicador baseia-se em informações de geração de escoamento superficial em sub-bacias com delimitações pré-estabelecidas, o mapeamento foi delimitado a partir de “recortes”, no formato da mancha de alagamento, destas sub-bacias.

Devido a esta característica, a mancha de alagamento que se encontrava inteiramente compreendida em uma única sub-bacia ou em sub-bacias de um mesmo nível do indicador, receberam o Indicador de Geração de Escoamento Superficial referente à vazão específica desta(s) sub-bacia(s). Apenas as manchas de alagamento das regiões 02 (Jd. Petrópolis, Figura 135), 04 (Ouro Preto, Figura 136) e 05 (Rotary,137) estavam compreendidas em sub-bacias de mais de um nível do Indicador.

Figura 133 - Mapeamento da vazão específica de pico para cada uma das sub-bacias do Riacho Reginaldo



Fonte: Autora, 2009

Figura 134 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 01 Santa Lúcia



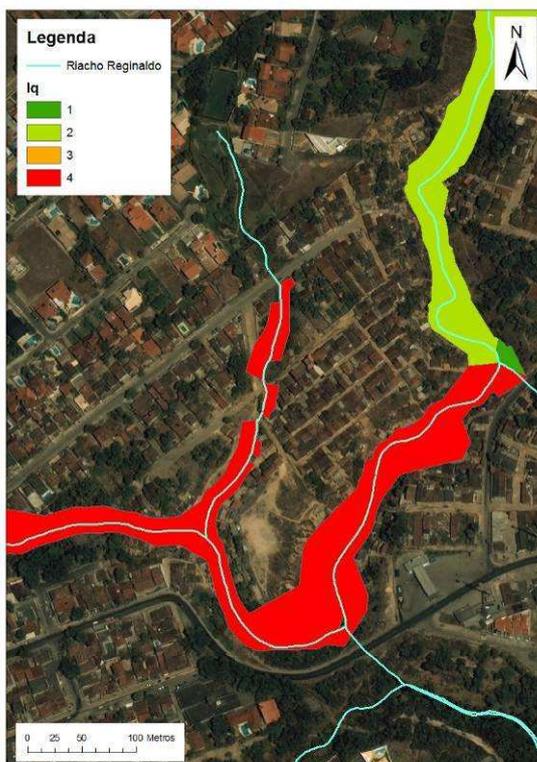
Fonte: Autora, 2009

Figura 135 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 02 Jd. Petrópolis



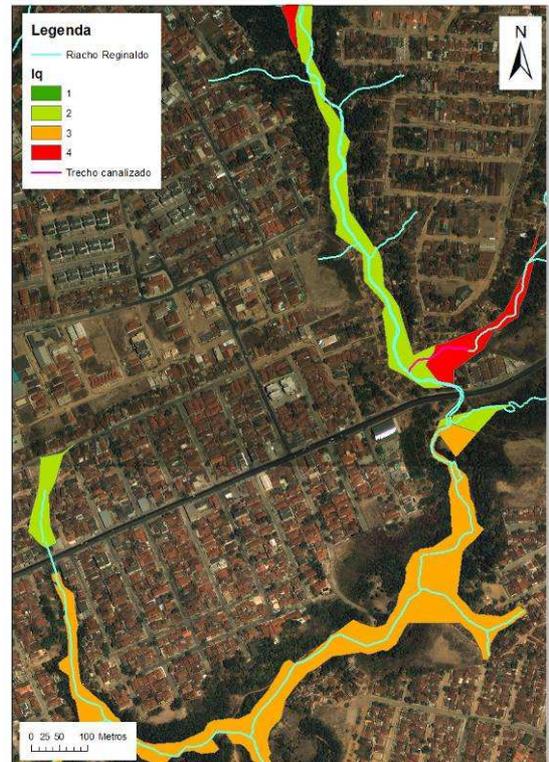
Fonte: Autora, 2009

Figura 136 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 04 Ouro Preto



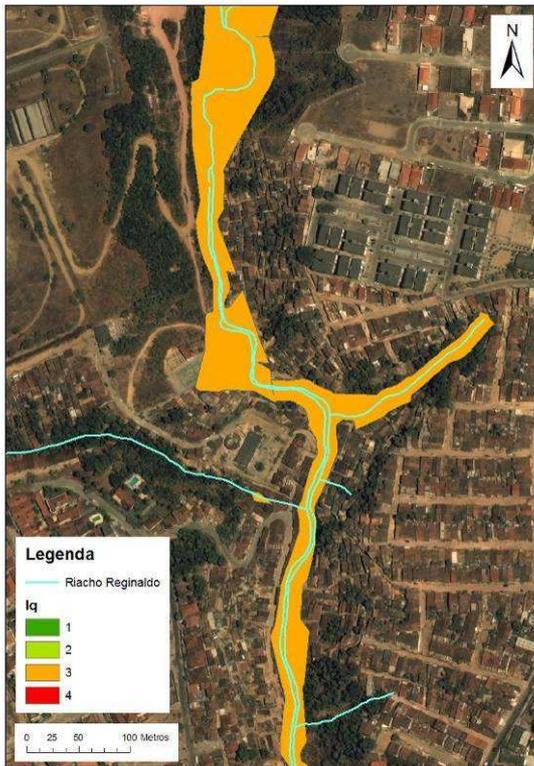
Fonte: Autora, 2009

Figura 137 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 05 Rotary



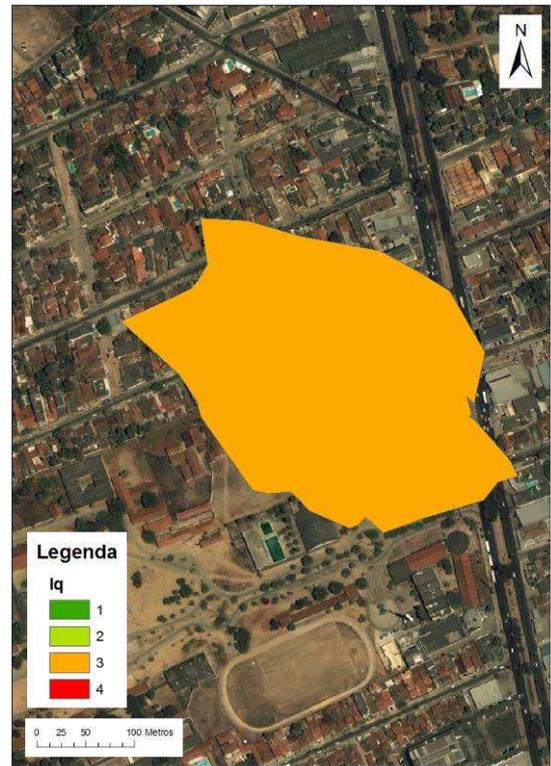
Fonte: Autora, 2009

Figura 138 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 06 Estrondo



Fonte: Autora, 2009

Figura 139 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 07 Pinheiro



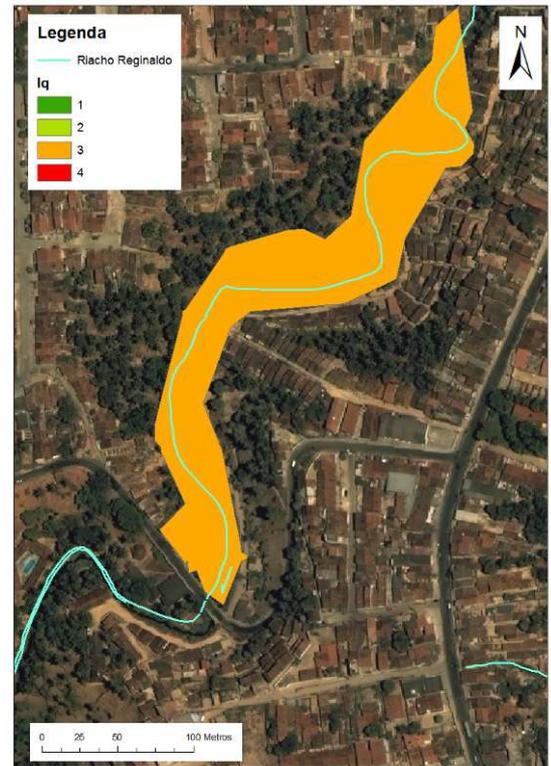
Fonte: Autora, 2009

Figura 140 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 08 Piabas



Fonte: Autora, 2009

Figura 141 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 09 Moenda



Fonte: Autora, 2009

Figura 142 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 10 Poço



Fonte: Autora, 2009

Figura 143 - Indicador de Geração de Escoamento Superficial – Região 11 Mangabeira



Fonte: Autora, 2009

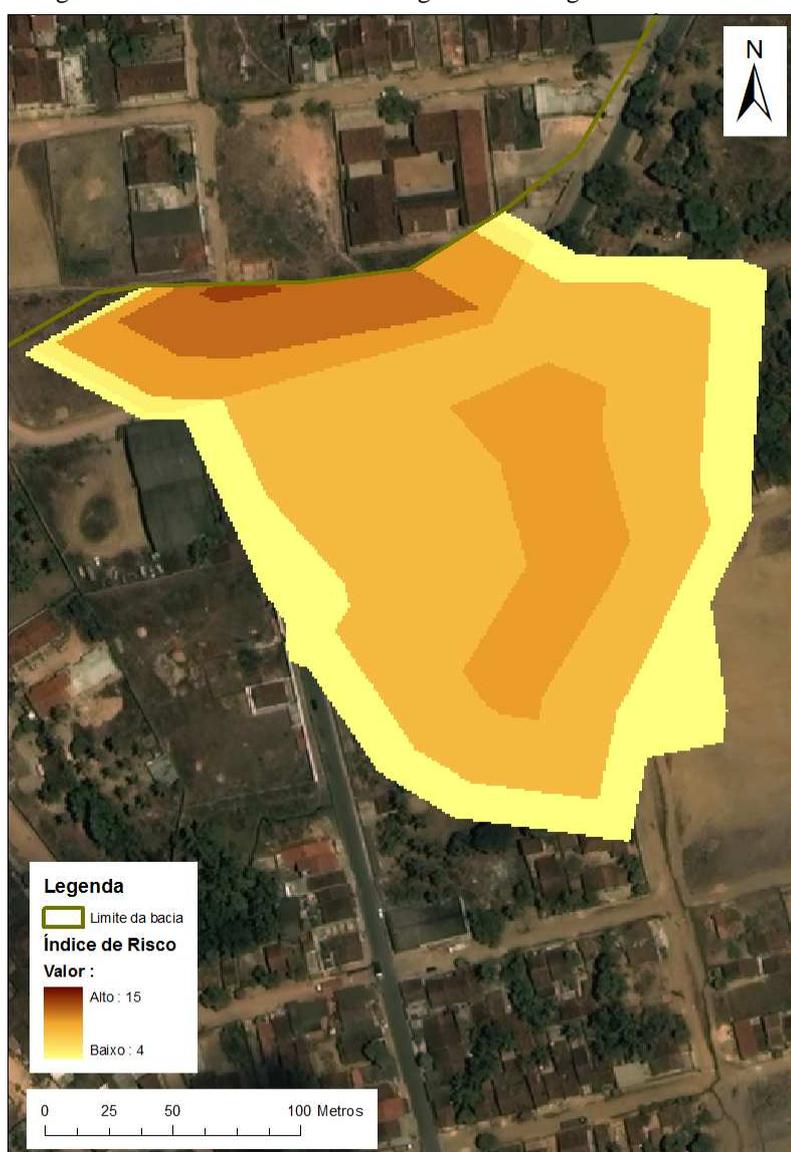
#### 4.4 Mapa do Índice de Risco de Alagamento

Por fim, considerando que o Índice de Risco de Alagamento neste trabalho foi definido como a união (através de uma soma) dos quatro indicadores representativos das características destes alagamentos, o mesmo consegue retratar condições de risco, relacionadas aos alagamentos, de cada uma das regiões da bacia. Sua representação espacial (através de mapas) possibilita a avaliação do Índice de forma mais fácil, onde é possível hierarquizar espacialmente as regiões da bacia com maiores problemas de alagamento. Portanto, são aqui apresentados os mapas do Índice de Risco de Alagamento da bacia do Riacho Reginaldo, para cada uma das regiões suscetíveis a alagamentos. No Apêndice 1 é possível visualizar o Índice de Risco de Alagamento para toda a bacia e neste capítulo são apresentados os mapas do Índice por região avaliada para um melhor detalhamento das mesmas.

Convém ressaltar que, considerando a existência de quatro níveis para cada uma dos quatro indicadores, o índice poderia variar de 4 a 16, não poderiam existir valores iguais a zero, visto que as áreas não sujeitas a alagamentos foram excluídas do estudo. Para a bacia do Riacho Reginaldo o Índice de Risco de Alagamento variou de 4 a 15.

A região 01 - Santa Lúcia (Figura 144) obteve um Índice de Risco de Alagamento que variou entre 5 e 11. Apesar de a região apresentar um valor superior do índice elevado (igual a 11), o mesmo é encontrado em uma pequena área junto ao limite da bacia e, deve-se principalmente ao fato da existência de um declive no terreno (maior profundidade do alagamento), adicionada a alta frequência de alagamentos na região. Entretanto, a maior parte da mancha de alagamento possui valor de IRA igual a 8, não representando alto grau de risco frente aos alagamentos quando comparada as demais regiões da bacia.

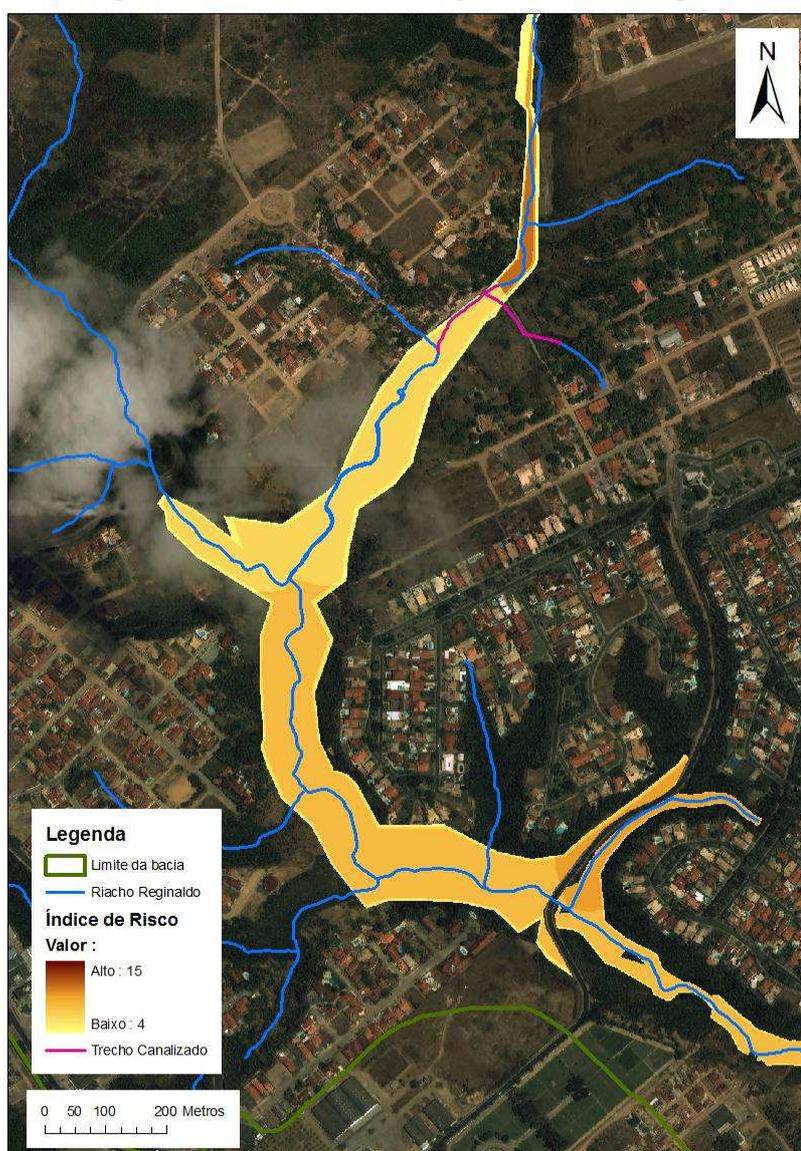
Figura 144 - Índice de Risco de Alagamento – Região 01 Santa Lúcia



Fonte: Autora, 2009

A região 02 - Jd. Petrópolis (Figura 145) também não se caracterizou como uma região crítica de alagamento. Visto que, apesar das altas profundidades de alagamento na região, devido à mesma estar situada na calha do Riacho Reginaldo, sua frequência possui valor baixo, assim como a densidade demográfica da região. Portanto o Índice de Risco de Alagamento nesta região variou entre 4 e 10, sendo que existe a maior predominância de valores como 7 e 8. A pequena área com valor de IRA elevado deve-se ao fato da alta frequência de alagamentos junto a entrada da galeria existente (sob o campo de futebol).

Figura 145 - Índice de Risco – Região 02 Jardim Petrópolis



Fonte: Autora, 2009

Na região 04 - Ouro Preto (Figura 146), a mancha de alagamento mais a montante da região caracteriza-se pela presença de extensas áreas permeáveis que, portanto, são responsáveis por valores baixos de geração de escoamento superficial. Tal característica faz com que o IRA possua um valor predominante igual a 8. Diferentemente do trecho anterior, quando é avaliada a área de alagamento mais a jusante, na mesma região, a impermeabilização da superfície aumenta, aumentando assim a geração de escoamento superficial da região que, adicionada a alta profundidade da mancha de alagamento em toda a região, devido à mesma estar situada na calha, o valor sobe para 11 em alguns pontos.

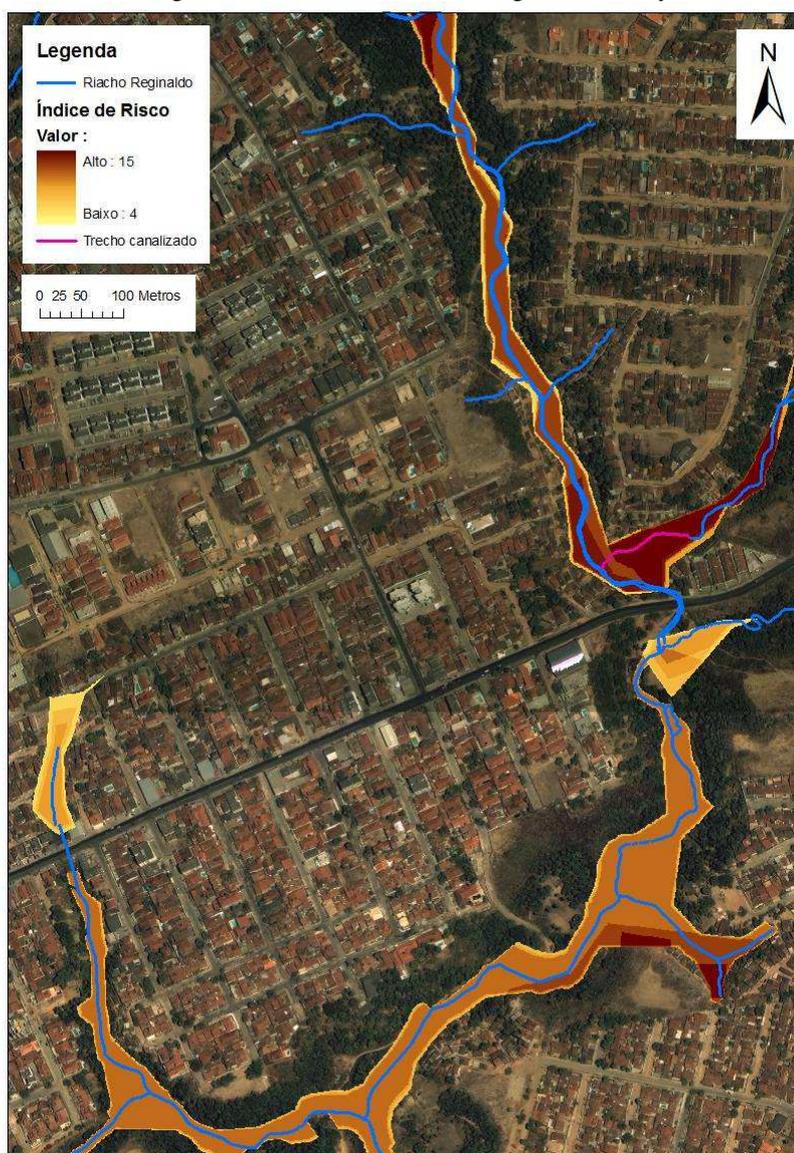
Figura 146 - Índice de Risco – Região 04 Ouro Preto



Fonte: Autora, 2009

A região 05 – Rotary (Figura 147) é a mais crítica da bacia, visto que reúne praticamente todas as características de risco: altas profundidades (pois situa-se junto à calha), alta frequência de alagamento (devido a presença de uma redução da calha natural), alta geração de escoamento superficial principalmente em um pequeno afluente existente, adicionado a alta densidade demográfica da região. Recebe, portanto, o maior valor de Índice de Risco de Alagamento da bacia do Riacho Reginaldo, igual a 15.

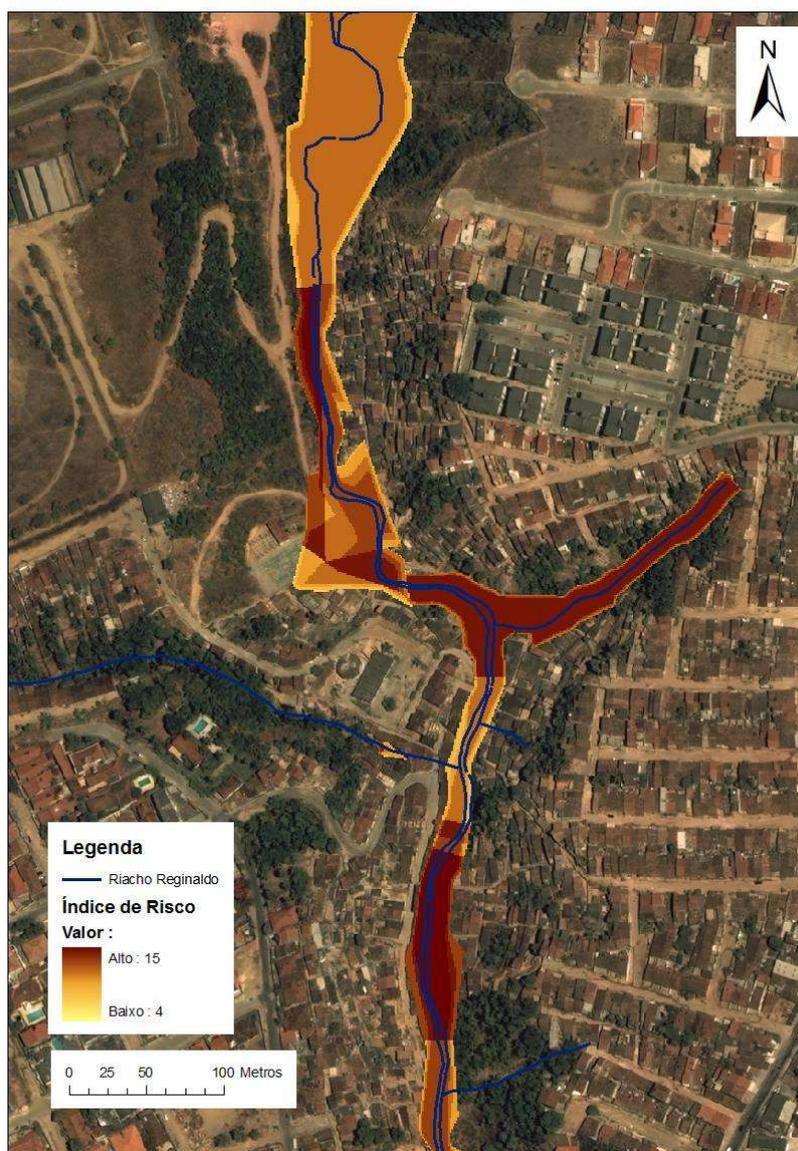
Figura 147 - Índice de Risco – Região 05 Rotary



Fonte: Autora, 2009

A região 06 – Estrondo (Figura 148) possui IRA variando de 8 a 13. A grande profundidade do alagamento (devido a situar-se junto à calha), juntamente com a alta geração de escoamento superficial (promovido pela presença de grandes áreas impermeáveis), adicionadas a alta densidade demográfica em alguns pontos da região conferem os valores mais elevados do índice.

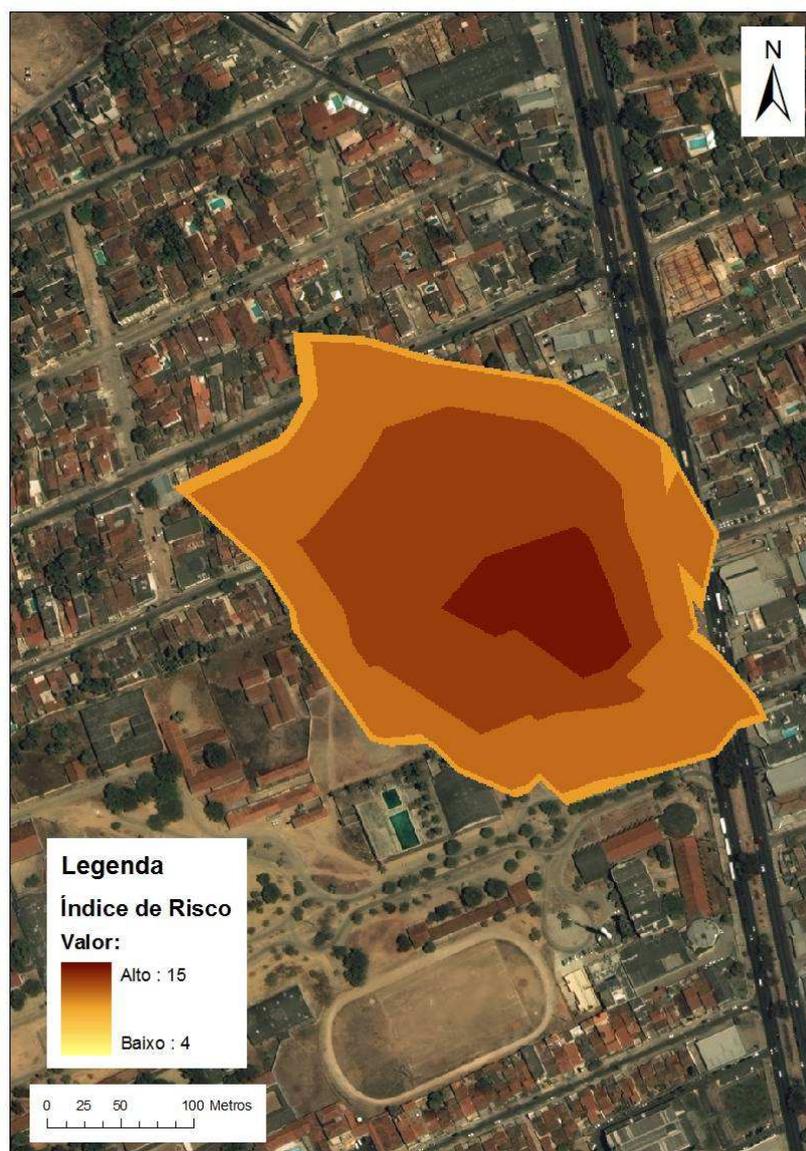
Figura 148 - Índice de Risco – Região 06 Estrondo



Fonte: Autora, 2009

A Região 07 – Pinheiro (Figura 149) possui como característica marcante a alta frequência dos alagamentos, o que resulta em valores altos do índice de Risco de Alagamento, que varia entre 9 e 12. Apesar da alta impermeabilização da região, que contribui fortemente para a geração de escoamento superficial, a inexistência de aglomerados urbanos subnormais faz com que a densidade demográfica da região não seja demasiadamente elevada.

Figura 149 - Índice de Risco – Região 07 Pinheiro



Fonte: Autora, 2009

A região 08 – Piabas (Figura 150) situa-se na calha do Riacho Reginaldo e, portanto, possui na profundidade do alagamento sua condição mais crítica, seguido da presença de alguns pontos de aglomeração urbana, que também contribuem para o aumento do IRA. Excetuando-se a parte alta da bacia do Riacho Reginaldo, todas as demais regiões são intensamente ocupadas, possuindo alta taxa de impermeabilização das superfícies e, conseqüentemente, alta geração de escoamento superficial. Com base nessas informações, destaca-se que o IRA desta região varia entre 7 e 13, sendo este um dos valores mais altos da bacia.

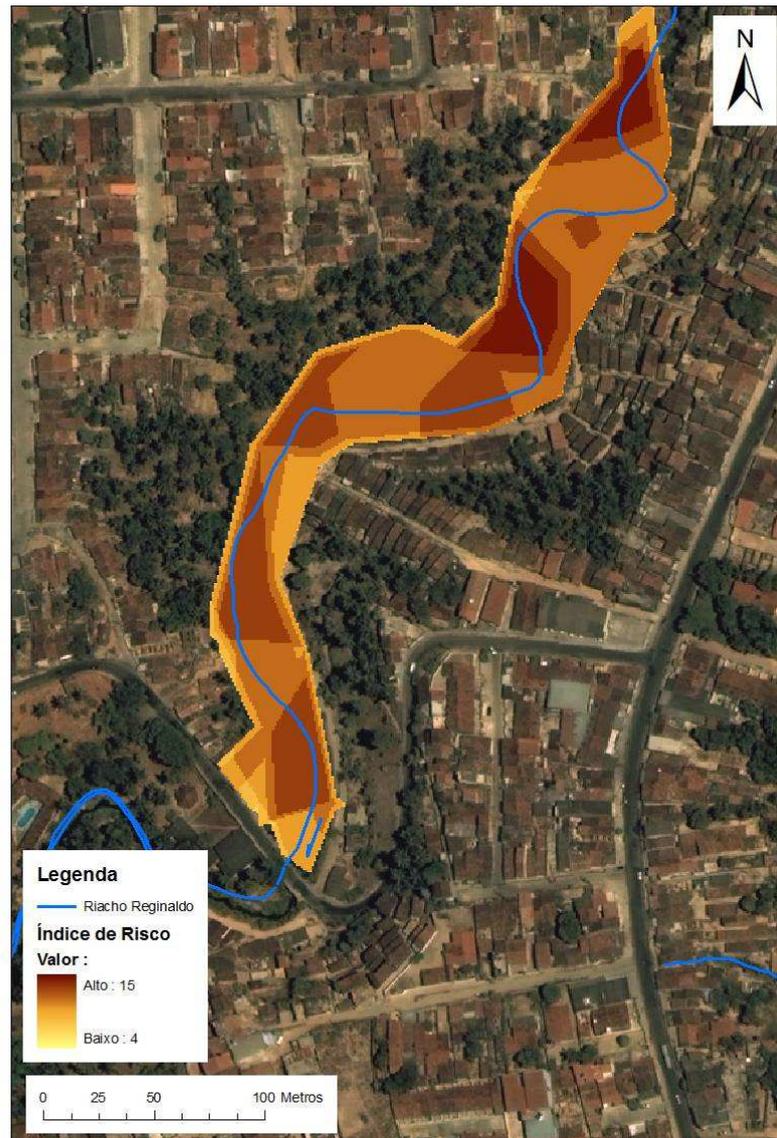
Figura 150 - Índice de Risco – Região 08 Piabas



Fonte: Autora, 2009

A região 09 – Moenda (Figura 151) destaca-se por localizar-se junto à calha do Riacho Reginaldo possuindo, portanto, altas profundidades de alagamento em alguns pontos isolados. Assim como as demais regiões desta parte da bacia, possui alta geração de escoamento superficial, devido a alta urbanização. Tais aspectos somam-se influenciando a variação do IRA entre os valores de 8 e 12.

Figura 151 - Índice de Risco – Região 09 Moenda



Fonte: Autora, 2009

As manchas de alagamento situadas junto à calha são sempre regiões onde o alagamento atinge profundidades maiores, em função de o vale do Riacho Reginaldo ser bastante encaixado, promovendo grandes profundidades de alagamento com pequenos espelhos d'água. Entretanto, a presença de um extravasamento na calha, na região mais a jusante da Região 10 - Poço (Figura 152), torna o alagamento menos profundo neste ponto. Fora este extravasamento, o restante da região possui taludes íngremes, reduzindo assim a sua ocupação, em comparação com outras regiões da bacia. Portanto, o IRA nesta região possui valores entre 6 e 12, os maiores valores encontrados situam-se em pontos isolados onde a profundidade de alagamento é alta, devido a situarem-se entre a parede da canalização e os taludes íngremes.

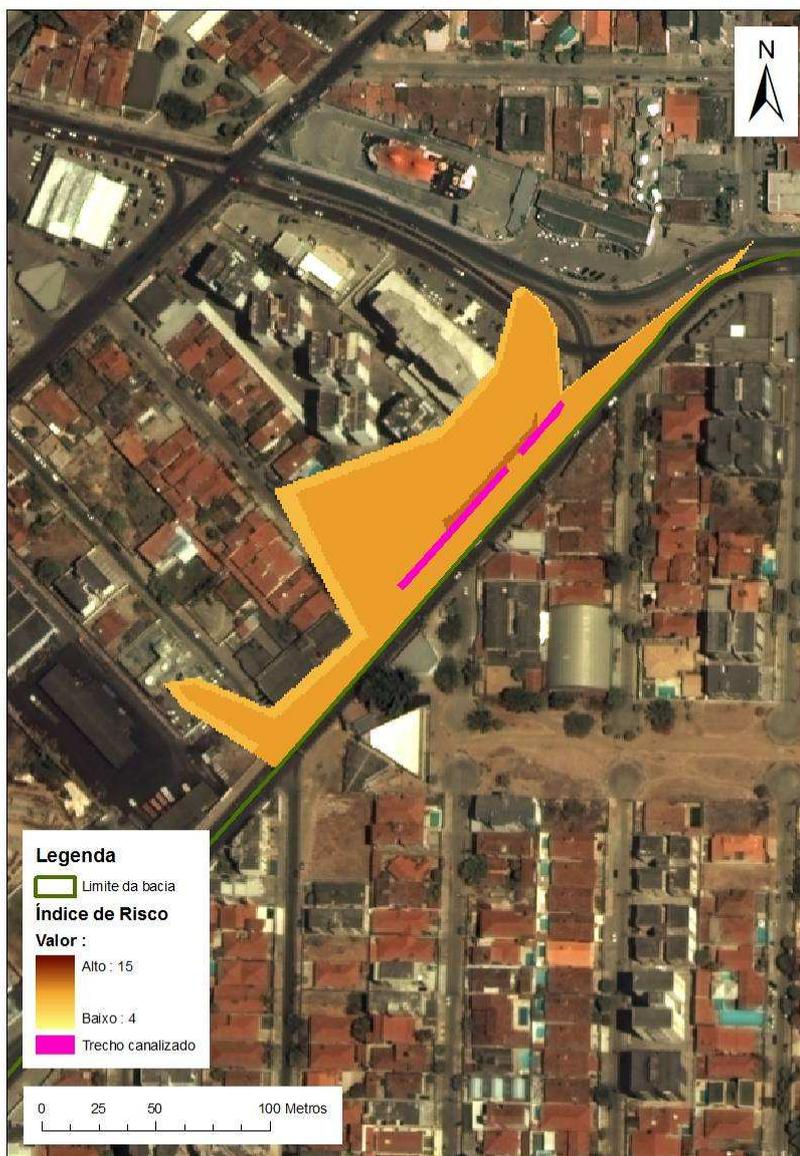
Figura 152 - Índice de Risco – Região 10 Poço



Fonte: Autora, 2009

Apesar da alta frequência dos alagamentos da região 11 - Mangabeira (Figura 153), o alagamento não atinge grandes profundidades. As baixas profundidades dos alagamentos, adicionadas a baixa densidade demográfica (devido à ausência de grandes aglomerações urbanas na região) fazem com que, a região possua valores de IRA médios e com pouca variação, entre 8 e 10.

Figura 153 - Índice de Risco – Região 11 Mangabeira



Fonte: Autora, 2009

O maior valor do Índice de Risco Alagamento e, portanto a área mais vulnerável ao Risco de Alagamento foi a região denominada de Rotary (Região 05) que recebeu o valor 15. As regiões Estrondo e Piabas também se mostraram regiões vulneráveis e recebendo valor 13, seguidos pelas regiões Pinheiro, Moenda e parte do Poço com valor 12.

Neste capítulo foram apresentados os mapeamentos dos Índices de Risco Alagamento para cada uma das regiões da bacia, para que fosse realizada uma avaliação detalhada de cada uma delas. Para uma avaliação visual da totalidade da bacia é apresentado, no Apêndice, um mapa contendo a representação gráfica da área da bacia, juntamente com o mapeamento do Índice de Risco de Alagamento de todas as regiões analisadas.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através das visitas realizadas a diversos pontos da bacia do Riacho Reginaldo, foi possível perceber que várias regiões sofrem com problemas relacionados aos alagamentos, com magnitudes, abrangência e relações entre causas e efeitos de naturezas diferentes. A ocupação desordenada de zonas de risco, sobretudo pela população de baixa renda, bem como a falta de alguns serviços básicos (como rede de esgoto e coleta de lixo) tornam a situação ainda mais preocupante. Ressalta-se que a coleta de esgoto na bacia é praticamente inexistente, sendo os mesmos lançados diretamente na calha do Riacho Reginaldo misturando-se as águas pluviais durante os eventos de alagamento.

Praticamente todas as regiões situadas a montante de travessias sobre o curso d'água principal tem problemas frequentes com os alagamentos. Como causas desses alagamentos podem ser citados o estrangulamento provocado pelo aterramento e conseqüente diminuição da calha natural do rio e o acréscimo de geração de escoamento a montante promovido pela impermeabilização que torna as estruturas de drenagem insuficientes. Esses problemas frequentes com alagamentos destacam a necessidade de que as áreas de montante dessas travessias permaneçam sem ocupação, ou que seus usos sejam compatíveis com os riscos associados aos alagamentos.

O mapeamento do Índice de Risco de Alagamento tornou possível a comparação das diversas áreas da bacia frente aos eventos de alagamentos, fornecendo uma importante ferramenta para o planejamento do sistema de drenagem urbano ou ainda para o zoneamento de áreas alagáveis na bacia estudada, auxiliando na escolha das áreas a serem priorizadas no atendimento, bem como as melhores alternativas de minimização dos problemas de alagamento.

Através do mapeamento do Índice de Risco da bacia do Reginaldo foi possível constatar que, de maneira geral, a exposição ao risco aumenta nas regiões mais a jusante, devido não apenas ao somatório dos problemas oriundos de montante, como o carreamento do lixo e a grande produção de escoamento superficial e sedimentos de toda a bacia a montante, mas também devido à intensificação da ocupação nestas regiões.

Com base no Índice de Risco foi possível identificar a região denominada como Rotary como a de maior exposição ao risco. Tal região sofre a influência de vários aspectos de risco, além dos frequentes alagamentos, existe a intensa ocupação junto ao aterramento existente, adicionada a alta contribuição de escoamento de regiões mais altas, intensamente urbanizadas que contribuem ao Riacho Reginaldo neste ponto.

Outras regiões a serem destacadas são Estrondo e Piabas, ambas possuem características semelhantes: a intensa ocupação junto e até sobre a calha (aumentando o número de pessoas expostas), além da grande contribuição de escoamento de regiões intensamente urbanizadas.

Considerando que o presente trabalho possui como principal fonte de informações a percepção da população residente das áreas alagadas frente aos eventos de alagamento, seus resultados são qualitativamente representativos do grau de exposição da população da bacia frente a esses eventos. A metodologia proposta tornou possível a avaliação da bacia de forma macro, possibilitando a comparação das várias regiões estudadas. Recomenda-se, para próximos trabalhos, o detalhamento das regiões aqui apresentadas como críticas, possibilitando assim uma avaliação quantitativa focada apenas nas regiões mais problemáticas, utilizando inclusive medições de vazões em campo durante eventos de maior magnitude, levantamento das edificações mais vulneráveis, levantamento topográfico com maior detalhamento destas áreas, além da utilização das informações obtidas dos equipamentos de pluviometria e fluviometria instalados na bacia.

Recomenda-se ainda, a realização de estudos de alagamentos nas vias, visto que, foram mencionados vários pontos que sofrem com tais impactos e, visto que no presente trabalho foram contempladas apenas as regiões de alagamento consideradas críticas, entendidas, neste caso, como as regiões os alagamentos atingiam o interior das edificações.

Destaca-se, ainda, que apesar de terem sido levantados elementos associados à qualidade do ambiente, esta informação foi levantada apenas qualitativamente, dentro da percepção dos responsáveis pelo trabalho. Os impactos associados a esta qualidade sobre a população (como o risco à saúde pública relacionado à degradação ambiental) não foram levantados. Desta forma, recomenda-se que estas relações sejam levantadas em trabalhos futuros, buscando associar à avaliação dos eventos críticos de alagamentos as outras componentes do saneamento básico e as relações com a saúde pública.

No presente estudo cada um dos quatro indicadores que compuseram o Índice de Risco de Alagamento recebeu o mesmo peso, uma vez que o grau de importância de cada indicador em relação aos efeitos dos alagamentos não foi analisado. Desta forma, recomenda-se que estes pesos sejam analisados para o caso de análise de risco de alagamentos, buscando, inclusive, avaliar outros indicadores que podem entrar na composição do índice.

Considerando que, alguns setores de risco, situados na bacia do Riacho Reginaldo, apresentados no PMRR de Maceió coincidem com as áreas de alagamento levantadas no

presente estudo, recomenda-se a realização de estudos futuros sobrepondo as duas informações, contemplando assim as características abordadas em cada um dos trabalhos.

Finalmente, ressalta-se ainda a necessidade de estudos contínuos relativos aos alagamentos em bacias urbanas, como a do Riacho Reginaldo, visto que a principal característica dessas bacias é a sua dinâmica, ou seja, estão em constante modificação.

## REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- AGRA, S. G., 2001. **Estudo experimental de microrreservatórios para o controle do escoamento superficial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na região metropolitana do Recife.** Tese 1998. 135 f. (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.
- ALLASIA, D. G. et al. Estudo de caso: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003.
- ANDRADE, J. P. M. **Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência de pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, jul./set. 2000.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BARROS, M. T. L. ET al. Mapa de risco para água urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.
- BARROS, R. M.; MENDIONDO, E. M. ; WENDLAND, E. Cálculo de áreas inundáveis devido a enchentes para o plano diretor de drenagem urbana de São Carlos (PDDUSC) na bacia Escola do Córrego do Gregório. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, abr./jun. 2007.
- BASTOS, G. A. P. **Análise dos parâmetros do modelo SWMM para avaliação do escoamento em duas bacias periurbanas em Santa Maria-RS.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.
- BRAGAGNOLO, S. A. M. et al. Análise múltipla de avaliação de risco no gerenciamento de áreas susceptíveis a riscos urbanos. In: CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 5.; CONGRESSO DE ENGENHARIA DE MOÇAMBIQUE, 2., Maputo. **Anais...** Maputo, 2008.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 de jan. 2007. Seção 1, p. 3-7.

CIRIA. **Sustainable urban drainage systems**. 2001. Disponível em: <<http://www.ciria.org/suds/pdf/suds.pdf>>. Acessado em: 10 jan. 2008.

COELHO, F. P. **Contribuições conceituais para a elaboração de plano de gestão em educação ambiental integrada a bacias hidrográficas urbanas: estudo de caso: bacia do Rio Reginaldo, Maceió – AL**. 2008. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

COSTA, S. D. **Estudo de viabilidade de revitalização de cursos d'água em área urbana: Estudo de Caso no Rio Córrego Grande em Florianópolis**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, out./dez. 1988.

FAGUNDES, L. **Elaboração de índice ambiental urbano através da análise de densidade populacional e superfície impermeável em bacias hidrográficas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FERRAZ, F. F. et al. A previsão de áreas inundadas na cidade de Piracicaba (SP) através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, jul./set. 1998.

GARCIA, J. I. B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GIUNTOLI, I. **Sistema Web-GIS participativo associado a indicadores de gestão descentralizada de risco de inundações**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

GOULDBY, B.; SAMUELS, P. Language of risk: project definitions. In: **FLOODSITE. Integrated flood risk analysis and management methodologies** Report T32-04-01.

HOLZ, J. e TASSI, R. Usando estruturas de drenagem não convencionais em grandes áreas: o caso do loteamento Monte Bello. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 17., São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Contagem da população 2007**: agregado por setores censitários. 2009<sup>a</sup>. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Contagem\\_da\\_Populacao\\_2007/Agregado\\_por\\_Setores\\_Censitarios\\_2007](ftp://ftp.ibge.gov.br/Contagem_da_Populacao_2007/Agregado_por_Setores_Censitarios_2007)>. Acessado em: 9 de jun. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE. **Arquivos contendo os limites dos setores censitários, em formato shp**. 2009 b. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas\\_digitais/setor\\_urbano\\_2007/AL/SHAPE\\_UTM\\_GEO\\_S69/Macei%F3/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/setor_urbano_2007/AL/SHAPE_UTM_GEO_S69/Macei%F3/)>. Acessado em: 9 de jun. 2009.

\_\_\_\_\_. **IBGE Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwin/window.htm?1>>. Acessado em: 1 de fev. 2010.

LUNA, H. A. **Caracterização hidrológico-hidráulica da bacia do Riacho do Sapo, em Maceió-AL**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

MACHADO, M. L. et al. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 35- 52, 2005.

MELLER, A. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistemas de drenagem em Santa Maria - RS**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MENDES, H.C.; MENDIONDO, E.M. Histórico da expansão urbana e incidência de inundações: o caso da Bacia do Gregório, São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 1, jan./mar. 2007.

NASCIMENTO, M. O. T.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILVA, T. C. Metodologia para priorização de ações em aglomerados subnormais considerando os riscos de deslizamentos, inundações e as condições de moradia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...**Campo Grande, 2009..

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e o saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n.1, p. 36-48, jan./mar. 2005.

NEVES, M. G. F. P.; PEPLAU, G. R.; SOUZA, V. C. B. Simulações hidrológico-hidrocinâmicas de alternativas para mitigação de problemas de drenagem urbana em Maceió – AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.

\_\_\_\_\_. et al. Características da bacia do Riacho Reginaldo em Maceió – AL e suas implicações no escoamento superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, E. L. A. et al. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológicos: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004.

ONHUMA JR. A. A. **Medidas não convencionais de reservação d`água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. Dissertação (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ONO, S.; BARROS, M. T. L. **Medidas para minimizar os efeitos das inundações em áreas de risco em São Paulo**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_; BARROS, M. T. L.; CONRADO, G. N. A utilização de SIG no planejamento e gestão de bacias urbanas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2005, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa, 2005.

PEDROSA, H. T. S. **Avaliação do impacto da aplicação das diretrizes do plano diretor de Maceió sobre o escoamento superficial**: estudo de caso: bacia do Riacho Reginaldo. 2008. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

\_\_\_\_\_. **Caracterização hidrológico-hidráulica da bacia do Riacho do Gulandim, em Maceió-AL**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

\_\_\_\_\_; SOUZA, V. C. B. Análise de cenários de uso e ocupação do solo na bacia do Riacho Reginaldo, em Maceió / AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.

PEPLAU, G. R. **Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

\_\_\_\_\_; CABRAL, J. J. S. P. Proposta metodológica para análise de viabilidade sobre a consideração prévia de sistema misto para ações em saneamento na bacia do Riacho Reginaldo em Maceió-AL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, 2007.

\_\_\_\_\_. et al. Caracterização de bacias urbanas para implantação de estrutura de monitoramento: estudo de caso: Riacho Reginaldo. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Maceió. **Anais...** Maceió, 2006.

PIMENTEL, I. M. C. **Avaliação quali-quantitativa das águas do Riacho Reginaldo e seus afluentes**. 2009. Dissertação (Mestrado Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, jan./mar. 2000.

PRATT, C. R.; KALY, U. L.; MITCHELL, J., 2004. **Manual**: how use the environmental Vulnerability index (EVI). SOPAC Technical Report 383, 60 p. United Nations Environment Programme (UNEP). South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC).

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. **Levantamento dos danos causados pelas chuvas torrenciais caídas na cidade**. Maceió, 2004.

\_\_\_\_\_. **Plano Municipal de Redução de Risco**. Maceió, 2007.

\_\_\_\_\_. Secretaria Municipal de Controle do Convívio Urbano. **Base cartográfica numérica**. Maceió, 1999.

SENA, M. C. R. et al. Metodologias de obtenção do parâmetro CN do modelo SCS: estudo de caso: bacia do Riacho Reginaldo, Maceió-AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá. **Anais...** Gravatá, 2006.

SILVA JR, R. L. **Evolução da urbanização e seu efeito no escoamento superficial na bacia do Riacho Reginaldo, Maceió-AL**. 2009. Dissertação (Mestrado Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

SOUZA, C. F. **Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. 2005. Dissertação (Mestrado Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração de escoamento superficial**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TASSI, R. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. 2002. Dissertação (Mestrado Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TREBY, E. J.; CLARK, M. J.; PRIEST, S. J. Confronting flood risk: implications for insurance and risk transfer. **Journal of Environmental Management**, v. 81, p. 351-359, 2006.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 7, n. 1, jan./mar. 2002.

\_\_\_\_\_. **Gestão das águas pluviais urbanas**. Brasília,DF: Ministério das cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2006. 194 p. (Saneamento para todos; v. 4).

\_\_\_\_\_. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da URGs/ABRH, 2004.

\_\_\_\_\_; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: \_\_\_\_\_. PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana. Primeira. Porto Alegre**: Editora da UFRGS/ABRH, 1995.

\_\_\_\_\_; MELLER, A. **Regulação das águas pluviais urbanas**. 2008. Disponível em: <[www.capnet-brasil.org/arquivos](http://www.capnet-brasil.org/arquivos)>. Acessado em: 11 jan.2008.

\_\_\_\_\_; PORTO, R. L.; BARROS, M. T., 1995. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995.

TURNER, B. L. et al. A framework for vulnerability in sustainability science. **Proceedings of the National Acad Sciences**. v.100, p. 8074-8079, 2003. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/100/14/8074.full>> Acessado em: 12 de fev. 2008.

ZONENSEIN, J., 2007. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

APÊNDICE A - Mapa do Índice de Risco de Alagamento para a bacia do Riacho Reginaldo

