

ESTUDO DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RESSACA

Gabriel Troyan Rodrigues^{1,2}; Cristhyano Cavali da Luz¹; Durval Nascimento Neto¹; Renan José Alberton Disner¹; Lucas Monteiro Dildey¹; Andressa Guimarães de Freitas¹ & Julia Machado Zocollotti¹; Altair Rosa².

RESUMO – O crescimento urbano, quando associado à impermeabilização do solo, à ocupação de áreas ambientalmente sensíveis e à insuficiência dos sistemas de drenagem, intensifica a ocorrência de inundações e alagamentos em áreas urbanas. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo sintetizar os estudos técnicos desenvolvidos para a caracterização das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos através do cadastro e a modelagem hidrodinâmica das redes de macro e microdrenagem, bem como a proposição de medidas estruturais e não estruturais para o município de São José dos Pinhais, Paraná. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso técnico-aplicado para bacia hidrográfica do rio Ressaca. Os procedimentos metodológicos envolveram levantamento documental, caracterização territorial e ambiental, análise de eventos históricos, cadastro de estruturas de drenagem, modelagem hidrodinâmica e proposição de intervenções. A modelagem da macrodrenagem permitiu avaliar manchas de inundação para diferentes tempos de retorno, enquanto o cadastro da microdrenagem evidenciou problemas associados à capacidade de captação, condução e manutenção das estruturas. Como resposta, foram propostas medidas estruturais, como ampliação da rede, substituição de estruturas danificadas, limpeza de dispositivos obstruídos e implantação de bacias de contenção.

Palavras-Chave – Gestão de Águas Pluviais; Inundação; Alagamento.

ABSTRACT– Urban growth, when associated with soil imperviousness, the occupation of environmentally sensitive areas, and insufficient drainage systems, intensifies the occurrence of flooding and waterlogging in urban areas. In this context, this paper aims to synthesize the technical studies developed to characterize areas susceptible to flooding and waterlogging through the survey and hydrodynamic modeling of macro and microdrainage networks, and the proposal of structural and non-structural measures for the municipality of São José dos Pinhais, Paraná, Brazil. The research is characterized as a technical-applied case study focused on the Ressaca River watershed. The methodological procedures involved documentary research, territorial and environmental characterization, analysis of historical events, inventory of drainage structures, hydrodynamic modeling, and proposal of interventions. The macrodrainage modeling enabled the assessment of flood extents for different return periods, while the microdrainage survey revealed problems associated with the intake capacity, conveyance, and maintenance of the structures. In response, structural measures were proposed, such as network expansion, replacement of damaged structures, cleaning of obstructed devices, and implementation of containment basins.

Key-words – *Stormwater Management; Flooding; Urban Waterlogging.*

1

Afiliação: 1) Universidade Livre do Meio Ambiente (UNILIVRE). E-mail: gabriel.troyan@unilivre.org.br
2) Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

INTRODUÇÃO

As inundações e os alagamentos urbanos representam desafios recorrentes para a gestão das cidades, sobretudo em municípios submetidos a processos acelerados de urbanização, adensamento populacional e expansão da infraestrutura viária. Embora estejam diretamente associados à ocorrência de eventos pluviométricos intensos, esses fenômenos são agravados por fatores antrópicos, como a impermeabilização do solo, a ocupação inadequada de fundos de vale, a supressão de áreas vegetadas, a canalização de cursos d'água e a insuficiência ou ausência de manutenção dos sistemas de drenagem.

No contexto urbano, o sistema de drenagem é responsável por captar, conduzir, armazenar e lançar adequadamente as águas provenientes das precipitações. De modo geral, esse sistema pode ser dividido em microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem é composta por dispositivos responsáveis pela captação e condução inicial das águas pluviais, como sarjetas, bocas de lobo (bueiros), galerias, tubos de ligação e poços de visita. A macrodrenagem, por sua vez, compreende galerias de maior porte, fundos de vale, os cursos d'água, canais e demais estruturas responsáveis pelo escoamento de maiores vazões. Essa distinção é fundamental para o planejamento da drenagem urbana, uma vez que os problemas de alagamento e inundação podem estar associados tanto a falhas locais de captação quanto à insuficiência dos sistemas principais de escoamento (Botelho, 2011; Canholi, 2014).

O município de São José dos Pinhais, localiza-se na Região Metropolitana de Curitiba, com uma população total de 329.628 pessoas, sendo que 309.323 habitam na área urbana do município, que possui uma extensão territorial de 945,509 km² e uma densidade demográfica de 348,28 hab./km² (IBGE, 2022). Desta forma, nota-se que a população se encontra adensada na área urbana, a qual ainda possui o aeroporto internacional de toda região metropolitana, acrescendo o fluxo de pessoas.

A relevância do tema também é demonstrada pelo histórico recente de eventos críticos registrados no município. Em dezembro de 2022, a elevação do nível de cursos d'água, deixando 30 famílias desalojadas. No mesmo mês, um novo evento causou danos a cerca de 500 residências. Em 2024, novos episódios foram registrados, incluindo moradores ilhados e encaminhamento de 54 pessoas para abrigos emergenciais.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar uma síntese técnico-científica do estudo de drenagem urbana para o município de São José dos Pinhais (PR), mais especificamente para Bacia Hidrográfica do Rio Ressaca, contemplando a caracterização das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, a modelagem das redes de macro e microdrenagem e a proposição de medidas voltadas à mitigação dos impactos decorrentes de chuvas intensas.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso técnico-aplicado, de natureza descritiva e analítica. A abordagem metodológica foi organizada em cinco etapas principais: (i) caracterização das áreas suscetíveis; (ii) diagnóstico da macrodrenagem; (iii) diagnóstico da microdrenagem; (iv) modelagem hidrodinâmica e; (v) proposição de medidas mitigadoras estruturais.

A primeira etapa consistiu na caracterização territorial e ambiental da área urbana. Foram analisadas informações referentes ao uso e ocupação do solo, áreas verdes, Áreas de Preservação Permanente e sua conservação, bacias hidrográficas, características geológicas e geomorfológicas, dados pluviométricos, infraestrutura de drenagem existente e registros históricos de eventos de inundação e alagamento.

Essa análise possibilitou hierarquizar a ordem prioritária entre as bacias hidrográficas urbanas, onde a bacia hidrográfica do rio Ressaca foi selecionada em razão da concentração do maior número de áreas críticas e da elevada densidade de pontos com histórico de alagamento.

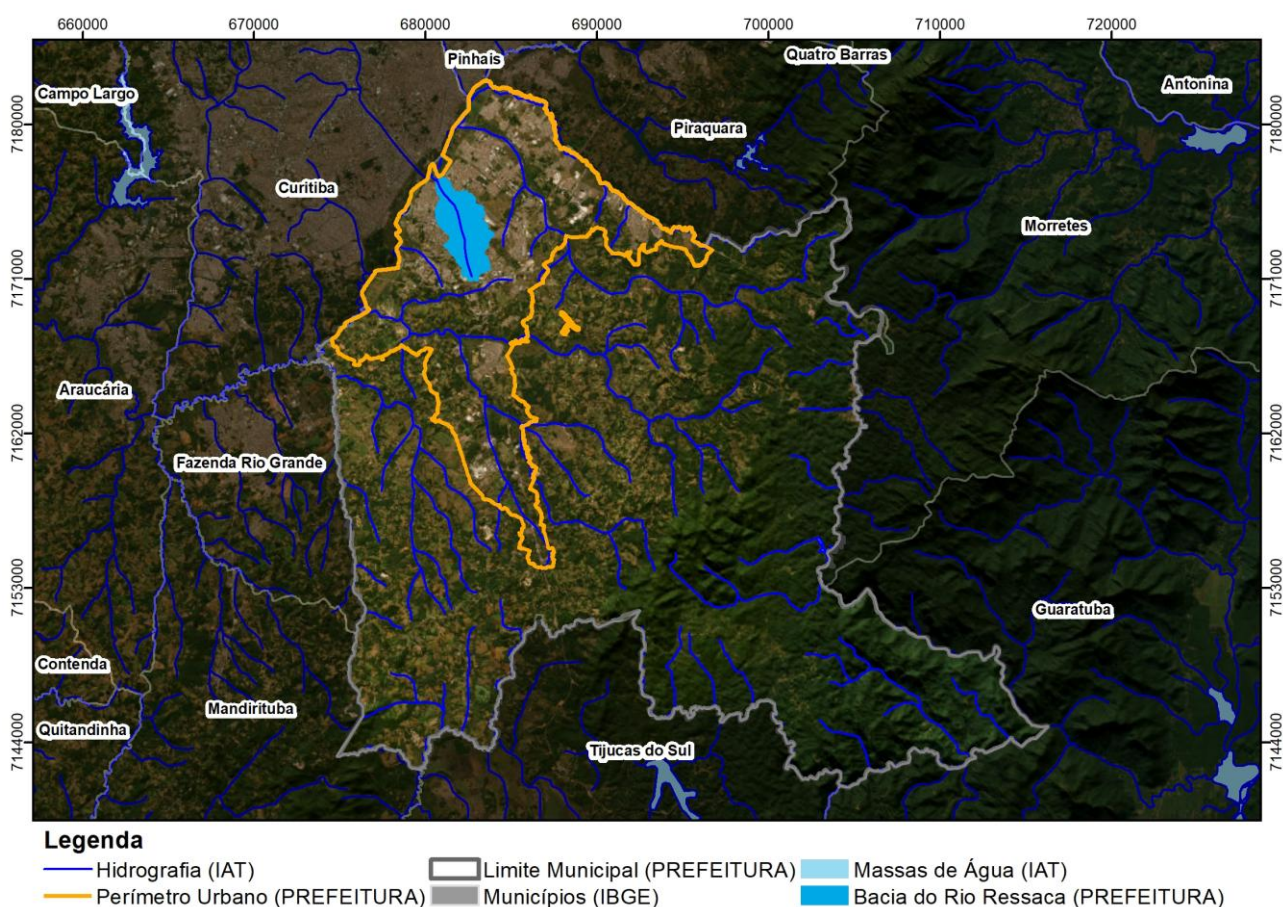


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ressaca

A segunda etapa compreendeu a análise da macrodrenagem, onde foram realizadas atividades de levantamento topográfico, caracterização de seções transversais, identificação de estruturas hidráulicas, organização de bases cartográficas, construção de Modelo Digital de Elevação e cálculo das estimativas de vazões de projeto.

A modelagem da macrodrenagem foi desenvolvida com o apoio do *software* hidrodinâmico HEC-RAS, utilizando 35 seções transversais cadastradas pelos serviços topográficos. As simulações permitiram avaliar o comportamento do escoamento em diferentes tempos de retorno e identificar áreas suscetíveis à inundação. Foram considerados eventos com tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos. A utilização de modelagem hidrodinâmica é amplamente recomendada em estudos de drenagem urbana, pois permite avaliar o comportamento dos sistemas sob diferentes cenários de cheia e subsidiar a definição de intervenções de controle (Canholi, 2014).

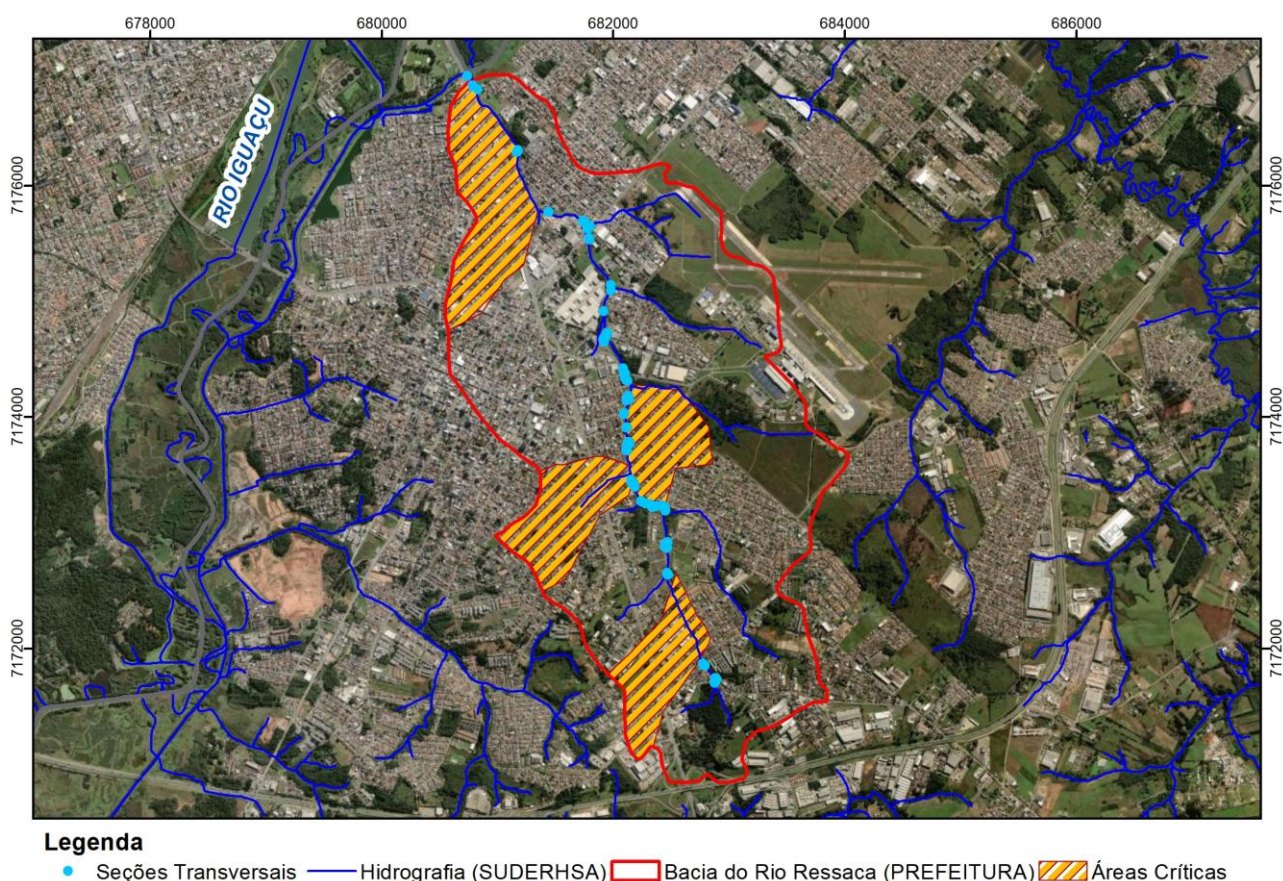


Figura 2 – Localização das Áreas de Interesse para os levantamentos topográficos

A terceira etapa consistiu no cadastro e avaliação da microdrenagem em quatro áreas críticas de contribuição da Bacia do Rio Ressaca. O levantamento de campo foi realizado por meio de cadastro georreferenciado de estruturas, utilizando equipamentos GNSS RTK em modo *rover* e

tecnologia NTRIP. Foram cadastradas estruturas como bocas de lobo, bocas de leão, caixas combinadas, poços de visita, tubos, galerias, sarjetas e demais elementos da rede de drenagem. Esses elementos foram inseridos no *software* DRENAR e avaliadas suas capacidades de escoamento através da modelagem hidrodinâmica para o tempo de retorno de 10 anos.

A quarta etapa consistiu na proposição de medidas estruturais, as quais foram definidas com base nos resultados do diagnóstico de campo, da modelagem hidrodinâmica e da avaliação das condições hidráulicas da rede existente. Foram consideradas intervenções como ampliação da rede de drenagem, substituição de estruturas danificadas, limpeza de dispositivos obstruídos, implantação de bacias de contenção, recuperação de Áreas de Preservação Permanente, implantação de jardins de chuva e descanalização de trecho de curso d'água.

O presente artigo concentra-se nas medidas estruturais, contudo, destaca-se que o estudo completo também contemplou a proposição de medidas não estruturais. Para Tucci e Bertoni (2003), a redução dos danos decorrentes de inundações urbanas depende da associação entre obras de engenharia, planejamento urbano, sistemas de alerta e mecanismos de controle da ocupação em áreas vulneráveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, sobre o diagnóstico e modelagem da macrodrenagem, a modelagem considerou a geometria do canal, as condições topográficas, os pontos de interferência e as vazões de projeto estimadas para diferentes tempos de retorno.

A estimativa das vazões de projeto foi realizada por meio da comparação entre diferentes métodos hidrológicos, incluindo o método Racional, o método Racional Modificado e o método I-Pai-Wu, o qual apresentou vazões mais conservadoras, sendo adotado como referência para a modelagem hidrodinâmica. Os valores obtidos foram de 148,50 m³/s para tempo de retorno de 10 anos, 188,38 m³/s para 25 anos, 225,30 m³/s para 50 anos e 269,60 m³/s para 100 anos. Também foi considerada a influência hidráulica do rio Iguaçu, com vazão de 158 m³/s associada a evento extremo na bacia do Alto Iguaçu.

Os resultados da modelagem hidrodinâmica indicaram que, no cenário correspondente às condições atuais, a área total inundada na Bacia do Rio Ressaca atingiu 68,08 hectares, equivalente a 5,51% da área da bacia. A cota máxima de inundação estimada foi de 12,95 m, com impacto sobre aproximadamente 1.000 lotes urbanos. Esses dados demonstram que os impactos se concentram em áreas específicas da bacia, permitindo orientar a priorização de intervenções.

Também foi avaliado um cenário de mitigação, considerando recuperação de faixa de APP de 30 metros em alguns trechos e a implantação de medidas estruturais. Nesse cenário, a área inundada foi reduzida para 61,50 ha, representando redução de 6,58 ha em relação ao cenário atual. Além disso, a cota máxima de inundação foi reduzida para 9,26 m, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 28,5%. O número de lotes afetados também apresentou redução, passando para 971 unidades.

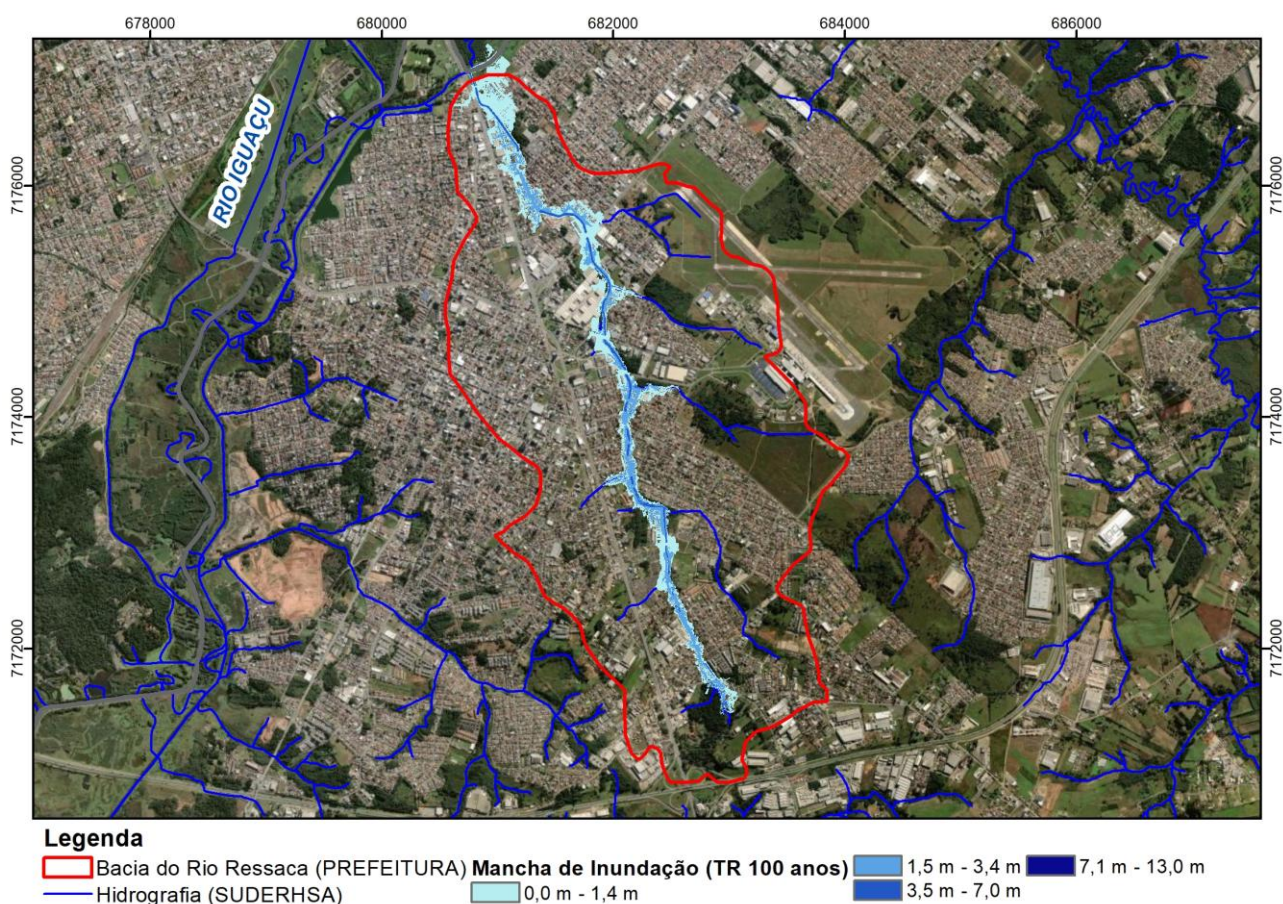


Figura 3 – Mancha de Inundação para o Tempo de Retorno de 100 anos

Esses resultados indicam que intervenções de recuperação ambiental e obras hidráulicas estão diretamente relacionadas a redução da extensão das áreas inundadas quanto a magnitude dos eventos. No entanto, a permanência de áreas impactadas mesmo após as intervenções reforça que as medidas estruturais devem ser complementadas por ações de ordenamento territorial, controle da ocupação urbana e preparação da população.

Partindo para o diagnóstico e avaliação da microdrenagem, esta permitiu identificar as condições da rede responsável pela captação e condução inicial das águas pluviais nas áreas críticas

da Bacia do Rio Ressaca. O levantamento técnico contemplou quatro áreas de críticas, nas quais foram cadastradas e modeladas estruturas hidráulicas, dispositivos de captação e trechos de rede.

Tabela 1 – Resumo do cadastro da rede de microdrenagem por área de contribuição

BL	ÁREA 01		ÁREA 02		ÁREA 03		ÁREA 04	
Total cadastrado	342		617		328		942	
Bocas de Lobo (BL)								
Condição Estrutural Ruim	34	9,94%	141	22,85%	107	32,62%	179	19,00%
Obstrução Superior	55	16,08%	231	37,44%	91	27,74%	164	17,41%
Obstrução Inferior	9	2,63%	173	28,04%	74	22,56%	426	45,22%
Poços de Visita (PV)								
Total cadastrado	37		29		15		104	
Sem Condições de Acesso	2	5,41%	0	0,00%	1	6,67%	1	0,96%
Condição Estrutural Ruim	1	2,70%	1	3,45%	1	6,67%	4	3,85%
Obstrução Superior	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	1	0,96%
Obstrução Inferior	0	0,00%	1	3,45%	0	0,00%	23	22,12%

A Tabela 2 apresenta os quantitativos das modelagens executadas nas áreas críticas, onde é possível verificar uma elevada capilaridade do sistema de microdrenagem e a importância de sua manutenção permanente. Botelho (2011) destaca que o desempenho da drenagem urbana depende não apenas do dimensionamento das galerias, mas também da correta operação e manutenção dos dispositivos de captação superficial.

Tabela 2 – Síntese dos quantitativos da modelagem hidrodinâmica

Item	Área Crítica 01	Área Crítica 02	Área Crítica 03	Área Crítica 04	Total	
Áreas de Contribuição	341	560	292	875	2.068	Unid.
	208.310,50	313.115,68	228.249,86	464.848,27	1.214.524,31	m²
Sarjetas	336	561	294	877	2.068	Unid.
	11.568,39	21.087,55	13.824,98	29.037,82	75.518,74	m
Bocas de Lobo	328	557	256	824	1.965	Unid.
Tubos de ligação	326	554	260	816	1.956	Unid.
	1.653,52	2.702,31	1.484,40	3.284,97	9.125,20	M
Extensão de rede	195	380	152	590	1.317	Trecho
	7.391,72	12.017,57	5.545,98	16.899,68	41.854,95	m

A modelagem da microdrenagem considerou parâmetros técnicos conservadores, incluindo coeficiente de impermeabilização do solo de 0,72 e limite de lâmina d'água na seção interna da tubulação de 75%. Os resultados indicam que os alagamentos não decorrem exclusivamente da insuficiência da macrodrenagem, mas também de limitações locais da microdrenagem.

Por fim, aborda-se as propostas de medidas mitigadoras estruturais. No âmbito da microdrenagem, essas propostas incluem ampliação da rede existente, substituição de estruturas danificadas e limpeza de dispositivos obstruídos. A ampliação da rede foi considerada a principal

intervenção em termos financeiros, representando R\$ 11.162.264,77, equivalente a 84,65% do investimento total estimado.

A substituição de estruturas danificadas foi estimada em R\$ 274.933,80, correspondendo a 2,08% do investimento total. Embora represente uma pequena parcela menor do custo global, essa medida é fundamental para restabelecer a funcionalidade do sistema, reduzir riscos localizados e evitar agravamento de falhas estruturais. A limpeza de estruturas obstruídas foi estimada em R\$ 3.033,47, representando 0,02% do total.

Além das soluções convencionais, foram propostas medidas baseadas na natureza, como jardins de chuva. Foram selecionadas três áreas públicas em caráter experimental. Para essas estruturas, foi considerada uma área individual de 4,50 m², custo médio de R\$ 800,00/m², resultando em um investimento de R\$ 3.600,00. Jardins de chuva e demais dispositivos de infiltração são alternativas importantes para reduzir o volume de escoamento superficial, favorecer a infiltração local e melhorar a qualidade das águas pluviais (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

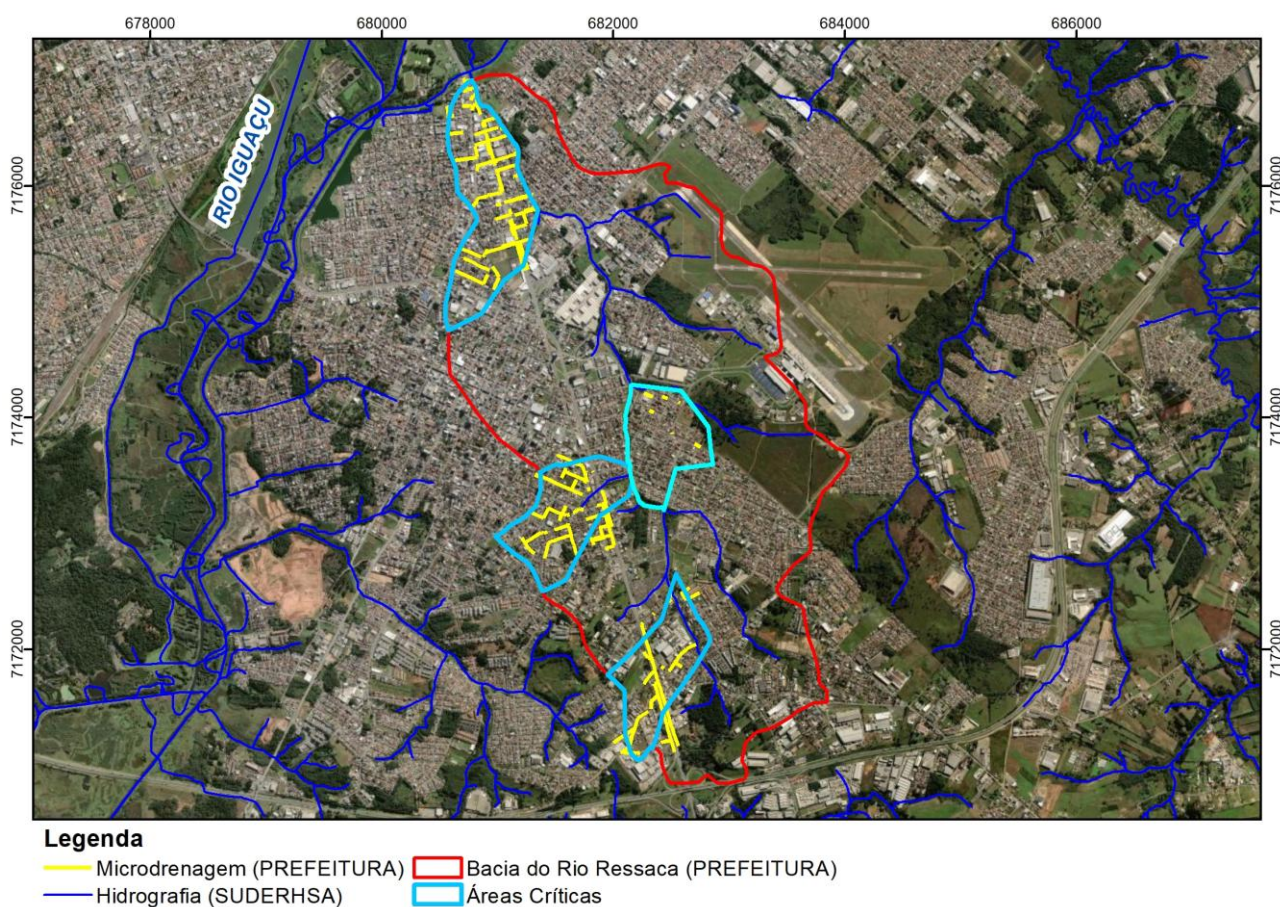


Figura 4 – Localização das intervenções na microdrenagem

No âmbito da macrodrenagem, foram propostas bacias de contenção, recuperação de Áreas de Preservação Permanente e descanalização de trecho do Rio Ressaca. A implantação de bacias de contenção foi estimada em R\$ 1.746.341,26, equivalente a 13,24% do investimento total. Essas estruturas têm como função armazenar temporariamente parte do volume escoado, reduzir o pico de vazão e liberar gradualmente a água para o sistema de drenagem ou para o corpo hídrico receptor.

Foram selecionadas 16 áreas potenciais para implantação de medidas de macrodrenagem, totalizando 45.749 m² e com capacidade de armazenamento de 68.623 m³. As bacias de contenção foram concebidas com revestimento em grama, buscando preservar a permeabilidade do solo e possibilitar o uso das áreas em períodos secos. Também foi considerada a possibilidade de associar algumas dessas estruturas a equipamentos públicos, como quadras poliesportivas em areia, agregando função hidráulica, recreativa e paisagística. Essa perspectiva multifuncional está alinhada ao conceito de drenagem urbana sustentável, que busca integrar controle hidráulico, qualificação urbana e benefícios ambientais (Miguez; Veról; Rezende, 2016).

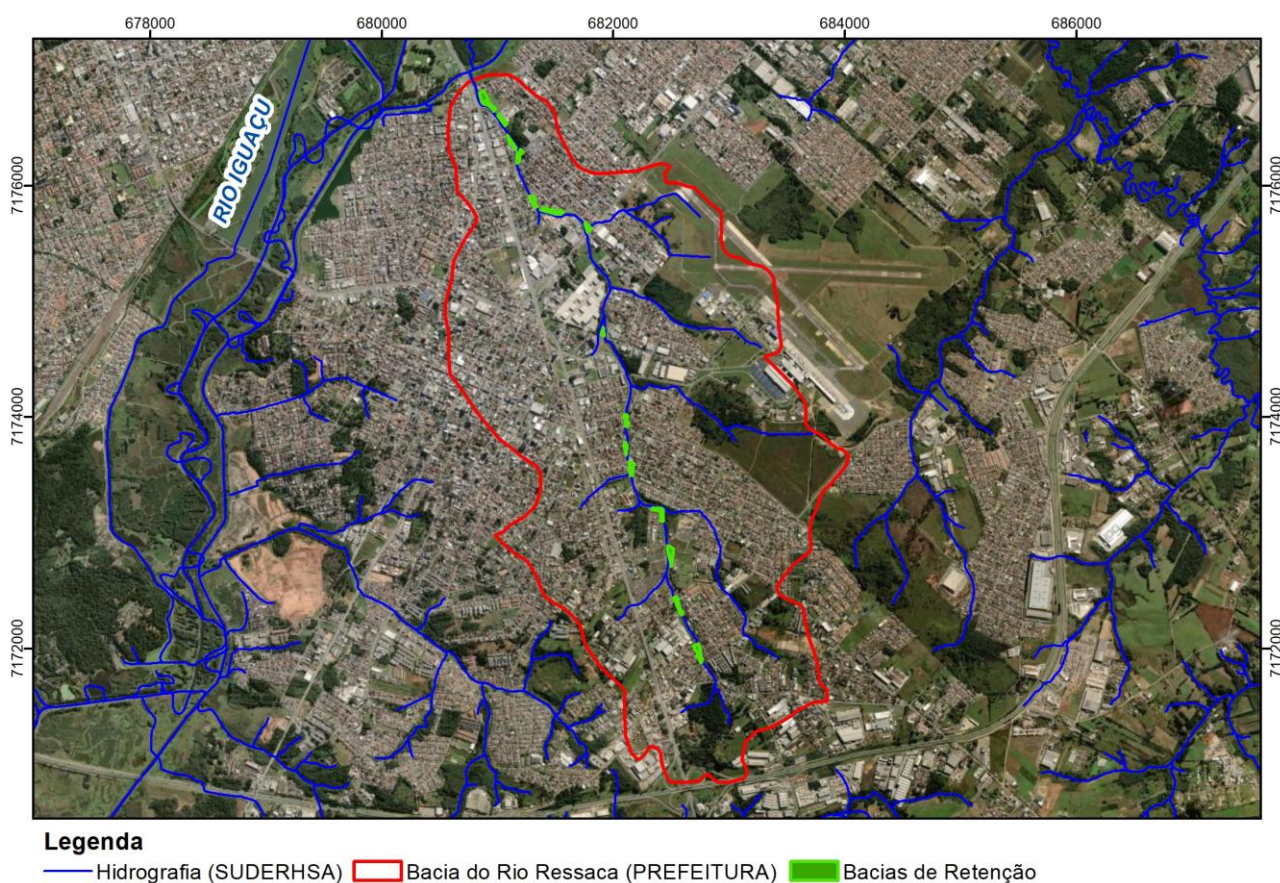


Figura 5 – Localização das intervenções para macrodrenagem

CONCLUSÃO

A modelagem hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica do Rio Ressaca permitiu diagnosticar a situação com relação a suscetibilidade a alagamentos e inundações, evidenciando que os problemas decorrem tanto das limitações da macrodrenagem quanto das deficiências da microdrenagem urbana, haja vista tanto a magnitude de aproximadamente 1.000 lotes urbanos impactados pela mancha de inundação nas condições atuais, quanto o elevado grau de comprometimento estrutural e de obstrução das bocas de lobo cadastradas.

Esse diagnóstico subsidiou a proposição de medidas estruturais capazes de reduzir os impactos das cheias, com destaque para a ampliação da rede de drenagem, substituição de estruturas danificadas, limpeza de estruturas, e implantação de bacias de contenção. Com relação as bacias de contenção, estas foram propostas com revestimento em grama, para favorecer a permeabilidade, além de possibilitar que sejam associadas a equipamentos públicos, proporcionando a sua multifuncionalidade.

O investimento total estimado para as medidas estruturais foi de R\$ 13.186.573,30. A distribuição dos custos demonstra que a ampliação da rede existente é a principal demanda financeira, seguida pela implantação de bacias de contenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Livre do Meio Ambiente (UNILIVRE) e a Prefeitura de São José dos Pinhais pelo apoio à pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- BOTELHO, M. H. C. Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Blucher, 2011.
- CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.