

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**INCENTIVOS ECONÔMICOS À SUSTENTABILIDADE DA
DRENAGEM URBANA: O CASO DE PORTO ALEGRE – RS**

FRANCISCO ROSSAROLLA FORGIARINI

Porto Alegre, Julho de 2010.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL

INCENTIVOS ECONÔMICOS À SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA: O CASO DE PORTO ALEGRE – RS

FRANCISCO ROSSAROLLA FORGIARINI

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Professor Dr. André Luiz Lopes da Silveira

Co-orientador: Professor Dr. Geraldo Lopes da Silveira

Porto Alegre, Julho de 2010.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. André Luiz Lopes da Silveira e co-orientação do Prof. Geraldo Lopes da Silveira.

A realização deste trabalho só foi possível com a ajuda de muitas pessoas e entidades públicas. Aproveito esta apresentação para fazer agradecimentos, ficando registrada a importância que cada um desempenhou ao longo da concretização do trabalho.

Ao governo brasileiro, representado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa concedida.

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas pela oportunidade de realização do trabalho.

À Prefeitura Municipal de Porto Alegre, especialmente os funcionários do Departamento de Esgotos Pluviais e da Secretaria da Fazenda, que viabilizaram a obtenção de muitas informações utilizadas na pesquisa.

Aos proprietários dos lotes que se disponibilizaram a responder o questionário utilizado na pesquisa e à União das Associações de Moradores de Porto Alegre (UAMPA) que facilitou este processo.

Aos meus orientadores, professores André e Geraldo, pela confiança, paciência, apoio e ensinamentos transmitidos.

Aos professores Carlos André, Rutinéia Tassi, Luciane Jacobi, Dieter Wartchow e Christopher Souza, pelas orientações para a realização de um trabalho mais completo.

Aos amigos e colegas do IPH: Leandro, Christopher (vale a pena citá-lo duas vezes), Diogo, Angélica, Fábio (Binho), Thiago (do Binho), Anderson, Claudinéia pela ótima convivência.

À Andrele Lopes dos Santos (Deca), pela companhia e carinho. Como também, pelas opiniões e palavras sábias nos momentos de dúvidas inerentes ao processo de doutoramento.

Aos meus irmãos, Gustavo e Roberta, pela parceria ao sair de casa.

Aos meus pais, Moacir e Dietilde, pelo amor incondicional. Novamente, por me apoiarem, incentivarem e viabilizarem a conclusão de mais essa etapa da minha vida.

RESUMO

O uso de incentivos econômicos é uma realidade na busca do desenvolvimento sustentável. No setor da drenagem urbana não é diferente. Para este setor a sustentabilidade é a reprodução do comportamento hidrológico natural de uma área, utilizando técnicas descentralizadas de micro-gestão, representada pelo Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Development* – LID). O objetivo da presente pesquisa foi analisar o uso de incentivos econômicos para a drenagem urbana, de modo a induzir e financiar o planejamento sustentável em desenvolvimento consolidados e novos, em escala de lote urbano, segundo as técnicas do LID. Para tanto, foram desenvolvidas três etapas metodológicas: (i) a aplicação do planejamento sustentável da drenagem urbana em desenvolvimentos consolidados e novos; (ii) o desenvolvimento dos incentivos econômicos; e (iii) a validação dos incentivos econômicos. Para aplicar as etapas metodológicas foram utilizadas três micro-bacias urbanas do município de Porto Alegre/RS com diferenças físicas, sócio-econômicas e quanto aos problemas relacionados à drenagem urbana. O planejamento sustentável foi simulado nos lotes com características médias nas micro-bacias. A partir destas simulações, e das próprias características das micro-bacias, foram estabelecidos os incentivos econômicos. A validação dos incentivos foi realizada por meio da aplicação de questionários aos proprietários dos lotes, utilizando o Método de Valoração Contingente (MVC), para estimar a Disposição a Pagar (DAP) e a Receber (DAR) dos proprietários para resolver os problemas do setor. Os resultados sugerem que utilizar incentivos positivos é a melhor solução (por exemplo, redução de impostos). Com isso, o controle do escoamento pluvial seria efetivamente estimulado, pois os incentivos positivos são os mais aceitos pelos proprietários, e os custos envolvidos neste controle em escala de lote são inferiores aos normalmente obtidos com as técnicas de controle do escoamento pluvial na macrodrenagem. Constatou-se que a existência de problemas e já ter sofrido um prejuízo qualquer são as variáveis com maior correlação direta com o aumento da DAP e DAR. Como conclusão final, acredita-se que um incentivo econômico positivo serviria para um processo de educação ambiental na drenagem urbana com objetivo de formar cidadãos conscientes e atuantes na busca de um ambiente sustentável.

Palavras chave: drenagem urbana, sustentabilidade, incentivos econômicos.

ABSTRACT

The use of economic incentives is a reality in the pursuit of sustainable development. In the sector of urban drainage is no different. For this sector sustainability is the reproduction of the natural hydrology of an area, using decentralized techniques of micro-management, represented by the Low Impact Development (LID). The objective of this research was to examine the use of economic incentives for urban drainage, in order to induce and fund its sustainable planning of old and new developments in scale urban lot, according to the techniques of LID. For this purpose, we developed three methodological steps: (i) the implementation of sustainable urban drainage planning in old and new developments, (ii) the development of economic incentives, and (iii) the validation of economic incentives. To apply the methodological steps were used three urban micro-basins of the municipality of Porto Alegre / RS with differences physicals, socio-economic and on the problems related to urban drainage. The sustainable planning was simulated in lots with average characteristics in micro-basins. From these simulations and the actual characteristics of micro-basins were established economic incentives. The validation of the incentives was accomplished through the use of questionnaires to the owners of the lots, using the Contingent Valuation Method (CVM) to estimate the Willingness to Pay (WTP) and Receivable (WTR) for owners to resolve those problems. The results suggest that use positive incentives are the best solution (eg, tax cuts). With this control would be effectively encouraged, because the positive incentives are more accepted by the owners, and the costs involved in controlling scale batch are lower than those generally obtained with the control techniques in macrodrainage. It was found that the existence of problems and that they suffered any damage variables are more directly correlated with the increase in DAP and DAR. As a final conclusion it is believed that a positive economic incentive to serve a process of environmental education in urban drainage aiming to educate citizens aware and active in seeking a sustainable environment.

Key-words: urban drainage, sustainability, economic incentives.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE QUADROS	xv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Planejamento da drenagem urbana e o incentivo à sustentabilidade	1
1.2 Objetivos	4
2 CRIANDO INCENTIVOS PARA A SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA	6
2.1 O que é a sustentabilidade da drenagem urbana?.....	6
2.2 Os serviços ambientais e a drenagem urbana.....	9
2.3 Atribuindo um valor aos bens e serviços ambientais	12
2.4 Métodos de valoração de bens e serviços ambientais	15
2.5 Incentivos econômicos aplicados à gestão ambiental	18
2.5.1 Custo de Mercado	22
2.5.2 Sistemas de cobrança: taxas, impostos e cobranças	24
2.5.3 Mecanismos de responsabilização.....	25
2.5.4 Incentivos positivos	26
3 O PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL DA DRENAGEM URBANA	30
3.1 Princípios de planejamento	30
3.2 Práticas e dispositivos de controle do escoamento pluvial empregados	33
3.3 Dimensionamento e simulação dos dispositivos de controle do escoamento pluvial	45
3.4 Análise econômica de sistemas de drenagem urbana.....	48
3.5 Participação pública e a sustentabilidade da drenagem urbana.....	51
3.6 Documentos legais e a sustentabilidade da drenagem urbana.....	54
4 METODOLOGIA: INCENTIVOS ECONÔMICOS À SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA	61
4.1 Aplicação do planejamento sustentável da drenagem urbana em desenvolvimentos consolidados e novos.....	65
4.2 Desenvolvimento dos incentivos econômicos	76
4.2.1 Incentivo econômico ao controle quantitativo do escoamento pluvial.....	77
4.2.2 Incentivo econômico ao controle qualitativo do escoamento pluvial	82
4.3 Validação dos incentivos econômicos.....	83
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
5.1 Planejando lotes urbanos sustentáveis do ponto de vista hidrológico.....	90
5.1.1 Determinação das características naturais e atuais dos lotes urbanos	90
5.1.2 Simulação hidrológica dos lotes	101
5.2 Determinação dos incentivos econômicos	117
5.2.1 Incentivo econômico ao controle quantitativo do escoamento pluvial.....	117

	vii
5.2.2 Incentivo econômico ao controle qualitativo do escoamento pluvial	141
5.3 Validação dos incentivos econômicos.....	144
5.3.1 Drenagem urbana e os proprietários dos lotes.....	147
5.3.2 Disposição a pagar (DAP) e a receber (DAR) para resolver os problemas de drenagem urbana	161
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	172
7 REFERÊNCIAS.....	176
8 ANEXOS.....	191
8.1 Anexo 1: Método da Curva Envelope (Silveira e Goldenfum, 2007).....	191
8.2 Anexo 2: Descrição dos projetos da Prefeitura de Porto Alegre nas micro-bacias do estudo	194
8.3 Anexo 3: Transformação chuva-vazão e propagação superficial pelo Método SCS (atual NRCS).....	202
8.4 Anexo 4: Entrada IPHS1	207
8.5 Anexo 5: Equações de custos para os dispositivos de controle do escoamento pluvial	212
8.6 Anexo 6: Questionário	216
8.7 Anexo 7: Tabelas de apoio	224

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Coeficiente empírico para a determinação de velocidades de escoamento em superfícies.	71
Tabela 4.2. Tamanho da amostra piloto de acordo com as micro-bacias e a posição dos lotes (montante e jusante).	85
Tabela 4.3. Amostras definitivas para a estimativa da Disposição a Pagar (DAP) e da Disposição a Receber (DAR) nas micro-bacias do estudo.	86
Tabela 5.1. Distribuição dos lotes existentes nas micro-bacias do estudo, de acordo com suas áreas.	90
Tabela 5.2. Parâmetros de infiltração a Equação de Horton para os tipos de solos do Método SCS (atual NRCS).	92
Tabela 5.3. Áreas médias dos solos existentes nas micro-bacias do estudo, de acordo com os estratos dos lotes de montante (todos os valores em m ²).	93
Tabela 5.4. Áreas médias da vegetação natural reconstruída nas micro-bacias do estudo, de acordo com os estratos dos lotes de montante (todos os valores em m ²).	95
Tabela 5.5. Matriz de confusão da classificação do uso do solo.	98
Tabela 5.6. Áreas totais dos lotes por unidade de classificação em cada micro-bacia.	100
Tabela 5.7. Áreas totais dos lotes permeáveis e impermeáveis em cada micro-bacia.	100
Tabela 5.8. Áreas médias dos lotes classificadas por extrato de área na Micro-bacia 1: Polônia.	100
Tabela 5.9. Áreas médias dos lotes classificadas por extrato de área na Micro-bacia 2: Frei Germano.	100
Tabela 5.10. Áreas médias dos lotes classificadas por extrato de área na Micro-bacia 3: Joaquim Leite.	100
Tabela 5.11. Áreas permeáveis e impermeáveis de acordo com os estratos dos lotes de montante nas micro-bacias.	101
Tabela 5.12. Custos por metro cúbico dos dispositivos de controle do escoamento pluvial.	117
Tabela 5.13. Custos por metro quadrado (R\$/m ²) do pavimento permeável de acordo com os lotes, micro-bacias e controles admitidos.	119
Tabela 5.14. Custos por metro linear (R\$/m) da trincheira de infiltração de acordo com os lotes, micro-bacias e controles admitidos.	121
Tabela 5.15. Custos totais dos controles (R\$) utilizando a escavação manual nos lotes das micro-bacias de acordo com as simulações realizadas.	123
Tabela 5.16. Custos totais dos controles (R\$) utilizando a escavação mecânica nos lotes das micro-bacias de acordo com as simulações realizadas.	124
Tabela 5.17. Comparação dos custos para respeitar a legislação de Porto Alegre e obter o hidrograma natural nos lotes das micro-bacias do estudo.	125
Tabela 5.18. Comparação dos custos entre o pré e pós-controle nos lotes das micro-bacias do estudo.	126
Tabela 5.19. Estimativa da influência das áreas dos lotes na formação de escoamento nas micro-bacias do estudo.	127
Tabela 5.20. Custo anual dos projetos da prefeitura de Porto Alegre.	127
Tabela 5.21. Quantitativos dos critérios para a definição da taxa pelo uso do sistema de drenagem segundo os lotes e micro-bacias.	128
Tabela 5.22. Totais dos critérios e taxas unitárias anuais para a determinação das taxas pelo uso do sistema de drenagem segundo as micro-bacias.	129
Tabela 5.23. Taxas anuais por lote segundo os critérios adotados para o rateio do projeto de drenagem na micro-bacia Polônia.	130

Tabela 5.24. Taxas anuais por lote segundo os critérios adotados para o rateio do projeto de drenagem na micro-bacia Frei Germano.....	131
Tabela 5.25. Taxas anuais por lote segundo os critérios adotados para o rateio do projeto de drenagem na micro-bacia Joaquim Leite.	132
Tabela 5.26. Exemplo de análise econômica do comércio de licenças por alterações quantitativas na drenagem urbana.....	141
Tabela 5.27. Percentuais de esgoto tratado ou coletado nas micro-bacias do estudo de acordo com a manifestação dos proprietários.....	142
Tabela 5.28. Percentuais de resíduo sólido coletado nas micro-bacias do estudo de acordo com a manifestação dos proprietários.....	143
Tabela 5.29. Características gerais das amostras definitivas para a estimativa da DAP e DAR.	147
Tabela 5.30. Teste estatístico para analisar a dependência do conhecimento do reservatório de amortecimento com as variáveis micro-bacia e posição.....	156
Tabela 5.31. Teste estatístico para analisar a dependência das opiniões referentes ao reservatório de amortecimento com as variáveis micro-bacia e posição.....	157
Tabela 5.32. Testes estatísticos para analisar a dependência das disposições a pagar e a receber com as variáveis analisadas na pesquisa.	164
Tabela 5.33. Valores médios das variáveis renda e conta de água e esgoto utilizadas para a determinação dos modelos de regressão da DAP e DAR.	166
Tabela 5.34. Modelos de regressão para a DAP.....	166
Tabela 5.35. Teste de Durbin-Watson para o modelo da DAP.	168
Tabela 5.36. Modelos de regressão para a DAR.	168
Tabela 5.37. Teste de Durbin-Watson para o modelo da DAR.....	169
Tabela 5.38. Estimativa de arrecadação com a DAP média nas micro-bacias.....	170
Tabela 8.1. Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo, para condição de umidade II.	204
Tabela 8.2. Conversão dos valores de CN conforme as condições de umidade do solo.....	205
Tabela 8.3. Parâmetro CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.12).....	224
Tabela 8.4. Variação no CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.13).....	224
Tabela 8.5. Volumes escoados (m ³) para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.16).....	224
Tabela 8.6. Vazões específicas (m ³ /s/Km ²) para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.17).	225
Tabela 8.7. Aumento dos volumes escoados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Referente à Figura 5.18).....	225
Tabela 8.8. Aumento das vazões específicas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.19).	225
Tabela 8.9. Vazões máximas (L/s) para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.20).....	225
Tabela 8.10. Volumes de controle do escoamento pluvial (m ³) calculados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.21).....	226
Tabela 8.11. Diminuição percentual de volumes escoados entre o Pré e Pós-controles para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.22).	226
Tabela 8.12. Volumes de controle do escoamento pluvial (m ³) simulados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.23).....	226

Tabela 8.13. Variação percentual entre os controles simulados e calculados do escoamento pluvial para os Pré e Pós-controle, de acordo com os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.24).	227
--	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Construção de obra de microdrenagem (a); Canalização de um córrego em uma área urbana (b); Efeito da transferência de volume: alagamentos a jusante (c).....	7
Figura 2.2. Bacias de detenção localizadas em uma praça do município de Porto Alegre (a) e ao lado de uma rodovia em São Paulo (b).	7
Figura 2.3. Diferença de planejamento da drenagem entre a técnica convencional e LID (Souza, 2005).	9
Figura 2.4. Serviços dos ecossistemas e suas relações com o bem-estar humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).....	10
Figura 2.5. Principais funções e serviços ambientais de uma típica bacia hidrográfica (Smith <i>et al.</i> , 2006).	11
Figura 2.6. Alterações nos serviços hidrológicos proporcionados pela urbanização (Souza, 2005).	12
Figura 2.7. Objetivo da valoração dos serviços ambientais (Rizzi, 2006).	13
Figura 2.8. Valor Econômico Total compreendendo os valores de uso e não uso. (Adaptado de Turner <i>et al.</i> , 1994 e Smith <i>et al.</i> , 2006).	15
Figura 2.9. Cobrança por unidade de emissão de poluentes.....	25
Figura 3.1. Elementos-chave do planejamento segundo a técnica de LID (Adaptado de Guillette, 2007a).	32
Figura 3.2. Exemplo de bio-retenção (a) e jardim de chuva (b) (Lakesuperiorstreams, 2005)	37
Figura 3.3. Exemplo de telhado verde leve (a) e pesado (b) (IDHEA, 2008).	39
Figura 3.4. Seção de pavimento poroso de concreto ou asfalto (a) e bloco vazado (b) (Acioli, 2005).	40
Figura 3.5. Cisterna (a) (PGDER, 1999a) e Barril de chuva (b) (Lakesuperiorstreams, 2005).	41
Figura 3.6. Típica trincheira de infiltração (Souza, 2002).....	43
Figura 3.7. Integração de poço de infiltração no ambiente urbano (Souza, 2002).	44
Figura 3.8. Vala de infiltração.	44
Figura 3.9. Hidrogramas de entrada e saída em um dispositivo de controle do escoamento pluvial (Agra, 2001).	46
Figura 3.10. Custo do controle do escoamento pluvial com relação à distância da fonte (PGDER, 1999a apud Souza, 2005).	49
Figura 4.1. Síntese do estudo.	61
Figura 4.2. Etapas metodológicas para a determinação do incentivo econômico à sustentabilidade da drenagem urbana.	63
Figura 4.3. Micro-bacias do estudo.	64
Figura 4.4. Sistema formado pelas residências apresentando os processos que influenciam o serviço de drenagem urbana.	66
Figura 4.5. Janela de amostra da imagem <i>Quickbird</i> utilizada.....	68
Figura 4.6. Chuvas de projeto para 8º Distrito INMET e Aeroporto.	75
Figura 5.1. Lotes de montante e jusante e controles da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) nas micro-bacias.	90
Figura 5.2. Mapa dos solos existentes nas micro-bacias.	92
Figura 5.3. Mapa da vegetação natural reconstruída nas micro-bacias.	95
Figura 5.4. Comparação da classificação visual e automática.	97
Figura 5.5. Exemplo da classificação do uso do solo na micro-bacia 1 – Polônia.....	97
Figura 5.6. Classificação do uso do solo atual nos lotes de montante nas micro-bacias.....	99
Figura 5.7. Taxa de ocupação impermeável nos lotes de montante nas micro-bacias.	101

Figura 5.8. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Solos; (b) Vegetação natural com operações hidrológicas.	102
Figura 5.9. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Cobertura atual; (b) Planejamento segundo LID.	103
Figura 5.10. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Cobertura atual com operações hidrológicas; (b) Planejamento segundo LID com operações hidrológicas.	103
Figura 5.11. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Pós-controle com operações hidrológicas; (b) Pré-controle com operações hidrológicas.	104
Figura 5.12. Parâmetro CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.3 no Anexo 7).	105
Figura 5.13. Variação no CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.4 no Anexo 7).	106
Figura 5.14. Simulações de pós-controle do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia.	106
Figura 5.15. Simulações de pré-controle do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia.	107
Figura 5.16. Volumes escoados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.5 no Anexo 7).	108
Figura 5.17. Vazões específicas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.6 no Anexo 7).	108
Figura 5.18. Aumento dos volumes escoados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.7 no Anexo 7).	109
Figura 5.19. Aumento das vazões específicas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.8 no Anexo 7).	110
Figura 5.20. Vazões máximas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.9 no Anexo 7).	110
Figura 5.21. Volumes de controle do escoamento pluvial calculados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.10 no Anexo 7).	112
Figura 5.22. Diminuição percentual de volumes escoados entre o Pré e Pós-controles para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.11 no Anexo 7).	115
Figura 5.23. Volumes de controle do escoamento pluvial simulados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.12 no Anexo 7).	116
Figura 5.24. Variação percentual entre os controles simulados e calculados do escoamento pluvial para os Pré e Pós-controle, de acordo com os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.13 no Anexo 7).	116
Figura 5.25. Gráfico da variação dos custos totais dos microrreservatórios por volume controlado.	118
Figura 5.26. Gráfico da variação dos custos totais dos pavimentos permeáveis por volume controlado.	119
Figura 5.27. Gráfico da variação dos custos totais das trincheiras por volume controlado. ..	120
Figura 5.28. Gráfico da variação dos custos totais das bio-retenções por volume controlado.	121
Figura 5.29. Gráfico da variação dos custos de todos os dispositivos por volume controlado.	122
Figura 5.30. Volumes de controle do escoamento pluvial <i>versus</i> área impermeável total para o pós e pré-controles simulados.	126
Figura 5.31. Cobranças anuais de acordo com os critérios adotados para os lotes com área menor que 150m ² na micro-bacia Polônia, nos diferentes cenários de planejamento.	133

Figura 5.32. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando os custos com escavação mecânica.	136
Figura 5.33. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando os custos com escavação manual.....	136
Figura 5.34. Volumes de controle do escoamento pluvial nos lotes e nos projetos da prefeitura.....	137
Figura 5.35. Custo por metro cúbico de controle do escoamento pluvial por escavação mecânica comparando com os projetos da prefeitura.....	138
Figura 5.36. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando o custo do MR com escavação mecânica.	139
Figura 5.37. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando o custo do MR com escavação manual.....	139
Figura 5.38. Incentivo econômico para o esgoto sanitário.....	142
Figura 5.39. Incentivo econômico para os resíduos sólidos.....	144
Figura 5.40. Aplicação do questionário na situação em que o entrevistado se disponibiliza a responder imediatamente à pesquisa.....	145
Figura 5.41. Aplicação do questionário na situação em que o entrevistado se disponibiliza a responder a pesquisa em um momento posterior à entrega.	145
Figura 5.42. Lotes de montante e jusante para aplicação dos questionários piloto e definitivo nas micro-bacias.	146
Figura 5.43. Grau de preocupação com o meio ambiente manifestada pelos proprietários dos lotes.....	148
Figura 5.44. Motivo de preocupação com o escoamento da água da chuva manifestada pelos proprietários dos lotes.	148
Figura 5.45. Ocorrência de alagamentos nas micro-bacias.	149
Figura 5.46. Prejuízos devido aos alagamentos nas micro-bacias.....	149
Figura 5.47. Alagamentos na micro-bacia Joaquim Leite.	150
Figura 5.48. Modificação empregada por um proprietário para conviver com os constantes alagamentos.	150
Figura 5.49. Diferença entre os carros que transitam nas ruas alagadas.	151
Figura 5.50. Posição dos proprietários referente ao direito pelo serviço de drenagem urbana.	153
Figura 5.51. Posição dos proprietários referente à possibilidade de desvio do dinheiro recolhido com uma taxa ou imposto pelo serviço de drenagem urbana.	154
Figura 5.52. Conhecimento dos reservatórios de amortecimento nas micro-bacias.	155
Figura 5.53. O que os proprietários acham dos reservatórios de amortecimento.....	156
Figura 5.54. Conhecimento do impacto das propriedades particulares.....	159
Figura 5.55. Respostas dos proprietários sobre a possibilidade de investir em obras de controle da água da chuva em seus lotes.	159
Figura 5.56. Disposições a pagar e a receber nas micro-bacias.	161
Figura 5.57. Gráfico obtido no SPSS da probabilidade acumulada esperada <i>versus</i> a probabilidade acumulada observada no modelo da DAP.	167
Figura 5.58. Gráfico obtido no SPSS dos resíduos da regressão <i>versus</i> a DAP prevista com modelo de regressão ajustado.	167
Figura 5.59. Gráfico obtido no SPSS da probabilidade acumulada esperada <i>versus</i> a probabilidade acumulada observada no modelo da DAR.....	169
Figura 5.60. Gráfico obtido no SPSS dos resíduos da regressão <i>versus</i> DAR prevista com modelo de regressão ajustado.	169
Figura 5.61. Investimento da prefeitura admitindo a DAR média.	170

Figura 8.1. Mapa da região do Reservatório de Amortecimento da Praça Julio Andreatta (Neves <i>et al.</i> , 2001).....	195
Figura 8.2. Esquema do reservatório de concreto aberto da Praça Julio Andreatta (Carmona, 2008).	195
Figura 8.3. Imagem de satélite com os lotes que contribuem com o escoamento (em amarelo) ao reservatório de amortecimento da praça Julio Andreatta.	196
Figura 8.4. Fotografias do reservatório de detenção da Praça Julio Andreatta.	196
Figura 8.5. Imagem de satélite com os lotes que contribuem com o escoamento (em amarelo) à ampliação da rede de drenagem na Rua Frei Germano.....	197
Figura 8.6. Fotografias do local de deságüe da canalização projetada no Arroio Dilúvio.....	197
Figura 8.7. Detalhe do projeto da ampliação da rede de drenagem na micro-bacia Frei Germano.....	198
Figura 8.8. Praça Padre Nebrídio Bolcato na micro-bacia Frei Germano, localizada ao lado da Rua Frei Germano.....	199
Figura 8.9. Hidrograma de projeto da futura galeria de drenagem pluvial na Rua Frei Germano e volume equivalente de controle do escoamento pluvial.	199
Figura 8.10. Fotografias do reservatório em construção na Praça Doutor Celso Luft.	200
Figura 8.11. Maquete virtual do reservatório em construção na Praça Doutor Celso Luft (PMPA/DEP, 2009a).	200
Figura 8.12. Fotografias de montante (esquerda) e jusante (direita) da Praça Joaquim Leite.	201
Figura 8.13. Imagem de satélite com os lotes que contribuem com o escoamento (em amarelo) ao reservatório de amortecimento da praça Joaquim Leite.....	201
Figura 8.14. Hidrograma unitário triangular do SCS.	205
Figura 8.15. Exemplo de convolução do hidrograma unitário do SCS.....	207

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Estágios do planejamento da drenagem urbana nos países desenvolvidos (Brasil, 2005).	6
Quadro 2.2. Componentes que devem ser estudados para o desenvolvimento de um pagamento pelos serviços ambientais (Adaptado de Smith <i>et al.</i> , 2006).	14
Quadro 2.3. Métodos de valoração ambiental (Adaptado de Turner <i>et al.</i> , 1994 e Korsgaard, 2006).	16
Quadro 2.4. Resumo dos Métodos de Valoração Ambiental (Adaptado de Pagiola <i>et al.</i> , 2004; e Korsgaard, 2006).	19
Quadro 2.5. Tipos e exemplos de Incentivos Econômicos para a Gestão Ambiental (USEPA, 2001; Parikh <i>et al.</i> , 2005; e Smith <i>et al.</i> , 2006).	23
Quadro 2.6. Exemplos de benefícios positivos em forma de créditos para proprietários de municípios nos EUA que promovam o controle do escoamento pluvial em seus lotes (baseado em Doll <i>et al.</i> , 1999).	29
Quadro 3.1. Práticas e dispositivos de LID e seus benefícios hidrológicos (Guillette, 2007b).	34
Quadro 3.2. Restrições para aplicação de IMPS (PGDER, 1999a).	35
Quadro 3.3. Condições de utilização, vantagens e desvantagens dos métodos de dimensionamento (Baptista <i>et al.</i> , 2005).	46
Quadro 3.4. Legislações municipais brasileiras aplicáveis ao controle do escoamento pluvial (Adaptado de Cruz <i>et al.</i> , 2007).	55
Quadro 4.1. Quadro síntese de integração entre objetivos e metodologias.	62
Quadro 4.2. Etapas para a avaliação dos processos hidrológicos.	67
Quadro 4.3. Classes utilizadas para a classificação de uso do solo nas micro-bacias do estudo de caso.	70
Quadro 4.4. Características construtivas dos dispositivos de controle do escoamento pluvial utilizados nos lotes.	72
Quadro 4.5. Breve descrição dos projetos da Prefeitura Municipal de Porto Alegre nas micro-bacias do estudo de caso.	79
Quadro 4.6. Variáveis quantitativas e qualitativas que foram utilizadas na pesquisa.	88
Quadro 5.1. Tipos e características principais dos solos existentes nas micro-bacias do estudo (PMPA/SMMA, 2008).	91
Quadro 5.2. Tipos e características principais da vegetação natural reconstruída nas micro-bacias do estudo (Adaptado de Porto e Menegat, 1998).	94
Quadro 8.1. Tipos de solo considerados pelo SCS para escolha do CN.	203
Quadro 8.2. Condições de umidade antecedente do solo consideradas pelo SCS.	203

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- AIE – Área Impermeável Efetiva;
- AIE-PoA – Área Impermeável Efetiva de acordo com o Decreto 15.371/2006 de Porto Alegre;
- AIE-Shuster – Área Impermeável Efetiva de acordo com Shuster *et al.* (2005);
- AIT – Área Impermeável Total;
- B/C – Relação benefício-custo;
- BIO – Bio-retenção;
- BMPs – Melhores práticas de Gestão, tradução livre de *Best Management Practices*;
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Social;
- CN – Parâmetro Curva Número, tradução livre de *Curve Number*;
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente;
- CORSAN – Companhia Rio-grandense de Saneamento;
- CUB – Custo Unitário Básico da Construção Civil;
- DAP – Disposição A Pagar;
- DAR – Disposição A Receber;
- DEP – Departamento de Esgotos Pluviais;
- EUA – Estados Unidos da América;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- IMP – Práticas de Gestão Integradas, tradução livre de *Integrated Management Practices*;
- IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas;
- IPHS1 – Programa computacional modulado para uso em projetos de Engenharia de Recursos Hídricos desenvolvido pelo IPH;
- IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano;
- LID – Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, tradução livre de *Low Impact Development*;
- LIUDD – Desenvolvimento e projeto urbano de baixo impacto, tradução livre de *Low Impact Urban Design and Development*;
- MOUSE – Modelo para Sistemas de Saneamento Básicos Urbanos, tradução livre de *Model for Urban Sewers*;
- MR – Microrreservatório;
- MUSIC – Modelo para Determinação de Sistemas de Drenagem Urbana, tradução livre de *Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation*;
- MVC – Método de Valoração Contingente;
- NRCS – Serviço de Conservação dos Recursos Naturais dos Estados Unidos, tradução livre de *Natural Resources Conservation Service*;
- OH – Operação Hidrológica;
- P8-UCM – P8 Modelo Bacia Hidrográfica Urbana, tradução livre de *P8 Urban Catchment Model*;
- PAC – Programa de Aceleração do Crescimento;
- PAV – Pavimento permeável;

PDDrU-POA – Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre;
PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental;
PISA – Programa Integrado Sócio-ambiental;
PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre;
PURRS – Simulador Probabilístico de Chuvas e Reuso de Águas Servidas, tradução livre de *Probabilistic Urban Rainwater and Wastewater Reuse Simulator*;
Qmáx – Alteração do hidrograma natural em termos de vazão máxima;
RUNQUAL – Qualidade do Escoamento de Áreas Desenvolvidas, tradução livre de *Runoff Quality From Development Sites*;
SCS – Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, tradução livre *Soil Conservation Service*;
SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;
SLAMM – Modelo de Cargas e Gestão na Fonte, tradução livre de *Source Loading and Management Model*;
SMAM – Secretaria Municipal do Meio Ambiente;
SUDS – Sistema de drenagem urbana sustentável, tradução livre de *Sustainable Urban Drainage Systems*;
SWMM – Modelo de Gerenciamento da Água da Chuva, tradução livre de *Storm Water Management Model*;
TIR – Taxa interna de retorno;
TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo;
TMA – Taxa mínima de atratividade;
Tr – Tempo de retorno;
TRI – Trincheira de infiltração;
UAMPA – União das Associações de Moradores de Porto Alegre;
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, tradução livre de *UNITED STATES. Environmental Protection Agency*;
UVQ – Volume e Qualidade da água urbana, tradução livre de *Urban Volume and Quality*;
VET – Valor Econômico Total;
VNU – Valor de Não-Uso;
VO – Valor de Opção;
Vol. – Alteração do hidrograma natural em termos de volume;
VPL – Valor presente líquido;
VU – Valor de Uso;
VUD – Valor de Uso Direto;
VUI – Valor de Uso Indireto;
WBM – Modelo de balanço de água, tradução livre de *Water Balance Model*;
WSUD – Desenvolvimento Urbano Sensitivo da Água, tradução livre de *Water Sensitive Urban Design*.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Planejamento da drenagem urbana e o incentivo à sustentabilidade

“O desafio para os gestores pluviais do próximo século, será o de integrar os vários objetivos de equidade, integridade ambiental e eficiência econômica nas decisões futuras de gerenciamento do ciclo da água” (Gomboso e Morrison, 1996).

A realidade tem provado que o desenvolvimento sustentável é um objetivo de difícil obtenção. Esta dificuldade aumenta quando ele é inserido na problemática urbana. Normalmente, no ambiente urbano, são consumidas grandes quantidades de energia, produzidas uma grande quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos e ocorrem profundas mudanças na ocupação e uso do solo. Portanto, é praticamente impossível a satisfação das necessidades atuais da população dentro da sua área de abrangência, assim como, as necessidades futuras.

Seguindo este padrão de desenvolvimento, nas últimas décadas os municípios brasileiros apresentaram um processo acelerado e não planejado de urbanização. A evolução desta forma de urbanização produziu grandes alterações no ambiente natural, promovendo problemas ambientais, perdas materiais e humanas, e problemas sociais de diversas magnitudes, especialmente devido às inundações, alagamentos e à poluição dos corpos d'água.

Este quadro é resultado da remoção da cobertura vegetal original, do aumento da impermeabilização, da canalização, da disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes e da ocupação das planícies ribeirinhas que, de forma geral, tem caracterizado a urbanização brasileira (Tucci, 2002; Baptista *et al.*, 2005, Nascimento *et al.*, 2006). Mostra-se evidente, portanto, a necessidade de alterar o atual paradigma de planejamento da drenagem de águas pluviais no Brasil. Atualmente, o meio técnico-científico tem discutido a aplicação de alternativas que estejam mais próximas da sustentabilidade que, para a drenagem urbana, representa a reprodução do comportamento hidrológico natural (PSAT & WSU, 2005).

Tucci (2005) argumenta que a gestão das ações no ambiente urbano, incluindo o planejamento da drenagem urbana, pode ser definida de acordo com a relação de dependência do ciclo da água e a jurisdição administrativa do município. No entanto, a gestão dos recursos

hídricos deve ser realizada no âmbito da bacia hidrográfica (Brasil, 1997). Neste contexto, a gestão do ambiente interno das cidades deve atender aos condicionantes externos da bacia, com objetivo de minimizar os impactos, e buscar a melhoria da quantidade e da qualidade da água no conjunto de sua área.

Algumas ações promissoras têm sido trabalhadas em algumas municipalidades brasileiras, como o emprego de técnicas compensatórias (ou *Best Management Practices* – BMPs) em escala de loteamentos e micro-bacias urbanas. Em outros países, o planejamento é mais particularizado, envolvendo modificações em escala de lote urbano com estratégias desenvolvidas a partir dos anos 1990, destacando-se o *Low Impact Development* (LID), nos Estados Unidos. Porém, Cruz *et al.* (2007) enfatizam que ainda há grande resistência por parte dos projetistas brasileiros à aplicação destas formas de planejamento da drenagem urbana, pois existe pouca divulgação e obras executadas, além da oposição natural a inovações. Neste sentido, reforça-se a necessidade de se pensar a drenagem urbana como parte de um sistema de gestão, e não apenas a busca de soluções por meio de obras de controle de enchentes, que são definidas após a constatação de algum problema ou catástrofe, conforme discutido por Pompêo (2000).

Com objetivo de minimizar os impactos sobre o ciclo hidrológico, tanto na escala municipal quanto na escala de bacia hidrográfica, diversos autores (tais como, Doll *et al.*, 1999; Souza, 2005; Kathuria, 2006) indicam a necessidade de utilizar mecanismos de incentivo à implementação de um planejamento sustentável da drenagem urbana. Quanto aos incentivos, Levitt e Dubner (2007) argumentam que eles são a “pedra de toque” da vida moderna, ou seja, as pessoas no mundo moderno agem influenciadas por incentivos. Segundo os autores, entender os incentivos é a forma de resolver qualquer problema nos tempos atuais, desde crimes violentos à trapaças nos esportes ou ao namoro na Internet e, quem sabe, as inundações, os alagamentos e a contaminação dos cursos d’água urbanos.

Existem três tipos básicos de incentivos: econômico, social e moral (Levitt e Dubner, 2007). Para o caso da drenagem urbana, objeto deste estudo, a determinação, por exemplo, de um pagamento pelo volume escoado em cada propriedade representa um incentivo econômico para a redução do mesmo. O reconhecimento público de que quando o planejamento do escoamento pluvial de cada imóvel é realizado de forma inadequada proporciona alterações negativas nos sistemas municipais de drenagem pluvial, é um incentivo social bastante

relevante. Já a proibição legal do despejo de volumes provenientes da drenagem das propriedades, além do provocado naturalmente, é um poderoso incentivo moral.

Infelizmente (ou felizmente, depende do ponto de vista), a raça humana reage melhor ao incentivo econômico (Levitt e Dubner, 2007), pois, em regra, os homens agem para benefício próprio, o que ocorre diretamente quando se utiliza este tipo de incentivo. Os incentivos social e moral estão mais relacionados aos benefícios do bem comum e, neste caso, há degradação dos recursos naturais, uma vez que cada usuário tende a utilizá-los excessivamente, em detrimento aos anseios da coletividade, conforme Hardin (1968) analisa, no seu célebre trabalho, “A Tragédia dos Comuns”.

De acordo com Baptista *et al.* (2005), no Brasil e em outros países, tem-se estudado e adotado o incentivo econômico por meio da cobrança de uma taxa específica pelo uso do sistema de drenagem de águas pluviais. Os estudos de Tucci (2002), Baptista e Nascimento (2002) e Nascimento *et al.* (2006) procuraram estabelecer uma cobrança pelo serviço de drenagem urbana no Brasil.

O uso de incentivos econômicos para a preservação ambiental, tal como a cobrança pelo serviço de drenagem urbana, baseia-se no fato de que os ecossistemas naturais produzem uma ampla gama de bens e serviços, que beneficiam as pessoas, e possuem um valor econômico. Contudo, na maioria das vezes, para as atividades humanas este valor é ignorado (Ribeiro, 2000), não sendo contabilizado, por exemplo, no fluxo de caixa de viabilidade econômica de projetos (reservatórios, atividades industriais, etc) ou nos pagamentos de serviços que, de alguma forma, proporcionam degradação ambiental (a própria drenagem urbana, tratamento de efluentes domésticos, etc). Portanto, a aplicação dos incentivos econômicos objetiva tornar a infra-estrutura ambiental comparável com outros setores da economia, onde investimentos são avaliados, atividades são planejadas e políticas de uso são formuladas (Emerton, 2005).

A experiência dos estudos nacionais e internacionais na área demonstra uma diversidade de incentivos econômicos (Lanna, 2001; Stavins, 2003; Mazzanti e Zoboli, 2006) para a determinação de um mecanismo de indução ao atendimento de metas ambientais, além das dificuldades legais para implementação e de dúvidas quanto à aceitabilidade pública e eficácia (Parikh *et al.*, 2005). Considerando a complexidade e particularidades que envolvem o uso destes incentivos (Doll *et al.*, 1999; Cameron *et al.*, 1999; NZBCSD, 2003), faz-se necessário o aprofundamento do estudo para o caso da drenagem urbana.

1.2 Objetivos

O estudo a ser desenvolvido provém do seguinte problema de investigação: “No Brasil não é comum o uso de técnicas sustentáveis para o controle do escoamento pluvial em escala de lote urbano. Assim, pergunta-se: o uso destas técnicas pode ser incentivado?”. Conforme discutido, o incentivo econômico mostra-se como uma possibilidade para a indução de um comportamento ambiental desejável e, além disso, carece de um aprofundamento de estudos para a aplicação na drenagem urbana. Ou seja, a hipótese da pesquisa é que incentivos econômicos podem induzir o controle sustentável do escoamento pluvial, por meio da mudança comportamental dos usuários.

Desta forma, o objetivo geral da presente pesquisa é analisar o uso de incentivos econômicos para a drenagem urbana, de modo a induzir e financiar o seu planejamento sustentável em desenvolvimentos consolidados e novos, em escala de lote urbano, segundo as técnicas do LID, que procuram reproduzir o comportamento hidrológico natural. Os objetivos específicos do estudo são:

i. Analisar os dispositivos e ações que podem ser empregadas em escala de lote urbano para o controle sustentável do escoamento pluvial em desenvolvimentos consolidados e novos, isto é, na urbanização de novas áreas e na alteração de áreas com urbanização consolidada;

ii. Avaliar hidrológicamente em escala de lote: (i) as modificações causadas pelo desenvolvimento urbano; (ii) a atual legislação brasileira de controle do escoamento pluvial, usando como exemplo a legislação de Porto Alegre, uma das mais avançadas do país; (iii) os controles em desenvolvimentos consolidados e novos;

iii. Investigar diferentes tipos de incentivos econômicos aplicáveis aos proprietários de lotes urbanos;

iv. Investigar algumas questões relacionadas à gestão da drenagem urbana nos proprietários dos lotes que ajudem a busca da sustentabilidade no planejamento do setor, e analisar a aceitabilidade pública de um incentivo econômico para a drenagem urbana;

v. Identificar as disposições a pagar (DAP) ou a receber (DAR) em proprietários de lotes para resolver os problemas associados ao setor;

vi. Avaliar relações entre a DAP e a DAR com variáveis associadas aos proprietários de lotes urbanos;

vii. Determinar modelos de regressão para a DAP e a DAR.

Como estudo de caso, escolheu-se Porto Alegre, em virtude de ser uma das cidades brasileiras mais avançadas no controle do escoamento pluvial, utilizando reservatórios de amortecimento na macrodrenagem. Porto Alegre é a única capital do país com um Departamento de Esgotos Pluviais (DEP). O DEP realiza fundamentalmente atividades em três frentes (PMPA/DEP, 2009b): (i) executa obras para completar e corrigir imperfeições nos sistemas de drenagem urbana e de proteção contra as cheias no município; (ii) trabalha na desobstrução e reconstrução de bocas-de-lobo, redes, canais, galerias e arroios; (iii) desenvolve atividades de educação ambiental, procurando envolver e sensibilizar toda a população para os hábitos adequados em relação ao lixo e ao meio ambiente.

Ainda, foram motivos para escolha de Porto Alegre como estudo de caso os seguintes fatos: nos últimos anos foram criadas legislações municipais que instituem o uso de medidas de controle do escoamento pluvial distribuídas em novos empreendimentos implantados na cidade, admitida como uma das mais avançadas no país; e existe a facilidade na obtenção das informações, uma vez que a pesquisa foi desenvolvida no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS).

O estudo enfatizará o planejamento do controle quantitativo do escoamento pluvial, no entanto, é objetivo correlato incentivar o controle qualitativo. Isto será trabalhado, pois se parte do pressuposto (Tucci, 2002) que o planejamento dos aspectos relacionados à água no ambiente urbano deve considerar a relação da água e o saneamento, os resíduos sólidos e a drenagem urbana, áreas que não devem ser planejadas de forma setorial.

2 CRIANDO INCENTIVOS PARA A SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA

A economia é, em essência, o estudo dos incentivos e eles não são nada mais do que meios para estimular as pessoas a fazerem mais coisas boas e menos coisas ruins (Levitt e Dubner, 2007). No entanto, a maioria dos incentivos não surge espontaneamente, alguém – um economista, um político, um pai ou, até mesmo, um engenheiro – precisa criá-los.

2.1 O que é a sustentabilidade da drenagem urbana?

Resumidamente, pode-se dizer que a drenagem urbana nada mais é do que o planejamento do escoamento da água no meio urbano. Este planejamento passou por mudanças significativas nos últimos quarenta anos. De acordo com Brasil (2005), podem-se definir três estágios: higienista, corretivo e sustentável (Quadro 2.1).

Quadro 2.1. Estágios do planejamento da drenagem urbana nos países desenvolvidos (Brasil, 2005).

Anos	Denominação do período	Características
Até 1970	Higienista (Canais)	Transferência para jusante do escoamento pluvial por <u>canalização</u> .
1970 – 1990	Corretivo (Compensatória ou BMP)	<u>Amortecimento</u> quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos.
1990* - ?	Sustentável (LID)	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais do escoamento; controle dos micro-poluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação da <u>infiltração</u> .

* período em que iniciou este tipo de visão.

Baptista *et al.* (2005) argumentam que as soluções higienistas de drenagem urbana (também denominadas de tradicionais ou clássicas) transferem para jusante, por meio de canalizações, os problemas das inundações, tendo que ser construídas novas obras em geral mais onerosas (Figura 2.1). Além disso, normalmente as soluções higienistas não contemplam os problemas de qualidade da água e acarretam situações praticamente irreversíveis de uso do solo urbano e dos recursos hídricos ao canalizar os córregos, arroios ou rios.

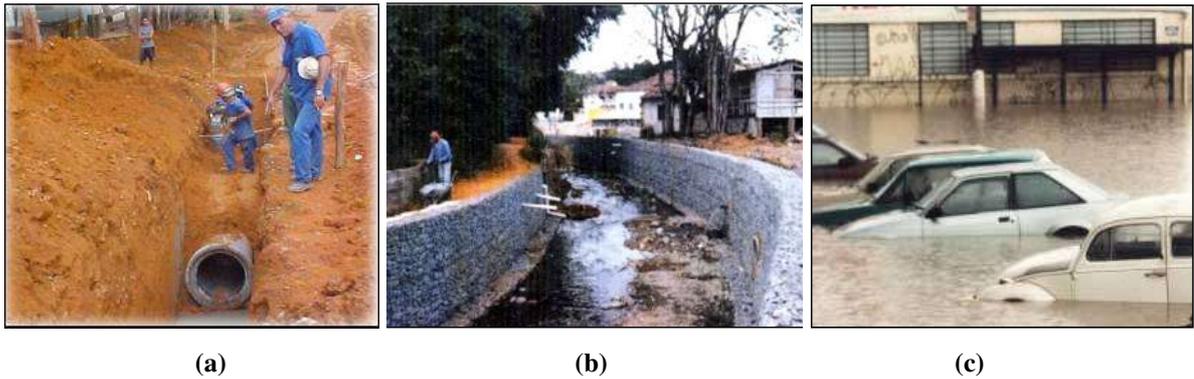


Figura 2.1. Construção de obra de microdrenagem (a); Canalização de um córrego em uma área urbana (b); Efeito da transferência de volume: alagamentos a jusante (c).

A partir dos anos 1970, uma outra abordagem para tratar o problema foi sendo desenvolvida. Trata-se da adoção de técnicas corretivas de drenagem, que procuraram utilizar dispositivos (Figura 2.2) para o controle do escoamento, principalmente por meio de detenções (USEPA, 1999). Esta forma de planejamento da drenagem urbana se baseou nas técnicas de BMPs, que ganharam repercussão sendo muito difundidas e adotadas em todo o mundo para a gestão do escoamento pluvial.



Figura 2.2. Bacias de detenção localizadas em uma praça do município de Porto Alegre (a) e ao lado de uma rodovia em São Paulo (b).

A expressão “Técnicas Compensatórias” é adotada por alguns pesquisadores (tais como Pompêo, 2000; Cruz *et al.* 2001; Goldenfum e Souza, 2001) como sendo um método semelhante ao corretivo (uso de técnicas de BMPs). Para Baptista *et al.* (2005) as técnicas compensatórias levam a reduzir as vazões e os volumes, armazenando ou infiltrando as águas pluviais. Cruz *et al.* (2007) enfatizam que ainda há grande resistência à aplicação de BMPs no Brasil. Os autores citam que segundo o senso do IBGE de 2000 somente 7,5% dos municípios brasileiros utilizam detenções, uma das principais alternativas de BMPs. Um dos motivos é a existência de grande quantidade de resíduos sólidos e efluentes domésticos que são levados às

redes de drenagem e se depositam nos reservatórios de acumulação ou detenção instalados, ocasionando problemas relacionados à saúde pública.

Nas últimas décadas, abordagens mais próximas à sustentabilidade (Marsalek, 2005) têm sido estudadas, sob as denominações: *Low Impact Development* (LID), nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália; e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD), na Nova Zelândia. Dentre as abordagens citadas, segundo Souza (2005), o LID representa o conjunto de técnicas que mais se aproxima da meta de sustentabilidade. No Brasil, o LID recebeu a tradução de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Brasil, 2006a).

A abordagem de LID (LID Center, 2005) se constitui em um planejamento da drenagem mais completo que as técnicas de BMPs. LID inclui medidas não estruturais, como *layouts* alternativos de estradas e prédios para minimizar a impermeabilidade e para maximizar o uso e preservação dos solos e da vegetação nativos, redução das fontes de contaminação e programas de educação para modificar ações e/ou atividades. O planejamento por meio do LID procura recuperar as funções do ciclo hidrológico, alteradas durante a urbanização, ou seja, interceptação, infiltração, evapotranspiração e geração do escoamento superficial (PSAT & WSU, 2005). Devido a estas características, o LID se caracteriza como um planejamento mais sustentável da drenagem urbana. Como exemplo, na Figura 2.3 são apresentados dois projetos para uma mesma área, o primeiro sem planejamento do sistema de drenagem e o segundo por meio das técnicas de LID, procurando preservar as características naturais de escoamento do local.

No Capítulo 3 o Planejamento Sustentável da Drenagem é descrito detalhadamente. Os itens a seguir apresentam os fundamentos e aplicações de incentivos econômicos para o atendimento de metas ambientais, especialmente relacionados à drenagem urbana, objeto de estudo da presente pesquisa.



Figura 2.3. Diferença de planejamento da drenagem entre a técnica convencional e LID (Souza, 2005).

2.2 Os serviços ambientais e a drenagem urbana

Os ecossistemas e a biodiversidade são importantes devido a diversos fatores, em particular, fornecem uma ampla variedade de serviços (produção; regulação; cultural; e suporte), que aumentam o bem-estar humano (Figura 2.4), seja fornecendo segurança, matérias-primas, condições de saúde ou para manter uma boa relação social. Pagiola *et al.* (2004) argumentam que a vida na Terra seria muito pior em vários aspectos sem estes serviços e, no limite, talvez a sobrevivência da raça humana não seria possível.

Um ecossistema é composto por comunidades de plantas, animais e micro-organismos, que interagem como uma unidade funcional, sendo que os humanos são uma parte do todo (Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Todos os elementos que compõem os ecossistemas se relacionam com equilíbrio e harmonia, e estão ligados entre si. A alteração de um único elemento causa modificações em todo o sistema, podendo ocorrer a perda do equilíbrio existente.

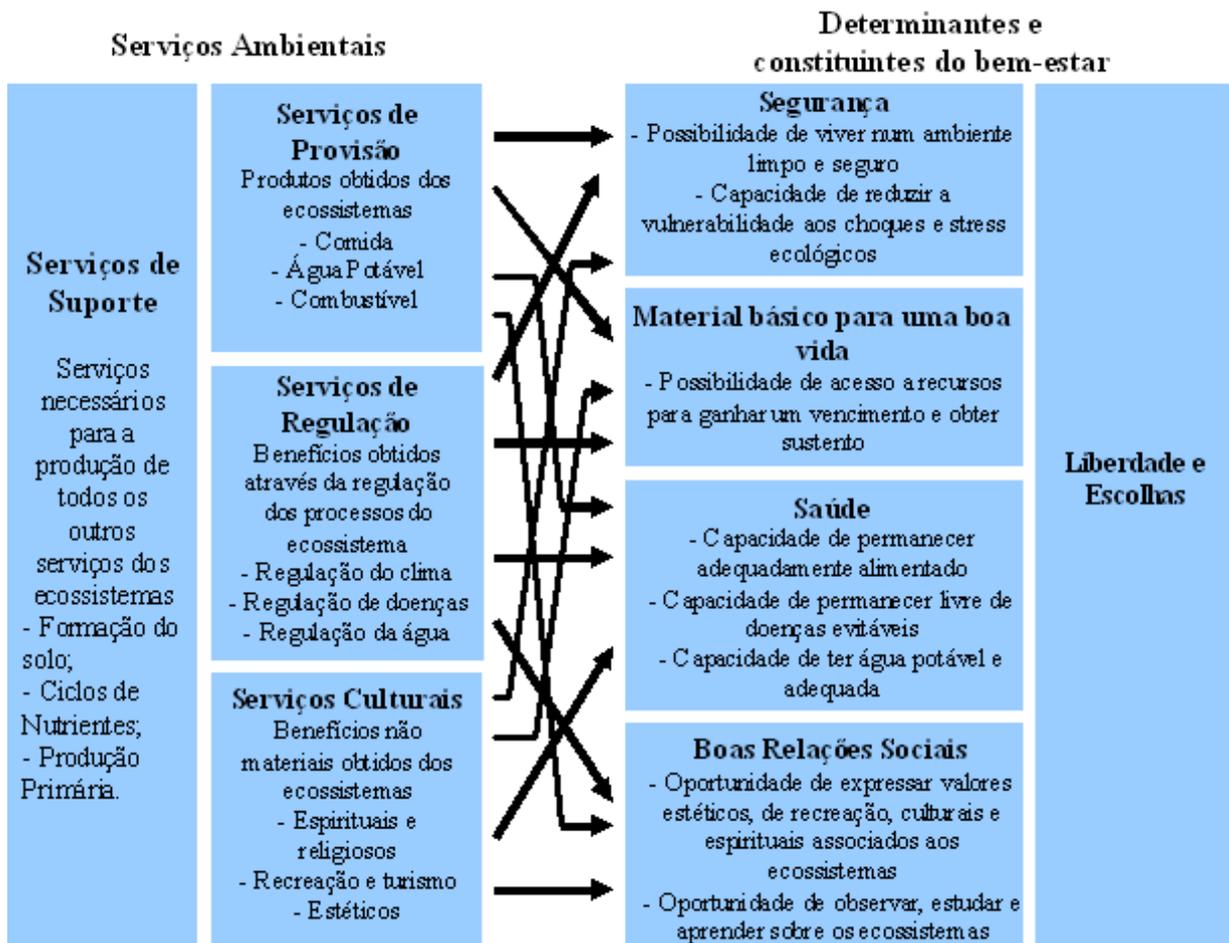


Figura 2.4. Serviços dos ecossistemas e suas relações com o bem-estar humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2003)

De acordo com Millennium Ecosystem Assessment (2003), a relação entre os elementos bióticos (animados) e abióticos (inanimados) de um ecossistema depende, principalmente, do fluxo de energia. Por sua vez, este fluxo é dependente da escala de análise, assim, dependendo do estudo, pode-se trabalhar com um pequeno lago, uma poça d'água, uma mata, uma cidade ou um poço como um ecossistema. Para os recursos hídricos, a bacia hidrográfica é a integradora dos processos que determinam as suas características qualitativas e quantitativas e, devido a isso, ela é a unidade territorial de planejamento desses recursos. A Figura 2.5 apresenta os diversos serviços ambientais fornecidos por uma típica bacia hidrográfica.



**Figura 2.5. Principais funções e serviços ambientais de uma típica bacia hidrográfica (Smith *et al.*, 2006).
Legenda: 1. Floresta, controle de sedimentação; 2. Recreação e armazenamento de água; 3. Hidrelétrica; 4. Abastecimento de água; 5 e 17. Estações de tratamento de efluentes municipais e industriais; 6. Bombeamento para reservatórios de irrigação; 7. Lago ou reservatório para recreação; 8 e 13. Canal de irrigação; 9. Dique para controle de inundação; 10. Controle de erosão; 11. Bacia de regulação para irrigação; 12. Refúgio para fauna silvestre; 14. Irrigação por gravidade; 15. Contorno de lavouras (proteção); 16. Irrigação por aspersão; 18. Estrutura de navegação; 19. Re-regulação de reservatório com comportas; 20. Reservatório para piscicultura.**

Rizzi (2006) argumenta que o funcionamento dos ecossistemas é caracterizado por processos físicos, químicos e biológicos que contribuem para a sua manutenção. Neste contexto, o planejamento da drenagem urbana ganha importância, pois as manchas urbanas são umas das principais responsáveis pelas alterações destes processos em escala de bacia hidrográfica. Conforme analisado por Souza (2005), a drenagem urbana, planejada segundo as técnicas tradicionais, afeta os processos hidrológicos de acordo com a Figura 2.6, sendo que a variação no tamanho das setas indica a alteração do respectivo processo. Considerando os serviços apontados por Costanza *et al.* (1997), estas alterações produzem efeitos negativos nos serviços de regulação dos fluxos de água, de abastecimento de água, controle de erosão e retenção de sedimentos, o ciclo de nutrientes, a não provisão de oportunidades para as atividades de recreação e culturais e até mudanças no microclima local, devido ao aquecimento das superfícies urbanas formando as denominadas “ilhas de calor”, conforme avaliado por Silveira (1997).

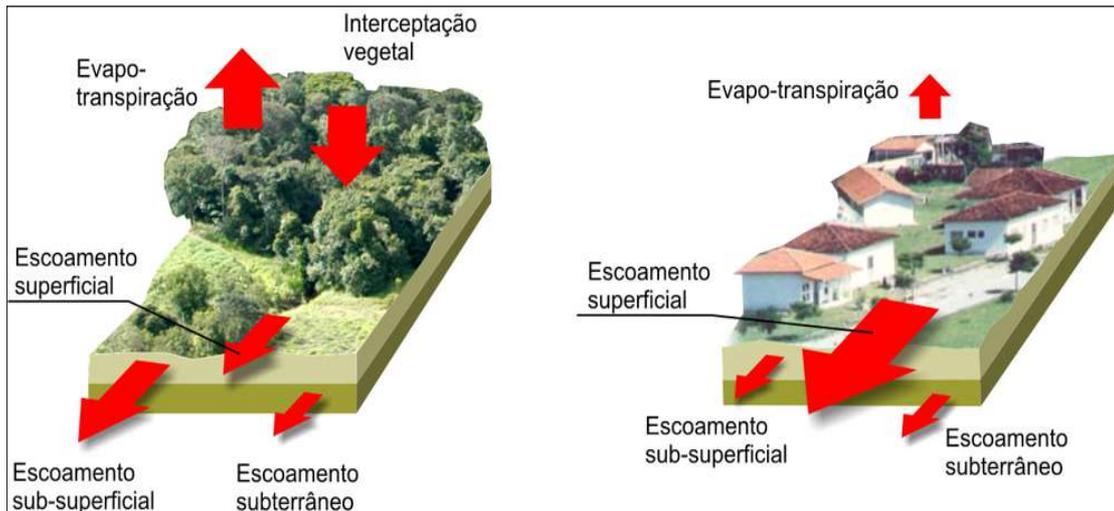


Figura 2.6. Alterações nos serviços hidrológicos proporcionados pela urbanização (Souza, 2005).

Desta forma, o planejamento sustentável da drenagem, que visa mimetizar o comportamento natural dos processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, pode garantir o restabelecimento de alguns serviços ambientais. Os principais são os de suporte e regulação, no entanto, deve-se considerar que todos os demais serviços ambientais são influenciados, uma vez que não existe uma dissociação na prestação dos mesmos (Costanza *et al.*, 1997; Emerton e Bos, 2004). Considerando que a alteração dos processos hidrológicos é materializada no seu hidrograma, no presente estudo, conforme será visto no item Metodologia, o incentivo ao planejamento sustentável da drenagem urbana será analisado com objetivo de manter o hidrograma natural dos lotes urbanos e, conseqüentemente, garantir a sustentabilidade dos serviços ambientais.

2.3 Atribuindo um valor aos bens e serviços ambientais

Normalmente, os bens e serviços ambientais não são valorados (Postel, 2008) e as suas importâncias só são reveladas quando se consideram as modificações proporcionadas pelas ações humanas, isto é, quando se deteriora (ou até mesmo perde) um determinado bem ou serviço ambiental. Dessa forma, a atribuição de um valor à eles é uma importante inovação na tentativa de contornar o problema de degradação dos ecossistemas (Smith *et al.*, 2006). Esta inovação utiliza abordagens baseadas em incentivos econômicos para a manutenção dos bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas.

Rizzi (2006) discute que o objetivo da valoração ambiental é obter as características prístinas dos ecossistemas. O autor argumenta que é preciso identificar os serviços ambientais, quantificá-los e calcular um valor monetário para eles. Neste sentido, é fundamental estabelecer uma clara relação causal entre a melhoria ou o impedimento da

degradação dos ecossistemas e os resultados diretos relacionados com estas ações (Smith *et al.*, 2006). Assim, as ações desenvolvidas para remediar as alterações que ocorrem devido ao desenvolvimento urbano poderão ser adotadas, com objetivo de atingir o comportamento ambiental prévio do ambiente, conforme é apresentado na Figura 2.7.

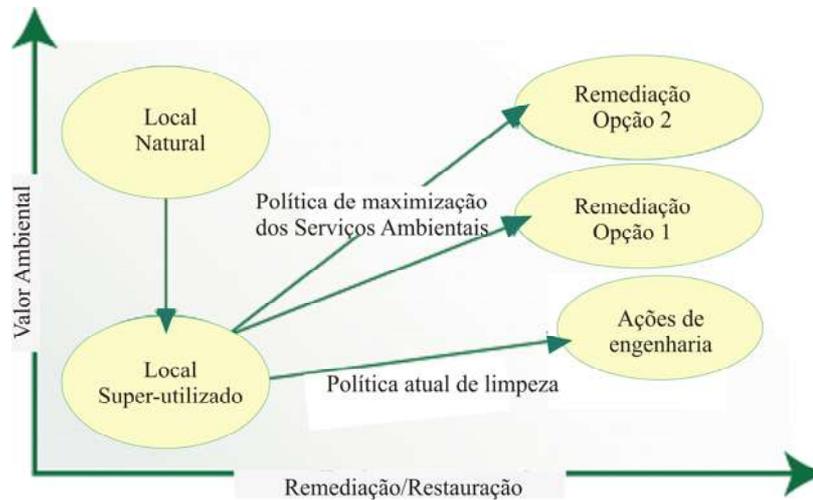


Figura 2.7. Objetivo da valoração dos serviços ambientais (Rizzi, 2006).

Smith *et al.* (2006) salientam que as componentes apresentadas no Quadro 2.2 devem ser consideradas para o estabelecimento de um tipo de incentivo econômico aplicado aos ecossistemas. A determinação do incentivo envolve uma gama de métodos de valoração e de pagamento que podem ser empregados. Os prós e contras dos diversos mecanismos devem ser compreendidos, bem como a sua base de cálculo (Smith *et al.*, 2006).

Os métodos de avaliação econômica, baseados na economia ambiental neoclássica, visam quantificar a contribuição da utilização dos recursos (incluindo os serviços dos ecossistemas) para o bem-estar humano. Isto é feito pela medição ou dedução das preferências humanas. Assim sendo, a valoração econômica dos ecossistemas é fundada sobre uma ideologia utilitarista antropocêntrica, com o objetivo de maximizar a utilidade individual (ou social) (Turner *et al.*, 1994; Farber *et al.*, 2002). Argumenta-se, porém, que outros objetivos, como o da sustentabilidade ambiental ou a justiça social, devem ser considerados (Farber *et al.*, 2002; Costanza, 2003).

Esta abordagem para trabalhar com a questão ambiental proposta pela economia neoclássica, que teve como seu precursor Arthur Cecil Pigou, conforme será discutido no item 2.5, é alvo de várias críticas de pesquisadores que defendem a teoria da Economia Ecológica. Nesta teoria, é defendido que o desenvolvimento das atividades econômicas deve respeitar o

equilíbrio dos ecossistemas, representado pela suas capacidades de suporte (Montibeller, 2004).

Apesar disso, a avaliação econômica neoclássica é o mais relevante e desenvolvido conceito disponível para ajudar a tomada de decisões em um mundo real, que possui seus métodos de produção e de mercados baseados em uma economia capitalista, possibilitando a internalização de externalidades ambientais e auxiliando a escolhas de decisões eficazes (Pearce *et al.*, 2006). Além disso, esta valoração econômica dos ecossistemas serve para vários outros fins, como a elaboração de políticas de redução da pobreza e equidade.

Quadro 2.2. Componentes que devem ser estudados para o desenvolvimento de um pagamento pelos serviços ambientais (Adaptado de Smith *et al.*, 2006).

Componente	Descrição
Identificando e valorando os serviços ambientais	Identificação dos serviços ambientais e possíveis métodos de valoração
Desenvolvendo um esquema de pagamento (incentivo econômico)	Determinação de metas ambientais; avaliação dos esquemas de pagamento; e desenvolvimento de estratégias de financiamento do esquema
Negociação	Estabelecimento de meios de negociação
Identificando compradores, vendedores e parceiros	Comunicação para engajamento dos participantes do processo; determinação dos compradores e vendedores dos serviços; identificação da necessidade de intermediários e suporte técnico; e análise institucional
Construindo as regras	Estrutura para acordo legal e institucional; especificação de obrigações contratuais; e garantia de cumprimento e execução

Turner *et al.* (1994) argumentam que o valor dos recursos ambientais é retirado de todos os seus atributos, que podem estar ou não correlacionados com o uso do recurso. Ou seja, existem atributos de consumo que estão associados à própria existência do recurso, sendo independentes do seu fluxo de utilização. Os autores destacam que o valor econômico do meio ambiente pode ser subdividido em vários componentes que agregam diferentes enfoques em um único valor, o valor econômico total (VET). Pode-se desagregar o VET, inicialmente, em duas partes distintas; o valor de uso (VU) e o valor de não-uso (VNU), conforme Figura 2.8.

O VU corresponde ao valor atribuído pelos indivíduos que utilizam, diretamente, os bens e serviços fornecidos pelo meio ambiente. Já o VNU corresponde à parcela do VET que representa o valor de existência do recurso, que está dissociado de sua utilização. Conforme Seroa da Mota (1998), este valor deriva-se de uma posição moral, cultural, ética ou altruísta em relação ao direito de existência das espécies não-humanas ou à preservação de outras

riquezas naturais. O valor de uso pode ainda ser desagregado em mais três valores distintos: o valor de uso direto (VUD); o valor de uso indireto (VUI); e o valor de opção (VO). O valor de uso direto corresponde à utilização atual que os indivíduos fazem do recurso, ou seja, extração mineral, visitação a um parque ambiental, etc. Já o valor de uso indireto está associado às origens dos benefícios extraídos dos recursos, por exemplo, a estabilidade climática decorrente da preservação de florestas.

A dificuldade para determinação dos valores descritos configura-se como um dos principais problemas para o uso de incentivos econômicos na gestão ambiental. No item a seguir, pretende-se descrever os métodos de valoração existentes dos bens e serviços ambientais, para em seguida, descrever os incentivos econômicos que podem ser criados utilizando estes métodos.

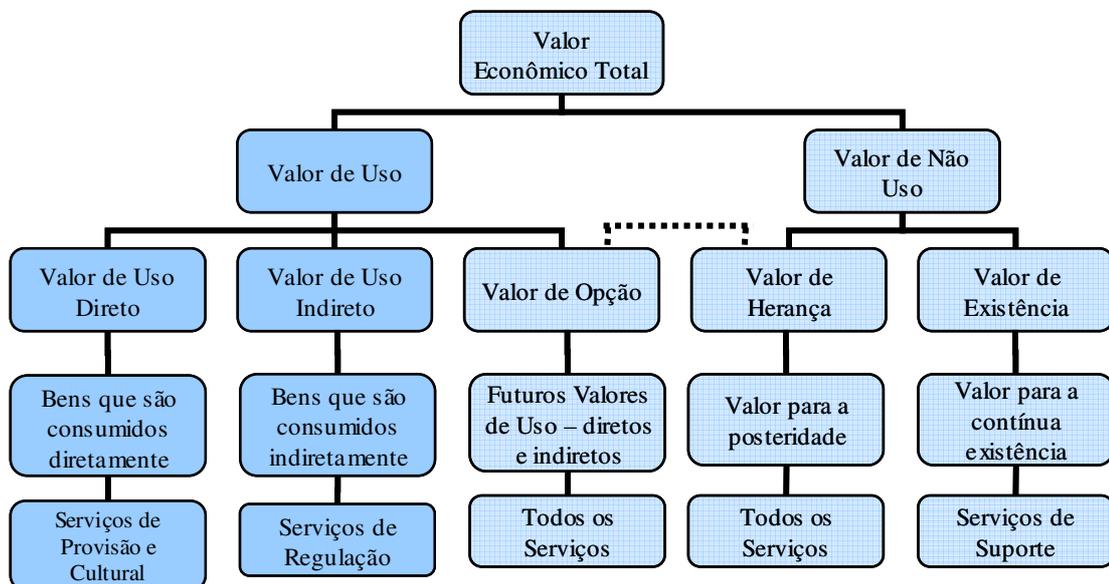


Figura 2.8. Valor Econômico Total compreendendo os valores de uso e não uso. (Adaptado de Turner *et al.*, 1994 e Smith *et al.*, 2006).

2.4 Métodos de valoração de bens e serviços ambientais

Existe uma variedade de metodologias que podem ser utilizadas para avaliar e quantificar o valor econômico dos bens e serviços ambientais, baseados na Economia Ambiental Neoclássica. De acordo com Smith *et al.* (2006), não existe “o melhor” método, pois o uso depende do contexto, do tipo de serviço ambiental a ser valorado e das informações disponíveis para avaliação. Assim sendo, a metodologia selecionada para avaliação deve ser baseada no conhecimento das características, vantagens e limitações de cada método (Emerton e Bos, 2004).

Um dos critérios mais aceitos entre os pesquisadores da área para a classificação dos métodos de valoração ambiental é quanto à consideração da curva de demanda, conforme é apresentado no Quadro 2.3. A curva de demanda representa o benefício marginal obtido pelo consumo de uma unidade adicional do bem, isto é, traduz o máximo de bem-estar que se pode obter com um determinado pagamento. Os métodos que não utilizam a curva de demanda, por simplificação, determinam o valor monetário examinando-se o preço de mercado de outros bens que possam substituir o bem em questão (Turner *et al.*, 1994).

Quadro 2.3. Métodos de valoração ambiental (Adaptado de Turner *et al.*, 1994 e Korsgaard, 2006).

Metodologias que utilizam a Curva de Demanda	Preferência Revelada	Valor Hedônico
		Custo de Viagem
		Valor de Mercado
	Preferência Expressa	Método de Valoração Contingente
		Experimento de Escolha
Metodologias que não utilizam a Curva de Demanda	Preços Sombra	Custo de Reposição
		Custo de Mitigação
		Custo de dano evitado
		Custo de oportunidade
	Dose-resposta	
Transferência de benefício		

Os métodos que utilizam a curva de demanda são denominados como os verdadeiros métodos de valoração ou diretos, enquanto que os métodos que não utilizam a curva de demanda são métodos de precificação ou indiretos. Estas denominações partem do princípio de que os métodos que não esboçam a curva de demanda falham ao não estimar o verdadeiro valor do bem ou serviço ou a medida de bem-estar, sendo considerados deficientes do ponto de vista da Teoria Econômica.

Neste contexto, se enquadram as maiores críticas da Economia Ecológica à Economia Ambiental Neoclássica, conforme salientado no item anterior, que defende que nenhum método neoclássico consegue quantificar corretamente o valor econômico de um bem ou serviço ambiental, conforme analisado por Montibeller (2004). Todavia, deve-se considerar que estes métodos fornecem informações úteis para a tomada de decisão e não devem ser desprezados (Turner *et al.*, 1994). Assim, admite-se neste trabalho, de acordo com a própria posição de Montibeller (2004), que a abordagem neoclássica, se bem utilizada, possui úteis finalidades práticas que possibilitam minimizar os impactos das atividades humanas e garantir o equilíbrio dos ecossistemas naturais segundo suas capacidades de suporte, conforme prioriza a Economia Ecológica.

Todos os métodos da Economia Ambiental Neoclássica apresentam vantagens, desvantagens e aplicações distintas. O Quadro 2.4, baseado em Pagiola *et al.* (2004) e Korsgaard (2006), apresenta as características dos métodos e identifica os que serão utilizados neste estudo. As escolhas foram baseadas nas características de cada método, objetivos da pesquisa e o critério de facilidade de aplicação. Pretende-se trabalhar com os métodos de custo de reposição e custo de mitigação, para valorar os serviços de drenagem urbana, e o método de valoração contingente, para a validação dos incentivos econômicos, conforme será descrito no item metodologia.

Os métodos de preço sombra são assim denominados pois utilizam outros preços para determinar o valor de um bem ou serviço ambiental. O método de custo de reposição determina os custos para repor um bem ou serviço com uma estrutura (ou dispositivo) com comportamento semelhante ao bem ou serviço modificado (Seroa da Motta, 2006). O custo de mitigação determina os custos para mitigar os efeitos do serviço alterado, com uma solução que não possui um comportamento semelhante. A diferença entre os dois métodos é sutil, mas, importante. Para a drenagem urbana, um exemplo seria a mudança no comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica devido à impermeabilização e canalização dos cursos d'água. O custo de reposição consideraria o uso de dispositivos que atuariam na causa do problema, ou seja, procurando recuperar as funções do ciclo hidrológico modificadas, isto é, interceptação, infiltração, evapotranspiração e geração do escoamento superficial. Enquanto o custo de mitigação consideraria a utilização de dispositivos para atuar no efeito, mais especificamente na consequência do problema, por exemplo, retendo os volumes escoados.

O método de valoração contingente (MVC) procura mensurar monetariamente o impacto no nível de bem-estar dos indivíduos decorrente de uma variação quantitativa ou qualitativa dos bens ambientais (Seroa da Motta, 2006). O MVC utiliza dois indicadores de valor, a disposição a pagar (DAP) e a disposição a receber (DAR) ou, de acordo com Montibeller (2004), disposição a aceitar compensação, que vêm a ser, respectivamente, o quanto os indivíduos estariam dispostos a pagar para obter uma melhoria de bem-estar ou quanto estariam dispostos a aceitar como compensação para uma perda de bem-estar. Ou seja, o MVC pretende, de alguma maneira, quantificar a mudança no nível de bem-estar percebida pelos indivíduos, resultante de uma alteração no suprimento de um determinado bem ou serviço ambiental (Turner *et al.*, 1994).

Os valores de DAP e DAR são estimados com base em mercados hipotéticos, que são simulados por intermédio de pesquisas de campo. O MVC requer procedimentos muito rigorosos na formulação das pesquisas para produzir resultados confiáveis, devido às diversas possibilidades de vieses na sua aplicação. Nogueira *et al.* (2000) destacam quatro fontes de vieses no uso do MVC: (i) uso de cenários que incentivam o entrevistado a não informar sua verdadeira DAP (viés estratégico e viés do entrevistador); (ii) uso de cenários que possuem incentivos para ajudar indevidamente o indivíduo a responder o questionário (viés do ponto inicial, viés de relação e viés de importância); (iii) especificação incorreta do cenário mediante uma descrição incorreta e/ou incompleta de alguns aspectos relevantes (viés de especificação teórica, viés de especificação da qualidade e viés de especificação do contexto); e (iv) desenho inadequado da amostra e agregação incorreta dos benefícios (viés da escolha da população e o viés da seleção amostral). Todavia, o MVC é de extrema valia (Seroa da Motta, 2006) para a análise econômica do meio ambiente, pois é o único que tem, potencialmente, a capacidade de captar todos os valores do bem ou serviço ambiental (inclusive o valor de existência). Devido a isso, será utilizado na presente pesquisa.

2.5 Incentivos econômicos aplicados à gestão ambiental

Seroa da Motta (2006) destaca que conhecer os valores econômicos dos recursos ambientais não é suficiente para implementar uma política ambiental. Há que se identificar os incentivos que deverão ser utilizados para se atingir os objetivos ambientais priorizados após a determinação dos valores dos bens e serviços ambientais. Com esta finalidade é que são aplicados os incentivos econômicos.

Segundo Pearce e Turner (1990), tradicionalmente a gestão ambiental contou com sistemas administrativos de controle centralizados em órgãos governamentais. O controle exercido pelos governos representou uma tentativa de interromper a crescente degradação ambiental ocorrida durante o século XX, principalmente nos períodos pós-guerras (Cánepa *et al.*, 1998). Os sistemas empregados foram fortemente baseados em instrumentos legais, tais como regulamentos e penalidades (multas), sendo chamados de Sistemas de Comando e Controle (C&C). Geralmente este tipo de sistema adota a abordagem por padrões uniformes de emissão. Seroa da Motta *et al.* (1996) ressaltam que os C&C criam um efeito presumido de incentivo, pois o usuário dos recursos ambientais seria compelido a sujeitar-se aos regulamentos a fim de evitar as multas. Contudo, Qdais e Nassay (2001) enfatizam que existe a possibilidade de realizar políticas de gestão ambiental mais eficazes.

Quadro 2.4. Resumo dos Métodos de Valoração Ambiental (Adaptado de Pagiola *et al.*, 2004; e Korsgaard, 2006).

Método	Metodologia de Cálculo	Aplicação	Dados necessários (nível)	Principais Limitações	Útil para o estudo
Valor Hedônico	Efeito do SA* no preço de outro SA	Beleza cênica, qualidade do ar e benefícios culturais	Alto – Preços e características do SA	Requer grande quantidade de dados e dificuldade para isolar o efeito do SA	Não
Custo de Viagem	A curva de demanda é determinada de acordo com o custo atual da viagem	Recreação	Médio – Pesquisa para coletar custos, tempo e distância de viagem	Limitado à análise do benefício recreacional	Não
Valor de Mercado	Negociação de Mercado	SA comercializáveis	Baixo – Mercado existente	Mercado imperfeito e/ou inacessível	Não
Valoração Contingente	Pergunta diretamente a DAP/DAR para um específico SA	Qualquer SA	Alto – Pesquisa para determinar a DAP/DAR para um específico SA	Muitas fontes potenciais de vieses nas respostas	Sim
Experimento de Escolha	Cenário preferido (associado a um custo)	Qualquer SA	Alto – Pesquisa com formulação de cenários	Similar ao MVC com diferencial que a análise dos dados geralmente é complexa	Não
Custo de Reposição	Custo de reposição do bem ou serviço modificado	Qualquer SA	Médio/Baixo – Conhecimento dos SA modificados e custos para repô-los	Tendência a superestimar o valor atual do SA	Sim
Custo de Mitigação	Custo de mitigação dos efeitos devido às alterações no SA	Qualquer SA	Médio/Baixo – Conhecimento dos SA alterados e custos para mitigar os efeitos	Imperfeição ou impossibilidade de mitigação dos efeitos da modificação do SA	Sim
Custo de dano evitado	Custo do dano evitado pela manutenção do SA	Qualquer SA	Médio/Baixo – Conhecimento dos custos dos danos evitados	Falta de conhecimento sobre a relação entre o SA e os danos evitados	Não
Custo de oportunidade	Valor do desenvolvimento (empreendimento) que foi alterado devido a manutenção do SA	Qualquer SA	Médio/Baixo – Estimativa das alternativas modificadas	Não representa o valor total e não é aplicado a diferentes cenários	Não
Dose-resposta	Efeito do SA na produção de outros bens ou serviços	Qualquer SA	Médio – Mudança no SA; impacto na produção; conjunto de valores de bens produzidos	Falta de conhecimento sobre a relação entre o SA e a produção de bens ou serviços	Não
Transferência de benefício	Utiliza o resultado obtido em um contexto para outro	Qualquer SA em que seja possível a comparação	Muito baixo – Valoração em outro lugar com características semelhantes	Proporciona resultados ruins se o contexto difere	Não

*SA = Serviço Ambiental

A aplicação de incentivos econômicos para a gestão ambiental ocorreu a partir da percepção de que as políticas baseadas em sistemas C&C não estavam sendo suficientes para reverter o quadro de degradação. Ao mesmo tempo, as atividades econômicas estavam tendo sua eficiência comprometida. Assim, foi realizado o aprofundamento do estudo das relações entre a economia e o meio ambiente (Cánepa *et al.*, 1998).

Nas décadas de 1920 e de 1930, com os trabalhos de Pigou, a economia começou a se referir ao aspecto da externalidade. As externalidades são a imposição involuntária de custos ou de benefícios a terceiros, resultantes de uma atividade (econômica ou não-econômica), isto é, que têm efeitos negativos ou positivos sobre terceiros, sem que estes tenham oportunidade de impedir e sem que tenham a obrigação de pagar, ou o direito de serem indenizados.

Pigou propôs um imposto como uma maneira de transpor o “abismo” entre o custo privado e o social, que está na raiz do dano ambiental. Sua idéia consistiu em aplicar o imposto igual aos custos marginais de contaminação ao nível ótimo de produção, ponto de otimização do uso do recurso. Com a taxa pigouviana, a emissão de poluição passa a ter um custo e, evidentemente, todo agente causador de externalidades busca possuir tecnologias ou meios de produção que reduzam seus custos. Contudo, raramente os impostos foram utilizados para coibir a poluição ou degradação dos recursos ambientais (Cairncross, 1992), pois quase sempre foram estabelecidos a níveis muito baixos para afetar o comportamento dos poluidores.

Este padrão de uso dos incentivos econômicos ocorreu (e continua ocorrendo) pois os mesmos, normalmente, são estabelecidos com objetivo de financiamento de uma receita pré-determinada. Desta forma, é estabelecido um sobrepreço, que é adicionado ao preço atual do recurso, associado a um nível de uso e orçamento. Seroa da Motta (2006) discute que os demais critérios para estabelecer um sobrepreço de cunho ambiental são a externalidade, conforme sugerido por Pigou, e a indução. O autor enfatiza que o uso das externalidades enfrenta restrições, devido às dificuldades de determinação dos custos externos negativos associados ao uso. Uma alternativa é o uso do critério de indução (ou custo-efetividade), no qual o preço do recurso é determinado para atingir um certo nível agregado de uso considerado politicamente ou tecnicamente adequado.

Portanto, o nível agregado de uso não é determinado por otimização econômica do uso do recurso, e sim exogenamente pela sociedade, com base em parâmetros ecológicos politicamente avaliados (Seroa da Motta, 2006). Utilizado desta maneira, os incentivos

econômicos determinam um sobrepreço, ou estímulo monetário, que induz variações no uso individual para se atingir determinados objetivos quali-quantitativos agregados no meio ambiente (USEPA, 2001).

Santos (2002) salienta que as políticas de gestão baseadas nestes incentivos são mais compatíveis com abordagens para o atendimento de padrões uniformes de emissão, ou para objetivos de qualidade ambiental, já que os mesmos buscam otimizar a capacidade de assimilação da poluição pelo meio-ambiente. No caso específico do meio hídrico, busca-se a otimização da capacidade de suporte qualitativo e, também, quantitativo dos corpos receptores. Além disso, estes incentivos são também mecanismos de geração de receita para financiamento do sistema de controle ambiental, podendo chegar a financiar ações de proteção e recuperação, em termos de qualidade e quantidade da água (Forgiarini *et al.*, 2008b).

Seroa da Motta (2006) argumenta que a determinação do preço pelo critério de custo-efetividade deve ser baseada em simulações que identifiquem alterações do nível de uso individual, diante das variações de preço do recurso. Ou seja, tem-se que conhecer as funções de demanda ou de custo de controle de cada usuário para, então, observar o impacto agregado resultante.

Por sua vez, Parikh *et al.* (2005) admite que para influenciar o comportamento de uma maneira custo-efetiva, os incentivos econômicos devem ser ajustados igual ao custo marginal do controle da externalidade gerada. Isto estimulará a cada agente causador de externalidade escolher um nível apropriado de controle, para que o objetivo ambiental traçado seja alcançado. Cánepa *et al.* (1998) chamam esta abordagem de política “mista” de mandato-e-controle. Nesta modalidade de política ambiental, os padrões de emissão deixam de ser meio e fim da intervenção estatal e passam a ser instrumentos, dentre outros, de uma política para a consecução de metas acordadas socialmente. Dessa forma, tem-se a adoção progressiva de padrões de qualidade, como metas da política ambiental, e a adoção de incentivos econômicos aos agentes no combate à poluição e à moderação no uso dos recursos naturais (Cánepa *et al.*, 1998).

Este procedimento representa uma evolução da política ambiental mundial e desempenha um papel importante ao estabelecer um acordo social para atingir as metas ambientais traçadas, premissa para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável (Pompêo, 2000). Diversas entidades internacionais e autores (por exemplo, USEPA 2001;

NZBCSD, 2003; Mazzanti e Zoboli, 2006; Parikh, *et al.* 2005) analisam o uso de incentivos econômicos utilizados atualmente no mundo. Stavins (2003) os classifica em quatro categorias: (i) sistemas de cobrança; (ii) licenças negociáveis; (iii) criação de mercado; e (iv) subsídios governamentais. Já USEPA (2001) divide os incentivos econômicos em sete categorias: (i) taxas, impostos e cobranças; (ii) sistemas de depósito reembolso; (iii) mercados de permissão; (iv) subsídios; (v) responsabilidade civil; (vi) disponibilização de informação; e (vii) ações voluntárias. Stavins (2003) cita o uso de programas voluntários, que é descrito no relatório da USEPA (2001) e utilizado por Parikh *et al.* (2005).

Uma ampla gama de trabalhos procura comparar o uso dos diferentes incentivos econômicos aplicados à gestão ambiental. Basicamente, eles objetivam responder à pergunta: qual é o melhor incentivo econômico? Ou seja, qual o melhor incentivo para atingir metas ambientais traçadas previamente? A resposta desta pergunta depende de diversos fatores, sobretudo das características do problema ambiental e do contexto social, político e econômico no qual o incentivo será implementado (Smith *et al.*, 2006). No presente estudo, os principais incentivos econômicos foram separados conforme o Quadro 2.5, que também apresenta as vantagens e desvantagens do uso dos mesmos, e identifica os que serão utilizados neste estudo. A seguir, os incentivos são brevemente descritos.

2.5.1 Custo de Mercado

No mercado, o valor de um bem ou serviço ambiental é estabelecido por meio da livre negociação entre os vendedores e compradores. O governo (por meio do órgão ambiental ou administrativo) estabelece um sistema de licenças comercializáveis, de poluição ou de uso do recurso, que são leiloadas ou distribuídas. Os poluidores, ou os usuários, comercializam as licenças a preços não controlados, cabendo ao governo monitorar o cumprimento das mesmas.

Panayotou (1994) salienta que os mercados em bom funcionamento normalmente são mecanismos eficientes para a alocação de recursos ambientais entre os usuários. O autor cita que o bom funcionamento dos mercados é obtido com a satisfação de algumas condições, principalmente: (i) os direitos de propriedade sobre todos os recursos precisam ser bem definidos e consolidados – ninguém economiza, paga ou conserva um recurso sem a certeza de ter direitos seguros e exclusivos sobre ele; (ii) todos os recursos escassos devem entrar nos mercados ativos, os quais, de acordo com a oferta e procura, irão estipular um preço para eles; (iii) os efeitos colaterais negativos dessas ações devem ser insignificantes; (iv) a competição deve prevalecer; (v) os bens públicos devem ser exceções de importância secundária; (vi) não

devem surgir a miopia, a incerteza, nem decisões irreversíveis. Se estas condições não forem satisfeitas, o mercado livre será incapaz de alocar recursos eficientemente entre os usuários. Assim, ocorrerá o desperdício de recursos deixando muito pouco para o futuro. Os preços gerados em um mercado em mau funcionamento não refletem os custos sociais verdadeiros tampouco os benefícios do uso destes recursos.

Quadro 2.5. Tipos e exemplos de Incentivos Econômicos para a Gestão Ambiental (USEPA, 2001; Parikh et al., 2005; e Smith et al., 2006).

Tipo de incentivo	Vantagens e Desvantagens	Exemplos	Útil para o estudo
Custo de mercado	Vantagens: provêm limites de poluição; efetivo quando o dano por unidade de poluição varia com o total de poluição; provêm estímulos para mudanças tecnológicas Desvantagens: potenciais altos custos de transação; requer variação no custo de controle marginal	Licenças comercializáveis para alterações quantitativas ou qualitativas nos recursos hídricos	Sim
Sistemas de cobrança	Vantagens: estimula o desenvolvimento de novas tecnologias; útil quando o dano por unidade de poluição varia pouco com a quantidade de poluição Desvantagens: potencialmente grandes efeitos distributivos; efeitos ambientais incertos; requer monitoramento	Cobrança pelo escoamento	Sim
		Taxa pelo uso dos sistemas públicos	Sim
Mecanismos de responsabilidade	Vantagens: proporcionam grandes incentivos, estimula a reciclagem Desvantagens: custos de avaliação e de despesas judiciais podem ser elevados; poucas aplicações	Sistemas de depósito-reembolso	Não
		Bônus por performance	Não
		Compensação por danos	Não
Incentivos positivos	Vantagens: popular politicamente, metas para atividades específicas; flexível; muitas aplicações possíveis; maneira de testar novas abordagens Desvantagens: impacto financeiro sobre os orçamentos públicos; pode estimular ineficiência no uso do recurso; efeitos positivos incertos	Ações voluntárias com subsídios	Sim
		Isenções ou reduções fiscais	Sim

Os mercados de bens e serviços ambientais têm sido largamente utilizados nos Estados Unidos e em outros países (Stavins, 2003) para o controle da poluição. Basicamente, os mercados são de dois tipos: programas de crédito e sistemas de troca e comércio. Os créditos são concedidos quando as emissões são reduzidas a níveis inferiores ao nível permitido. Quanto ao sistema de troca e comércio, um limite alocável de poluição é estabelecido e alocado entre os usuários em forma de permissões, que podem ser livremente trocadas entre os mesmos.

Stavins (2003) relata que existem muitas aplicações significativas de programas de crédito, por exemplo, o programa de redução do uso de gasolina nos Estados Unidos e dois

programas pilotos do Canadá (redução de emissão de gás carbônico e nitrogênio). Além destes, existe o programa de qualidade da água do governo dos Estados Unidos (*National Pollution Discharge Elimination System* – NPDES), que determina que os municípios devem controlar as fontes pontuais e não pontuais de poluição dos recursos hídricos, respeitando limites pré-estabelecidos.

Caso se decida pela utilização do custo de mercado e o mesmo não existe, devem ser utilizados métodos para quantificar os valores que os usuários do sistema estariam dispostos a pagar pelo serviço ambiental. Neste contexto é que são aplicados os métodos de preferência expressa.

2.5.2 Sistemas de cobrança: taxas, impostos e cobranças

Taxas, impostos e cobranças são pagamentos requeridos pela emissão de poluição (USEPA, 2001), pagos por cada unidade de poluição emitida. Porém, os pagamentos podem ser estendidos às alterações quantitativas, proporcionadas pelos usuários dos recursos ambientais (Cameron *et al.*, 1999).

Uma análise simplificada da aplicação dos sistemas de cobrança é apresentada na Figura 2.9, que apresenta os danos marginais causados pela emissão de um poluente e os custos marginais para o controle desta poluição, conforme USEPA (2001). Antes da imposição de um sistema de cobrança, as emissões não controladas possuem o valor E_0 e o dano resultante sobre o ambiente é igual a área $c+d+e$, sem nenhum custo para o agente poluidor. Se uma cobrança pela emissão igual a C_1 é imposta, o agente poluidor reduzirá sua emissão para E_1 , de modo a minimizar seus custos. Os poluidores que não controlarem suas emissões pagarão o valor referente à área $b+c$. Entretanto, eles são induzidos a investir o valor referente à área d para reduzir suas emissões até E_1 . Assim, os custos totais da poluição, que é a soma do custo referente ao dano ambiental e ao controle (área $c+d$), são minimizados de acordo com o nível de cobrança C_1 . Este exemplo demonstra o potencial do uso de sistemas de cobrança para atingir objetivos ambientais, no caso o limite de emissão E_1 , que poderia representar a capacidade de assimilação da poluição por um corpo receptor, ou mesmo a capacidade hidráulica de uma galeria de drenagem.

A respeito da diferença conceitual entre taxas, impostos e cobranças, merece uma explicação detalhada. Na legislação tributária brasileira, taxa é um tributo em que “a contraprestação de serviços públicos ou de benefícios feitos, postos à disposição ou custeados pelo Estado, em favor de quem paga ou por este provocado”. Ou seja, é uma quantia

obrigatória em dinheiro, paga em troca de algum serviço público fundamental (ou para o exercício do poder de polícia), oferecido diretamente pelo Estado. Diferente de Imposto (outra forma de tributo), a taxa não possui uma base de cálculo. Os valores dependem apenas do serviço prestado, pois as mesmas são vinculadas à manutenção e desenvolvimento do próprio serviço prestado.

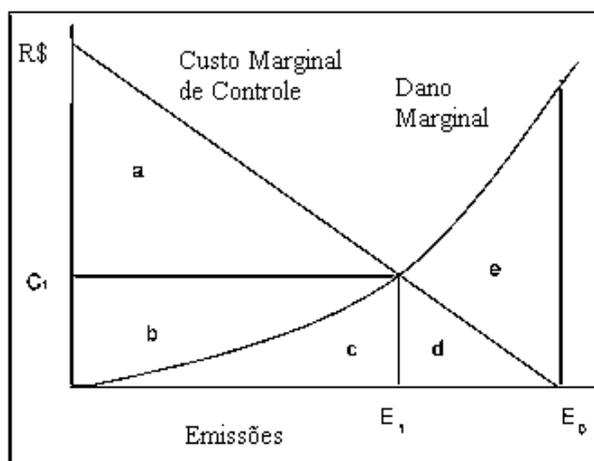


Figura 2.9. Cobrança por unidade de emissão de poluentes.

Por outro lado, uma cobrança ambiental é um preço público (Forgiarini *et al.*, 2008a), ou seja, o pagamento pela utilização de um bem público para uso particular (Pompeu, 1997). As cobranças ambientais frequentemente são julgadas como sendo um imposto, isto é, ferramentas projetadas simplesmente para a geração de renda. Ao contrário de um imposto, uma cobrança ambiental deve ser considerada como um pagamento para o uso do recurso ou uma arrecadação para cobrir o estrago causado pelo uso desse recurso (referente à externalidade de Pigou). A aceitação pela sociedade de cobranças ambientais dependerá, em grande parte, de seu entendimento do motivo da sua imposição. Fazer com que a sociedade admita que depende dela o controle de substâncias tóxicas, poluentes e rejeitos é um objetivo a ser alcançado pela política econômica, o problema é achar um meio eficiente e barato disso acontecer (Forgiarini *et al.*, 2008a).

2.5.3 Mecanismos de responsabilização

Os mecanismos de responsabilização (depósito-reembolso; bônus por performance; e compensação por danos) atuam obrigando legalmente os usuários a pagar pelo uso ou dano causado aos recursos naturais. O objetivo do uso destes mecanismos na gestão ambiental é duplo: em primeiro lugar, incentivar economicamente as decisões dos usuários e, em segundo lugar, compensar as vítimas provenientes de um uso inadequado dos recursos naturais.

Os sistemas de depósito-reembolso requerem um depósito monetário em forma de caução no momento da venda de um produto. Eles são um caso especial de taxa pigouviana em que, no final, uma parte da cobrança é devolvida como um reembolso quando um determinado comportamento (desejável) é adotado (Stavins, 2003). De acordo com USEPA (2001), nos Estados Unidos, os sistemas de depósito-reembolso têm sido amplamente aplicados para controlar a eliminação de baterias de chumbo-ácido, mas são também aplicados em alguns estados para produtos como latas de alumínio e vidro, latas de pesticidas e pneus.

Os sistemas de depósito-reembolso parecem ser mais adequados para partículas sólidas, por exemplo, recipientes de bebidas, baterias ou partes de carros que podem causar danos ambientais através da sua eliminação inadequada (USEPA, 2001). Todavia, alguns governos utilizam os sistemas de depósito-reembolso para substâncias fluidas, como poluentes do ar e da água (Stavins, 2003). De acordo com Numata (2005), um fator que limita a utilização generalizada de sistemas de depósito-reembolso são os seus custos de transação elevados. A devolução dos depósitos e dos produtos individuais, tais como recipientes de bebida, tende a ser caro, mas, deve-se considerar na análise a possibilidade de reuso dos materiais devolvidos.

O sistema de bônus por performance funciona no sentido inverso ao sistema de depósito-reembolso. Este sistema utiliza benefícios financeiros para os usuários que minimizam os riscos, ou incertezas, ao adotarem medidas de preservação durante a utilização dos recursos naturais. Por outro lado, a compensação por danos prevê o pagamento por parte dos usuários, quando algum dano é causado sobre os recursos naturais ou demais usuários.

2.5.4 Incentivos positivos

Os incentivos para ações positivas podem assumir muitas formas na política de gestão ambiental. Entre estas formas estão os subsídios, os empréstimos bonificados, tratamento fiscal favorável e compra por parte do Estado de produtos ambientalmente corretos, por exemplo, os produtos orgânicos (Panayotou, 1994). Um exemplo atual desta política econômica de mercado é a compra de madeira somente de empresas que façam o reflorestamento.

Neste tipo de incentivo é utilizado o Princípio de Protetor Receptor (PPR), no qual o agente público ou privado que protege um bem natural em benefício da comunidade deve receber uma compensação financeira como incentivo pelo serviço de proteção ambiental

prestado. O PPR incentiva economicamente quem protege o meio ambiente, deixando de utilizar seus recursos, estimulando assim a preservação.

Os incentivos positivos são utilizados para apoiar ações de prevenção e controle da poluição, a limpeza de locais contaminados, adoção de práticas agrícolas sustentáveis, o desenvolvimento de automóveis movidos por combustíveis alternativos e o tratamento do esgoto sanitário municipal, citando alguns exemplos. Contudo, os incentivos positivos são muito criticados (Stavins, 2003) pelas pessoas que entendem que os custos de prevenção e controle deveriam ser responsabilidade dos usuários dos recursos naturais. Além disso, na prática (USEPA, 2001), muitos incentivos positivos promovem ineficiência econômica e usos não sustentáveis dos recursos.

Apesar das críticas, os incentivos positivos possuem uma grande vantagem: aceitação pública. Com isso, geralmente, eles apresentam sucesso nos seus objetivos e são largamente utilizados em alguns países, como os EUA. O Quadro 2.6 apresenta os municípios americanos que utilizam benefícios positivos para os proprietários que controlam o escoamento proveniente de seus lotes. Estes créditos são adotados sobre a taxa cobrada pelo escoamento da água da chuva proveniente dos lotes.

Relacionado ao uso de incentivos positivos no Brasil, merece destaque a iniciativa da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (DOPOA, 2003), que conforme outros municípios do país (Mendiondo, 2005), adotou, a partir de 2003, o Imposto Predial e Territorial Urbano Ecológico, o IPTU-Ecológico. Este incentivo pressupõe que quem preserva determinada porção da sua propriedade, em benefício da coletividade, não deve ser penalizado com a continuidade do pagamento de impostos. Conforme Printes (2000), a idéia de conceder incentivos fiscais aos proprietários de terras que mantém áreas preservadas passou por diferentes estágios de discussão em Porto Alegre. Em 1995 havia uma proposta a esse respeito tramitando na Câmara Municipal. A proposta se baseava em alíquotas de descontos de até 30% sobre o IPTU de propriedades com áreas de relevante interesse ambiental.

Atualmente, o IPTU-Ecológico em Porto Alegre isenta o pagamento do imposto para áreas consideradas relevantes, desde que se mantenham preservadas de acordo com critérios estabelecidos pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM). O proprietário do imóvel ou seu representante legal deve requerer a SMAM o reconhecimento de interesse ambiental. Mas, até hoje, apenas duas áreas em Porto Alegre foram consideradas relevantes e seus proprietários receberam isenção do IPTU, uma área com 2.237 metros quadrados e outra

com 4.533 metros quadrados, ambas na Zona Sul do município. Este resultado demonstra que a ação não está alcançando seus objetivos.

Mendiondo (2007) *apud* Souza (2008) propõe o IPTU-Hidrológico, instrumento que inclui no cálculo do IPTU tradicional uma componente ambiental com base em variáveis hidráulicas e hidrológicas. Nesta proposta são inseridas variáveis como a impermeabilização dos terrenos, a vazão máxima instantânea e o armazenamento das águas da chuva no lote, diferentemente do IPTU-Ecológico que avalia a arborização. Souza (2008) e Medeiros e Casado (2009) utilizam o conceito para propor métodos diferenciados de determinação do IPTU-Hidrológico. Em ambas metodologias são avaliados os benefícios à drenagem urbana desenvolvidos pelos proprietários, por meio de manutenção de áreas permeáveis ou utilização de dispositivos de controle do escoamento pluvial nos lotes.

Quadro 2.6. Exemplos de benefícios positivos em forma de créditos para proprietários de municípios nos EUA que promovam o controle do escoamento pluvial em seus lotes (baseado em Doll *et al.*, 1999).

Município	Usuários	Base do crédito	Parâmetros da chuva	Crédito máximo	Crédito comum
Gainesville	Não residenciais	Volume de detenção	Tr 25 anos; Duração 24hs	100% da taxa cobrada pelo escoamento	15-35%
Orlando	Comércio e residências multifamiliares	Volume de detenção ou retenção	Não Definido (ND)	42%	42%
Wichita	Propriedades menores ou iguais a 50 ha	Volume de detenção ou retenção	1. Tr 100 anos; 2. Retenção completa	1. 40%; 2. 80%.	Normalmente não aplicado
Louisville-Jefferson County	Comércio	Vazão máxima	Tr 2, 10 e 100 anos; escoamento de pré-desenvolvimento	82%	Varia com o grau de controle
Saint Paul	Não residenciais	Vazão máxima	Tr 5 a 100 anos, limitado a 1.64 ft ³ /ac/s	10% (5 anos) e 25% (100 anos)	Varia com o grau de controle
Charlotte	Comércio, indústria, institucional, residências multifamiliares e associações	1. Vazão máxima; 2. Volume de escoamento anual; 3. Redução de carga de poluente anual	1. Tr 10 anos; Duração 6hs; 2. Tr 2 anos; Duração 6hs	1. 50%; 2. 25%.	Varia com o grau de controle
Durham	Não residenciais	Crédito pelo controle qualitativo e quantitativo	Padrões estaduais para o dimensionamento dos dispositivos; eficiência estimada para redução de poluentes	25%	Poucas aplicações
Cincinnati	Comércio	Volume de retenção	Escoamento limite de pré-desenvolvimento	50%	Crédito nunca usado
Tulsa	Usuários com dispositivos de controle em lote	Custos de manutenção dos dispositivos de controle	Não definido	60%	Varia com o grau de controle
Austin	Comércio	Volume de detenção	Não definido	50%	50%
Bellevue	Todas as propriedades	Volume de detenção; intensidade de desenvolvimento	Não definido	Redução de uma classe de taxa (intensidade de desenvolvimento)	Varia com o grau de controle
King County	Comércio	Custos de manutenção dos dispositivos de controle	Não definido	Redução de uma classe de taxa (intensidade de desenvolvimento)	Varia com o grau de controle
Indianapolis	Não residenciais	Descarga em curso d'água específico; Volume de detenção ou retenção, tamanho da bacia urbana	Tr 2, 10, 25, 50 e 100 anos	24% ≤ US\$ 50 35% ≤ US\$ 250	Proposta

3 O PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL DA DRENAGEM URBANA

Tucci (2002) traça um paralelo entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, de acordo com o estágio atual da gestão das águas no meio urbano. O autor relata que nos países desenvolvidos foram resolvidos os problemas quantitativos da drenagem urbana, principalmente por meio de medidas não estruturais, que obrigam a população a controlar na fonte (lotes urbanos) os impactos devido à urbanização, e o principal problema é o controle da poluição difusa devido às águas pluviais. Neste contexto, especialmente nos Estados Unidos, o planejamento urbano por LID é uma realidade sendo orientado por manuais municipais (por exemplo, PGDER, 1999a; *Portland Bureau of Environmental Services*, 2002, PSAT & WSU, 2005).

Enquanto isso, nos países em desenvolvimento, o controle quantitativo da drenagem urbana ainda é limitado e o estágio de controle da qualidade da água resultante da drenagem ainda está longe de ser atingido (Tucci, 2002). Neste sentido, reforça-se a necessidade de pesquisar meios de incentivar o uso de técnicas que objetivem a manutenção das características do ciclo hidrológico de pré-desenvolvimento, tal como o LID. Nos itens a seguir serão discutidos aspectos relacionados ao planejamento sustentável da drenagem urbana por meio da estratégia de LID.

3.1 Princípios de planejamento

NRDC (2004) enfatiza que as técnicas de LID atuam estimulando processos físicos, químicos e biológicos naturais, minimizando impactos ambientais e gastos com sistemas de tratamento. Esta abordagem promove ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos, por meio do controle da vazão máxima, do volume, da frequência, da duração e da qualidade do escoamento (Souza, 2005). Em geral a abordagem de LID promove (Marsalek, 2005):

a. total gerenciamento do ciclo da água urbana, com aproveitamento da água da chuva e reuso de outros efluentes, gestão integrada da água da chuva, água subterrânea e efluentes (águas servidas); e conservação da água, resultando na redução da sua demanda;

b. minimização dos impactos decorrentes do desenvolvimento por meio da preservação dos recursos/ecossistemas naturais e mantendo a drenagem natural, minimizando a limpeza e movimento da terra, reduzindo a impermeabilidade e controlando a expansão urbana;

c. mantém o balanço hídrico local de pré-desenvolvimento pela promoção da infiltração da água da chuva e evapotranspiração;

d. mantém, recriam ou aumentam o armazenamento por detenção e/ou retenção no local pelo uso de valas de infiltração, jardins de chuva, áreas de bio-retenção e barris ou cisternas de chuva;

e. mantém os tempos de concentração de pré-desenvolvimento e tempos de fluxo da água por rotas estratégicas de escoamento;

f. encorajam os próprios proprietários e os operadores dos sistemas de drenagem a usar medidas de controle quantitativo e a prevenção da poluição efetivas e realizar a manutenção das medidas de gestão.

Estes resultados são obtidos, pois, além das ações já citadas, o planejamento é local e personalizado, garantindo que cada pequena área auxilie na proteção de toda a bacia urbana. Para tanto são consideradas informações atuais de topografia, solo, hidrologia, vegetação e habitat, zoneamento, uso do solo, vias de acesso à área em estudo e proximidade a empresas de serviços públicos (por exemplo, hospitais e supermercados) (Sousa, 2005). Esta base de referência, que auxilia na identificação de áreas de preservação, solos mais permeáveis e vegetação de interesse especial, serve ao delineamento de metas e ao estabelecimento de indicadores a serem utilizados no monitoramento que subsidiará o planejamento urbano futuro. O meio ambiente em seu estado natural, isto é, estado não-perturbado por intervenção humana, normalmente serve de parâmetro para a determinação de metas ambientais demandando para isto de informações do passado da área estudada.

De acordo com Sousa (2005), o planejamento por LID busca a conservação qualitativa de processos hidrológicos ao minimizar e mitigar efeitos da ação antrópica. São desenvolvidas paisagens multifuncionais que considerem planejamento hidrológico, prevenção à poluição e preservação de recursos naturais. O autor argumenta que o diferencial da estratégia de LID encontra-se na integração com outros setores de interesse da sociedade. O planejamento da bacia e do empreendimento e a aplicação de práticas de manejo integrado (IMP – *Integrated Management Practices*) viabilizam a perturbação mínima de processos naturais e o provimento de amenidades à população. A Figura 3.1 sintetiza os elementos-chave do planejamento segundo a técnica de LID.

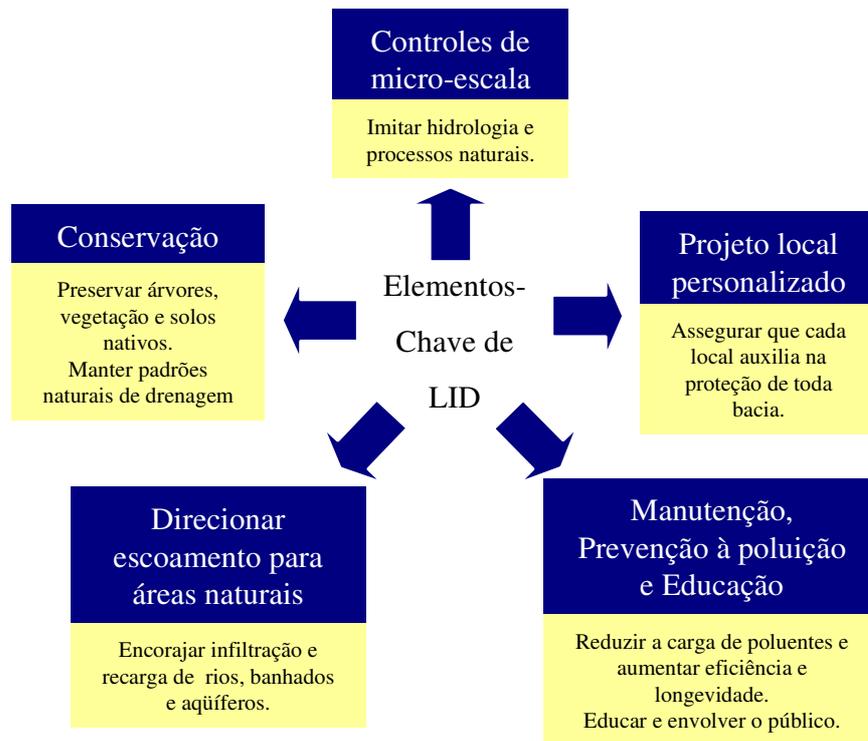


Figura 3.1. Elementos-chave do planejamento segundo a técnica de LID (Adaptado de Guillette, 2007a).

O planejamento de empreendimentos considera as diferentes áreas de interesse utilizando a hidrologia como estrutura integradora (PGDER, 1999a). LID recomenda o planejamento de sistemas de águas pluviais na fase inicial do projeto do empreendimento, por meio das seguintes etapas (PSAT & WSU, 2005):

- Identificação de regulamentações, como as de zoneamento e uso do solo, aplicáveis ao desenvolvimento (entenda-se desenvolvimento em sentido pleno, por exemplo, uma reforma de edificação pode ser um desenvolvimento no sentido sócio-ambiental);
- Identificação e estabelecimento dos limites de perturbação do solo e vegetação, respeitando áreas mínimas exigidas para ruas, elementos estruturais, edificações, paisagismo e manuseio de equipamentos;
- Minimização da movimentação de terra, pela orientação do maior eixo da edificação ao longo de contorno topográfico para reduzir nivelamento (corte e aterramento) do solo;
- Aproveitamento das características locais de solo e vegetação, lotando áreas impermeáveis e materiais de construção em solos menos permeáveis, preservando e utilizando solos permeáveis para infiltração em áreas com mais de um tipo de solo;
- Uso da drenagem/hidrologia como elemento de projeto, sugerindo localização ótima para áreas de construção, parques e áreas esportivas;

- Minimização de áreas impermeáveis efetivas (largura de vias, comprimento de acessos residenciais), isto é, que não são controladas ou drenadas para áreas permeáveis, e de fluxo superficial concentrado pela redução de estruturas de condução de águas (canos, sarjetas e meios-fios) e direcionamento para fluxo raso de superfície;

- Elaboração de planejamento integrado preliminar para avaliar a efetividade do empreendimento em controlar águas pluviais e produção de sedimentos, além de estimar a necessidade de adoção de práticas de manejo;

- Completar o planejamento pela seleção de dispositivos multifuncionais e, em último caso, adoção de técnicas de controle do escoamento pluvial como armazenadores artificiais, respeitando limitações locais de espaço físico, solo, declividade, nível do lençol freático/leito rochoso e proximidade a fundações de edificações.

3.2 Práticas e dispositivos de controle do escoamento pluvial empregados

Conforme discutido, LID utiliza práticas de manejo integrado (*Integrated Management Practices*, IMPs) que são ferramentas para o tratamento de qualidade e quantidade das águas pluviais, caracterizadas pelo emprego de vegetação para interceptar, evaporar, armazenar, absorver e infiltrar água, nutrientes e sedimentos. Assim, o diferencial entre IMPs e BMPs está no provimento de amenidades paisagísticas e no controle integrado do escoamento pluvial (ao harmonizar funções variadas em ambiente comum), havendo aproveitamento e incentivo a BMPs com estas características (como, pavimentos permeáveis e telhados verdes) passando aqui à denominação genérica IMP.

IMPs artificiais se limitam à reservação e ao aproveitamento de água (por exemplo, cisternas), e à adaptação de estruturas para mínima perturbação ao sistema de drenagem natural (por exemplo, pavimentos permeáveis, telhados e fundações verdes). Todos os dispositivos e técnicas podem ser aplicadas a novos desenvolvimentos e *retrofits* (termo utilizado no setor de construção para designar uma reforma). No entanto, em virtude de limitações ou restrições locais à aplicação de IMPs, BMPs podem ser necessárias para complementar o controle do escoamento pluvial, sendo aconselhável o emprego de estruturas de fácil manutenção e que providenciem benefícios extras, como espaço para recreação (por exemplo, jardins de chuva).

Múltiplas combinações de IMPs podem ser formuladas para controlar a drenagem em cada empreendimento, o que facilita a concepção de sistemas. Algumas precauções merecem ser tomadas, no entanto, para evitar que o desempenho, principalmente dos dispositivos que favorecem a infiltração, e o de estruturas adjacentes venham a ser comprometidas ou que a

saúde da população venha a ficar ameaçada pela ausência de cuidados quanto à qualidade da água a ser aproveitada. Assim, o dimensionamento de IMPs que estimulam a infiltração deve (a) guardar distância do mais alto nível sazonal do lençol freático, (b) evitar que contaminantes sem tratamento sejam diretamente lançados e (c) preservar estruturas enterradas, por exemplo, fundações.

O dimensionamento de estruturas de coleta de água de chuva deve considerar a potencial má qualidade da água relacionada (a) à primeira parcela de escoamento de telhados e pavimentos (água de lavagem) e (b) à proximidade de região com densa urbanização e/ou industrialização. O Quadro 3.1 apresenta as práticas ou dispositivos de LID mais utilizadas e seus benefícios associados. Já o Quadro 3.2 mostra as restrições para aplicação das IMPs, com os fatores que devem ser observados para a seleção dos dispositivos. Desconectar áreas impermeáveis é uma componente fundamental da abordagem de LID. Telhados, calçadas e demais superfícies impermeáveis são desconectados umas das outras para permitir a distribuição mais uniforme de escoamento superficial em áreas permeáveis. As áreas permeáveis utilizadas para a desconexão são as bio-retenções, os jardins de chuva, áreas gramadas, trincheiras de infiltração e demais dispositivos de infiltração. A seguir, apresenta-se uma descrição breve de IMPs, havendo maior detalhamento quanto a dimensionamento, desempenho, instalação, custo e manutenção nos manuais elaborados para a região de *Puget Sound* (PSAT & WSU, 2005) e pelo Centro de LID (LID Center, 2005) e no trabalho de Souza (2005).

Quadro 3.1. Práticas e dispositivos de LID e seus benefícios hidrológicos (Guillette, 2007b).

Prática ou dispositivo de LID	Controle da vazão máxima	Redução do volume escoado	Melhoria da qualidade da água	Conservação da água para posterior aproveitamento
Bio-retenção e Jardim de chuva	•	•	•	
Cisterna e Barril de chuva	•	•		•
Desconexões de áreas impermeáveis	•	•	•	
Telhado verde	•		•	
Trincheira, valos e poços de infiltração	•	•	•	
Pavimento permeável	•	•	•	

Quadro 3.2. Restrições para aplicação de IMPS (PGDER, 1999a).

Restrição\Dispositivo	Bio-retenção	Poço de infiltração	Valos: Gramados, Infiltração, Molhados	Microrreservatório ou Barris de Chuva	Trincheira de Infiltração
Espaço Requerido	Alcance de área superficial mínima: 4,7 a 18,6 m ² Largura mínima: 1,5 a 3,0 m Comprimento mínimo: 3,0 a 6,0 m Profundidade mínima: 0,6 to 1,2 m	Alcance de área superficial mínima: 0,8 a 1,9 m ² Largura mínima: 0,6 a 1,2 m Comprimento mínimo: 1,2 a 2,4 m Profundidade mínima: 1,2 a 2,4 m	Largura da base: Mínimo = 0,6 m, Máximo = 1,8 m	Não influencia	Alcance de área superficial mínima: 0,8 a 1,9 m ² Largura mínima: 0,6 a 1,2 m Comprimento mínimo: 1,2 a 2,4 m
Solos	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 0,69 cm/hora são recomendados. Limitação de solos pode ser superada com uso de drenos subterrâneos	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 0,69 cm/hora são recomendados	Solos permeáveis providenciam melhor desempenho hidrológico, mas solo não é um limitante. Seleção do tipo de valo é influenciada pelo solo.	Não influencia	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 1,32 cm/hora são recomendados
Declividades	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto.	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada abaixo do gradiente de edificações e fundações	Declividade lateral do valo: 3:1 ou mais aplainada Declividade longitudinal: mínima = 1.0%; máxima baseada em velocidades permissíveis.	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto para localização de saída de barris.	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada abaixo do gradiente de edificações e fundações
Lençol Freático/Leito rochoso	0,6 a 1,2 m livres acima do lençol freático/leito rochoso é recomendado	0,6 a 1,2 m livres acima do lençol freático/leito rochoso é recomendado	Geralmente não é uma restrição	Geralmente não é uma restrição	0,6 a 1,2 m livres
Proximidade a fundações de edificações	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Não influencia	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada
Profundidade Máxima	Profundidade de 0,6 a 1,2 m dependendo do tipo de solo	Profundidade de 1,8 to 3 m dependendo do tipo de solo	Não aplicável	Não aplicável	Profundidade de 1,8 a 3 m dependendo do tipo de solo
Manutenção	Baixo requerimento, proprietário pode incluir na manutenção paisagística local	Baixo requerimento	Baixo requerimento, manutenção paisagística rotineira	Baixo requerimento	Moderada a alta

Bio-retenção e Jardins de chuva

O conceito de bio-retenção foi desenvolvido originalmente no condado de *Prince George*, Maryland - EUA, no início da década de 1990. Este dispositivo é a principal ferramenta de aplicação da abordagem de planejamento por LID. O termo bio-retenção foi criado para descrever uma prática integrada de gerenciamento da água da chuva, que consiste de uma depressão rasa com solo preparado para o plantio de uma diversidade de espécies, dimensionada para receber o escoamento de uma pequena área.

O preparo do solo é realizado pelo método de compostagem, no qual são inseridos, para reciclagem, resíduos de comida, jardinagem, cultivo agrícola, atividades construtivas (entulhos) como também os resíduos do tratamento de efluentes, o lodo. Estas alterações no solo aumentam a infiltração e o armazenamento da água da chuva com objetivo de reduzir o escoamento. Além disso, o composto formado pelos materiais orgânicos modifica as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo melhorando o crescimento das plantas. Ao mesmo tempo, pode ser realizada a aeração do solo, por meio de uma roçadeira, com objetivo de aumentar o armazenamento, a infiltração e a capacidade de filtragem dos poluentes, proporcionando, também, a redução da erosão. Estas ações são implementadas, pois, (PSAT & WSU, 2005) as práticas paisagísticas usuais não encorajam a preparação adequada de áreas de plantio para readquirir benefícios hidrológicos do solo nativo. Como resultado, solos em áreas paisagísticas podem gerar escoamento de forma similar às áreas impermeáveis.

Assim, a bio-retenção atua hidrológicamente retendo um determinado volume de água e infiltrando parte pelo fundo e pelas paredes laterais, de acordo com as suas dimensões e características locais de solo (PGDER, 2001). A Figura 3.2a apresenta a configuração usual deste dispositivo, em formato de célula ou de valo, nas quais as plantas, o solo e os micróbios realizam processos físicos, químicos e biológicos removendo poluentes e controlando as águas pluviais. O emprego de uma faixa de vegetação no entorno deste dispositivo é aconselhado para a retenção de sedimentos (PSAT & WSU, 2005).

Segundo PSAT & WSU (2005) a bio-retenção tem mostrado que é muito eficiente na remoção de metais pesados, como cobre, chumbo e zinco, bem como compostos orgânicos, tais como fósforo e amônia (diminuindo em 60% a 80%). Também ocorre uma acentuada diminuição na poluição térmica, uma forma de poluição muitas vezes esquecida quando se avaliam os impactos da urbanização. É importante enfatizar que a capacidade da bio-retenção de tratar diferentes tipos e graus de cargas poluentes pode ser alterada, utilizando diferentes

dimensões e configurações da mesma, por meio do aumento do tempo de residência no interior do dispositivo e com diferentes processos biológicos, químicos e físicos. Por exemplo, adicionar uma zona anaeróbia irá promover o crescimento de bactérias desnitrificadores, que volatilizarão os nitratos (LID Center, 2005). Esta concepção pode ser facilmente incorporada em um local onde é de conhecimento que existe um aporte de nitrato pelo escoamento.

Um jardim de chuva não possui a configuração completa da bio-retenção, tal como o solo preparado. Entretanto, alguns autores denominam os jardins como sendo bio-retenções. Eles são jardins normais que contém plantas, de preferência espécies nativas, e recebem a contribuição do escoamento de áreas impermeáveis adjacentes. Os dispositivos proporcionam um baixo custo de manutenção e atribuem à propriedade um aspecto paisagístico atraente (Figura 3.2b).



Figura 3.2. Exemplo de bio-retenção (a) e jardim de chuva (b) (Lakesuperiorstreams, 2005)

Ambos os dispositivos, as bio-retenções e os jardins de chuva, podem ser utilizados em estacionamentos, bordas de áreas pavimentadas (estradas ou parques), em edifícios e espaços abertos e podem ser aplicados a novos projetos ou em reformas. A manutenção de rotina é necessária sendo desenvolvida como parte de um programa regular de paisagismo (ou seja, avaliação semestral de árvores e arbustos, com poda regular). Contudo, a utilização de plantas nativas diminui a necessidade de fertilizantes, pesticidas e excesso de água, reduzindo a necessidade de manutenção.

Souza (2005) simulou hidrológicamente o uso de bio-retenções para controlar o volume do escoamento para as condições naturais. O autor enfatiza que além do benefício paisagístico direto da preservação de áreas verdes, existem benefícios hidrológicos e financeiros indiretos com o uso da bio-retenção, como potencial melhoria de qualidade de vida e elevação do valor de mercado do empreendimento, em virtude do apelo à preservação

ambiental. Além disso, acontece o controle de qualidade da água, inerente ao armazenamento da primeira parcela de chuva pelas bio-retenções,

Telhados verdes

O telhado verde consiste na aplicação e uso de vegetação sobre a cobertura de edificações com impermeabilização e drenagem adequadas. Ele proporciona melhorias nas condições de conforto termo-acústico e no paisagismo das edificações, reduzindo a poluição ambiental comum em grandes centros urbanos. Do ponto de vista hidrológico, o telhado verde funciona armazenando, retendo e filtrando a água da chuva no complexo solo-planta formado, proporcionando a redução dos volumes, aumento do tempo de escoamento e melhoria da qualidade da água.

Dentre outras vantagens apresentadas por estes dispositivos, constam (PSAT & WSU, 2005) a melhoria de eficiência energética, da qualidade do ar (retenção de até 85% da poeira; PGDER, 1999b) e da estética, redução de temperatura e barulho no interior das residências e aumento da vida útil do telhado. A diversidade de opções de configuração de telhados verdes facilita a sua implantação em proporções crescentes (em 2003, 13,5 milhões de m² foram instalados na Alemanha; PSAT & WSU, 2005), podendo classificá-los em duas categorias: leves (Figura 3.3a) e pesados (Figura 3.3b).

Telhados pesados são dimensionados com perfil de solo profundo (≥ 15 cm), possibilitando o plantio de arbustos e árvores. Telhados leves são mais comumente empregados, contendo perfis de solo rasos (2,5 a 12,5 cm) e plantas adaptadas às condições de telhados. Com carga variando de 75 a 250 kg/m² para perfis de solo de 2,5 a 12,5 cm, os telhados leves têm sido instalados em reformas nos EUA com pouco ou nenhum reforço estrutural, mostrando ser o de 7,5 cm mais vantajoso numa avaliação custo-benefício ambiental e estética (PSAT & WSU, 2005). Do ponto de vista hidrológico, quanto maior a espessura do telhado maior o armazenamento do escoamento gerado.



(a)



(b)

Figura 3.3. Exemplo de telhado verde leve (a) e pesado (b) (IDHEA, 2008).

O estudo de Cunha e Mendiondo (2004) indica que se pode chegar ao controle de 14 mm de chuva. Neste estudo os autores utilizaram uma cobertura verde leve composta de uma camada de grama, de substrato, de geomanta e de impermeabilizante que totalizaram 9 cm de espessura. Castro e Goldenfum (2007) utilizaram em seu experimento coberturas verdes fornecidos por uma empresa privada de Porto Alegre, com 6 cm de espessura, separados em módulos horizontais (terraços) e inclinados (telhados). Os resultados preliminares apontam que os telhados e os terraços com cobertura vegetal têm uma redução no escoamento superficial de até 97,5 e 100% respectivamente nas primeiras 3 horas após o início da chuva. Já 6 horas após o início da chuva, a redução no escoamento superficial diminui para uma taxa de 70 a 100% no terraço e de 26,6 a 100% no telhado, dependendo do evento de chuva.

Com relação aos custos, Cunha e Mendiondo (2004) encontraram um valor de R\$ 37,73, que corrigidos para a presente data fica em R\$ 51,64. Os representantes da empresa de Porto Alegre (Castro e Goldenfum, 2007) indicam um custo de aproximadamente R\$ 80 por metro quadrado para o seu produto, que é formado por substrato rígido, um substrato leve e as plantas (gramas suculentas).

Pavimentos permeáveis

Dois terços das superfícies impermeáveis nas áreas urbanas são desenvolvidos sob a forma de pavimentação, relacionados com a utilização de automóveis (Lakesuperiorstreams, 2005). Assim, qualquer projeto que utiliza alternativas aos pavimentos tradicionais é um passo positivo no sentido da melhoria quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. Os pavimentos permeáveis podem ser utilizados em áreas de tráfego de

pedestres, ciclistas e veículos leves, por exemplo, calçadas, estacionamentos, vias residenciais e internas a empreendimentos e leitos não carroçáveis de ruas, estradas ou rodovias.

O pavimento permeável (Figura 3.4) é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (Urbonas e Stahre, 1993). Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas reservatório. Esta denominação refere-se às funções realizadas pela matriz porosa de que são constituídos, que assegura, pela porosidade dos materiais, reter temporariamente as águas, seguido pela drenagem, e, se possível, por infiltração no solo de subleito.

Os pavimentos permeáveis, segundo Araújo (1999), são classificados em três tipos: pavimento de asfalto poroso, de concreto poroso e de blocos de concreto perfurado preenchido com areia ou grama. O pavimento poroso tem a camada de revestimento executada de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da fração de areia fina da mistura dos agregados do pavimento. A sua eficiência na redução do escoamento superficial depende, diretamente, de cuidados na manutenção que evite a colmatagem do solo (Tassi, 2002). Neste sentido, recomendando-se apenas o controle do escoamento pluvial local, para que o aporte de sedimentos de outras áreas não venha a colmatar o pavimento. No estudo com asfalto poroso e bloco vazado em Porto Alegre (Acioli, 2005) se comprovou a eficiência hidráulica (coeficiente de escoamento de 5% e 2,3%, respectivamente) dos pavimentos permeáveis.

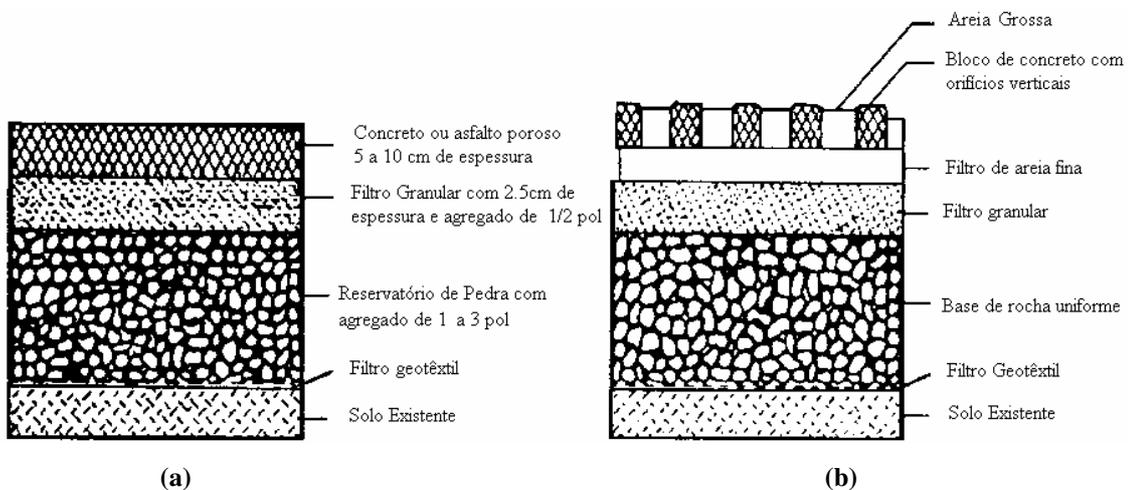


Figura 3.4. Seção de pavimento poroso de concreto ou asfalto (a) e bloco vazado (b) (Acioli, 2005).

Coletores de água da chuva: microrreservatórios, cisternas e barril de chuva

Os coletores de água de chuva (microrreservatórios, cisternas e barris de chuva) são colocados fora da residência para coletar e armazenar o escoamento proveniente dos telhados para posterior utilização não potável, ou seja, usos em que a água não precise atender à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. Conforme ABNT (2007), estes usos são em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

A ABNT (2007) indica alguns métodos de dimensionamento do volume dos reservatórios para a coleta da água da chuva, podendo ser utilizado outro método, desde que justificado. Para eventos com volume superior ao volume de espera das cisternas e dos barris de chuva, estes dispositivos perdem efeito prático para o controle do escoamento pluvial quando sua capacidade máxima de armazenamento é atingida.



(a)



(b)

Figura 3.5. Cisterna (a) (PGDER, 1999a) e Barril de chuva (b) (Lakesuperiorstreams, 2005).

Assim, para os propósitos do LID, os coletores de água da chuva desempenham dois propósitos: a conservação da água para posterior utilização e, sobretudo, a eliminação ou redução da contribuição de escoamento a partir de telhados. Essa prática é particularmente aplicável em áreas com média ou alta densidade populacional, onde os telhados são os principais responsáveis pela geração do escoamento, ou de forma semelhante às estradas, rodovias e calçadas. Os barris de chuva têm mais vantagens que as cisternas, pois ocupam pouco espaço, são baratos e mais fáceis de instalar.

Tassi (2002) simulou o uso de microrreservatórios em lotes de 300 e 600 m² com objetivo de avaliar o controle hidrológico na macrodrenagem. A autora dimensionou os microrreservatórios para várias combinações de tempos de retorno e vazões de descarga. A pesquisa demonstrou que foi possível obter níveis de eficiência na bacia na ordem de 50 a 70%, de acordo com a vazão na saída dos lotes, e verificou-se que ao fixar até 3 vezes a vazão de pré-urbanização na saída do lote é possível obter uma eficiência da mesma ordem daquela obtida ao controlar a vazão de pré-urbanização. A vantagem obtida ao permitir maiores vazões na saída dos lotes é o aumento do diâmetro do descarregador de fundo, que para as vazões menores resultaram muito pequenos, e possivelmente inviáveis em uma situação real (Tassi, 2002).

Trincheira, valos e poços de infiltração

Os dispositivos de infiltração, trincheira, valos e poços, possuem o mesmo princípio de funcionamento: são estruturas que objetivam devolver à área urbana a capacidade de infiltração e percolação, perdidas pela impermeabilização. Os dispositivos são dimensionados para armazenar a água por um tempo suficiente para sua posterior infiltração no solo. O funcionamento é semelhante ao pavimento poroso que foi apresentado em separado, pois o mesmo também possui uma função mecânica, associada ao termo estrutura, que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos (Acioli, 2005).

As estruturas de infiltração podem ser projetadas de forma a serem “invisíveis” no arranjo urbanístico (Agra, 2001), permitindo uma boa integração com o espaço urbano e implantadas em praças, parques, ao longo de calçadas e ruas. Assim como o pavimento permeável deve-se ter cuidado com a colmatação das estruturas, por isso os sedimentos são a maior restrição para seu uso. Normalmente, é preciso dispor uma estrutura a montante do dispositivo de infiltração que remova ou impeça o aporte de sedimentos.

A colmatação de uma estrutura de infiltração é causada pela deposição de partículas de solo nos vazios do meio poroso. As partículas maiores acumulam-se na superfície ou nos primeiros centímetros das camadas superficiais; as partículas mais finas penetram mais profundamente no solo. A colmatação se desenvolve por processos físicos, pela acumulação de material, e biológicos, que ocorre devido ao desenvolvimento de algas e de bactérias conduzindo a uma diminuição da condutividade hidráulica do solo, e conseqüentemente, a uma diminuição da capacidade de infiltração das estruturas (Souza, 2002). Por outro lado, a colmatação contribui para a retenção dos poluentes (Baptista *et al.*, 2005). O meio poroso

colmatado fica com vazios menores, tornando a infiltração mecânica mais eficaz. A redução da vida útil das estruturas é muito ligada à sua colmatagem. Em longo prazo, a infiltração das águas pluviais via dispositivo de infiltração pode tornar-se nula.

As trincheiras de infiltração (Figura 3.6) são dispositivos lineares, com comprimento extenso em relação à largura e a profundidade. São estruturas constituídas por valetas preenchidas por material granular (seixo, brita ou outro). Um filtro geotêxtil é colocado envolvendo o material de enchimento, com objetivo de evitar a colmatagem da estrutura, podendo ainda funcionar como filtro anticontaminante (Souza, 2002). Os poços de infiltração (Figura 3.7) são semelhantes às trincheiras de infiltração, sendo que estes não são lineares e, sim, pontuais e verticais, possibilitando a infiltração na direção vertical. Sendo assim, os poços se adequam muito bem ao contexto urbano, pois ocupam pouco espaço.

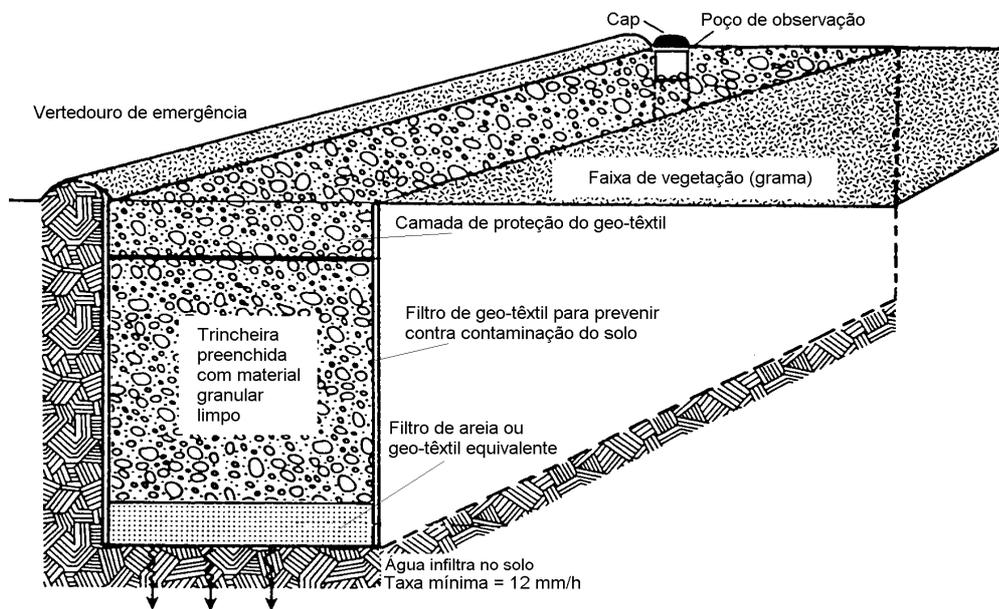


Figura 3.6. Típica trincheira de infiltração (Souza, 2002).

Alguns dispositivos auxiliares para o controle de material em suspensão (Souza, 2002) podem ser empregados: (i) deixar uma faixa gramada entre o ponto de contribuição e a trincheira, fazendo a desconexão de áreas impermeáveis; ou (ii) a instalação de caixas de areias e telas para a separação de material sólido. As recomendações de manutenção das trincheiras são (Souza, 2002): (i) limpeza dos dispositivos auxiliares para o controle de material em suspensão; (ii) substituição da camada superior, inclusive o geotêxtil, em caso de colmatagem crônica da primeira camada; e (iii) remoção da vegetação.

As valas de infiltração constituem um sistema de condução, formado por depressões lineares, gramadas ou com solo nu, funcionando como um canal, promovendo uma desaceleração do escoamento e possibilitando a infiltração da água (Schueler *et al.*, 1992 apud Agra, 2001). Com efeito paisagístico interessante, as valas de infiltração podem ser bem integradas no espaço urbano, todavia, apresentam a desvantagem de ocuparem áreas relativamente grandes (Figura 3.8).

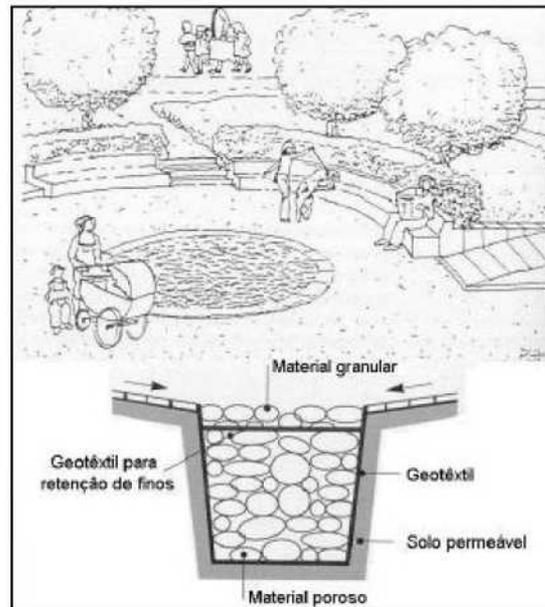


Figura 3.7. Integração de poço de infiltração no ambiente urbano (Souza, 2002).

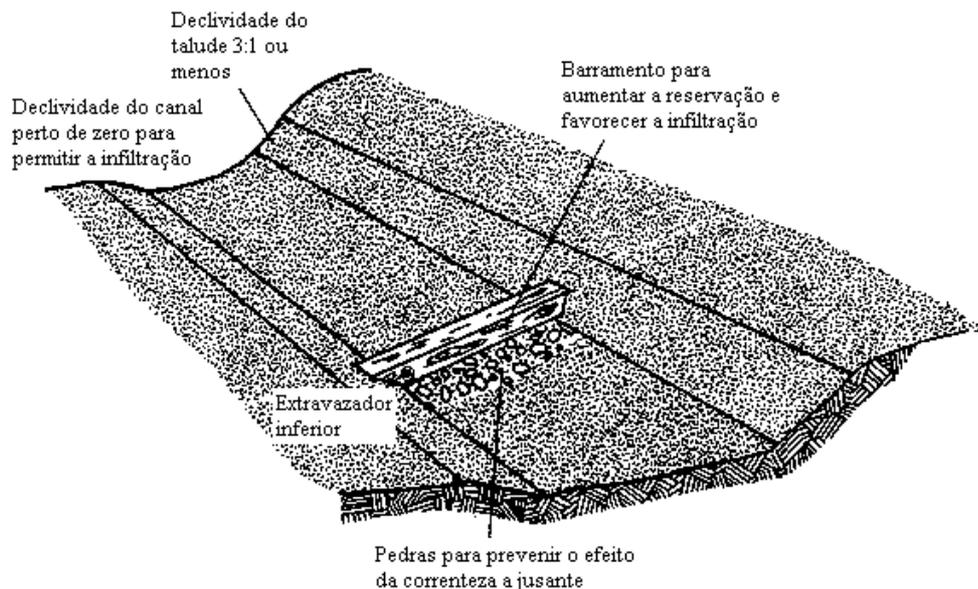


Figura 3.8. Vala de infiltração.

Uma importante função dos dispositivos de infiltração apresentados é a de promover o tratamento do escoamento pela infiltração no solo. Para isso, é necessário que a taxa de

infiltração não seja muito elevada, possibilitando a filtragem e remoção dos poluentes. Contudo, a carga de poluição não pode ser elevada, pois os dispositivos não possuem capacidade para tratar escoamentos muito poluídos, que devem ser desviados para conveniente tratamento (Agra, 2001).

3.3 Dimensionamento e simulação dos dispositivos de controle do escoamento pluvial

De acordo com Baptista *et al.* (2005) os métodos utilizados para dimensionamento dos dispositivos de armazenamento ou infiltração diferem uns dos outros em função de seus objetivos e complexidades. Os autores indicam que geralmente dois grandes grupos de métodos são utilizados: os métodos simplificados, abrangendo o método dos volumes e o método das chuvas (também conhecido como método da curva envelope), e os métodos fundados em modelos conceituais, como o método de Puls. O Quadro 3.3 apresenta as características destes métodos.

Os métodos simplificados possibilitam efetuar o dimensionamento dos volumes dos dispositivos de controle do escoamento pluvial para pequenas áreas de contribuição. Isso ocorre pois os métodos são baseados em duas hipóteses (Baptista *et al.*, 2005): (i) transferência instantânea da chuva à estrutura; e (ii) vazão de saída da estrutura constante. Logo, os fenômenos de transferência e de amortecimento decorrentes do escoamento superficial na bacia de contribuição são desconsiderados.

O método da curva envelope ou método das chuvas é um método clássico muito utilizado no dimensionamento de bacias de detenção, recomendado por Urbonas e Stahre (1993). Por esse método a curva de massa, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo é comparada com a curva de massa dos volumes dele efluentes, e a máxima diferença entre as duas curvas é o volume de dimensionamento (Silveira e Goldenfum, 2007). Usando a equação da continuidade concentrada na forma integral, o volume de controle pode ser determinado como sendo a máxima diferença entre as curvas de volumes acumulados de entrada e de saída no dispositivo. Admitindo que os hidrogramas sejam triangulares (Figura 3.9), como propõe o método racional, o volume de detenção pode ser dado por:

$$V = (I - Q) \cdot t \quad \text{Equação 3.1}$$

Sendo, V é o volume de detenção (m³); I é a vazão de pico do hidrograma de entrada (m³/s); Q é a vazão de pico do hidrograma de saída (m³/s) e t o tempo de concentração (s).

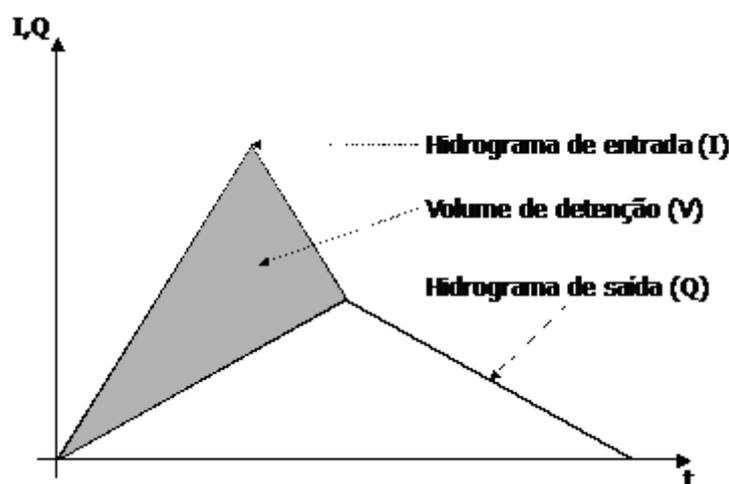


Figura 3.9. Hidrogramas de entrada e saída em um dispositivo de controle do escoamento pluvial (Agra, 2001).

Quadro 3.3. Condições de utilização, vantagens e desvantagens dos métodos de dimensionamento (Baptista *et al.*, 2005).

Método	Condição de utilização	Dados necessários	Vantagens e inconvenientes
Método das chuvas ou da curva envelope	Fornece: volume máximo de armazenamento; estimativa dos tempos de descarga e de funcionamento. Permite: dimensionamento de estruturas individuais ou a associação de estruturas.	Vazão de saída constante; coeficiente de contribuição constante; transferência instantânea da chuva à estrutura; necessita de curvas idf ou pdf relativamente longas.	Facilidade de utilização; geralmente subestima volumes em relação ao método de volumes para a mesma série de dados de entrada.
Método dos volumes	Fornece: volume máximo de armazenamento; estimativa do tempo de descarga. Permite: dimensionamento de estruturas individuais.	Vazão de saída constante; coeficiente de contribuição constante; transferência instantânea da chuva à estrutura; necessita de dados pluviométricos de longa duração.	Facilidade de utilização; geralmente fornece volumes mais corretos que o método das chuvas para a mesma série de dados de entrada; dificilmente utilizável para associação de estruturas.
Método de Puls	Fornece: hidrogramas de saída das estruturas; evolução dos volumes e alturas de água nas estruturas; volume máximo de armazenamento e tempo de descarga. Permite: planejamento; diagnóstico de uma estrutura existente; dimensionamento de estruturas individuais ou a associação de estruturas.	Vazão de saída variável; necessita de hidrograma de entrada; necessita de chuvas de projeto ou chuvas históricas.	Adaptado a uma ampla gama de problemas; permite a simulação da dinâmica de enchimento de estruturas; dificuldade para a modelagem de estruturas não controladas por dispositivos específicos (por exemplo, infiltração); dificuldade para escolha da chuva de projeto representativa.

Silveira e Goldenfum (2007) desenvolveram uma metodologia de pré-dimensionamento de dispositivos de controle do escoamento pluvial baseada no método da curva envelope. O método permite o dimensionamento de qualquer dispositivo de controle com algum volume de armazenamento (pavimento permeável, trincheira de infiltração, vala de infiltração, poço de infiltração, microrreservatório estanque, microrreservatório infiltrante,

bacia de detenção, bacia de infiltração e bacia de retenção). Contudo, conforme enfatizam os autores, não se pode esquecer que devem superpor-se outras exigências, como as requeridas, por exemplo, pelo dimensionamento estrutural dos pavimentos permeáveis. Assim, a construção dos dispositivos deve ser precedida de um julgamento adequado por parte de um projetista e/ou executor. O Anexo 1 descreve a formulação proposta por Silveira e Goldenfum (2007) que será utilizada na presente pesquisa.

Os métodos de simulação do processo de transformação chuva-vazão são diversos. A seleção do modelo adequado depende do nível de detalhamento e rigor requeridos para a aplicação e da quantidade de dados disponíveis para preparar e testar os resultados (PGDER, 1999a). Atualmente, muitos modelos já trazem inclusas técnicas de dimensionamento dos dispositivos de controle do escoamento pluvial. Elliott e Trowsdale (2007) identificaram aproximadamente 40 modelos publicados em revistas especializadas, internet e anais de eventos científicos para a simulação de sistemas de drenagem. Os autores selecionaram 10 destes modelos dentre os mais utilizados e que apresentavam documentação suficiente para a aplicação.

Os modelos foram (Elliott e Trowsdale, 2007): MOUSE, MUSIC, P8-UCM, PURRS, RUNQUAL, SLAMM, STORMTAC, SWMM, UVQ, WBM, que foram comparados em relação a atributos relevantes ao planejamento com LID. Todos os modelos são baseados em métodos convencionais para a geração e propagação do escoamento e muitos incluem a infiltração, mas, apenas metade deles possuem o componente de escoamento de base ou da água subterrânea. Os modelos também usam métodos convencionais para a geração de contaminantes e tratamento, considerando os principais processos de decaimento das concentrações de poluentes. Além disso, muitos modelos são capazes de simular os dispositivos de forma distribuída nos lotes urbanos, com uma excelente resolução temporal e simulação contínua, porém, obviamente, existe a necessidade de detalhar muito bem a escala temporal e espacial.

De acordo com Elliott e Trowsdale (2007), apesar dos progressos nos modelos, existem muitos aspectos que podem avançar. Notadamente: a quantidade de contaminantes analisada; a representação do transporte de contaminantes em rios e dentro de dispositivos; componentes do fluxo de base e o escoamento profundo em superfícies permeáveis; a ligação com o habitat e os modelos de toxicidade; e a ligação com calibração automática e com modelos de predição de incertezas.

Souza (2005) realizou simulações hidrológicas de condomínios hipotéticos em Porto Alegre, compostos por lotes residenciais, dimensionados sob os sistemas de drenagem higienista, compensatório e LID. O autor simulou o uso de bio-retenções, trincheiras de infiltração e desconexão de áreas impermeáveis nos lotes, para o caso do LID, e reservatórios de retenção na microdrenagem, para o sistema compensatório. A avaliação de hidrogramas resultantes de cada condomínio foi o método selecionado para tentar determinar qual destes melhor responde aos anseios de manter as condições hidrológicas naturais. Souza (2005) também avaliou o comportamento à saída de cada lote individualmente. O modelo hidrológico utilizado foi o IPHS1, com aplicação dos métodos do antigo *Soil Conservation Service* (SCS, atual NRCS – *Natural Resources Conservation Service*) para separar o escoamento e propagar a vazão pelo Hidrograma Unitário Triangular. O autor realizou avaliações financeiras, apresentando LID vantagens tanto para instalação (redução de custos de 23% e 30,5% em comparação com a ausência de controle do escoamento pluvial no condomínio e o emprego de reservatório de retenção, respectivamente) como para manutenção e operação (redução de 65% dos custos). Contudo, o autor argumenta que estes dados seriam apenas indícios dos possíveis resultados do emprego desta tecnologia, por não ter sido levado em conta: o emprego de telhados-verdes; a manutenção de alguns dispositivos de condução de águas pluviais para os casos sem controle no condomínio e com controle do escoamento pluvial por reservatórios de retenção.

Freni e Olivieri (2005) analisaram, utilizando o modelo SWMM na bacia de Mondello-Itália, algumas ações para a minimização da inundação (desconexão de áreas impermeáveis para áreas gramadas, estruturas de retenção, estruturas de retenção e estruturas de infiltração). Os autores concluíram que a desconexão de áreas impermeáveis, ou seja, encaminhar o escoamento das áreas impermeáveis para estruturas permeáveis, é a medida que apresenta o menor custo e mais eficaz para a redução da inundação. Existem vários outros trabalhos que simularam sistemas de drenagem com o uso de modelos. A escolha do modelo passa pela capacidade de representar o objetivo de modelagem do estudo. Além disso, para a escolha devem ser consideradas as informações disponíveis e a familiaridade do pesquisador com o modelo (Tucci, 1998).

3.4 Análise econômica de sistemas de drenagem urbana

A análise econômica é fundamental para a concepção de um projeto de drenagem urbana. Em geral, os custos de ações de controle do escoamento pluvial são diretamente

proporcionais à distância da fonte de geração dos impactos hidrológicos (Figura 3.10). Os projetos de controle do escoamento pluvial na fonte, que priorizam a minimização das alterações do uso do solo e a mitigação dos efeitos por meio de ações não estruturais ou dispositivos verdes, apresentam menores custos quando comparados com grandes estruturas de controle. Isso ocorre por dois motivos principais: (i) o primeiro é que ao manter uma área preservada os impactos já são menores; e (ii) o segundo é que ao usar um dispositivo verde naturalmente os processos de controle do escoamento físicos (por exemplo, a interceptação vegetal), químicos (por exemplo, compostos existentes no solo e que auxiliam na coagulação e floculação de poluentes) e biológicos (por exemplo, microorganismos que auxiliam na decomposição da matéria orgânica) são mantidos, sem a necessidade da inserção de compostos ou uma intervenção estrutural.

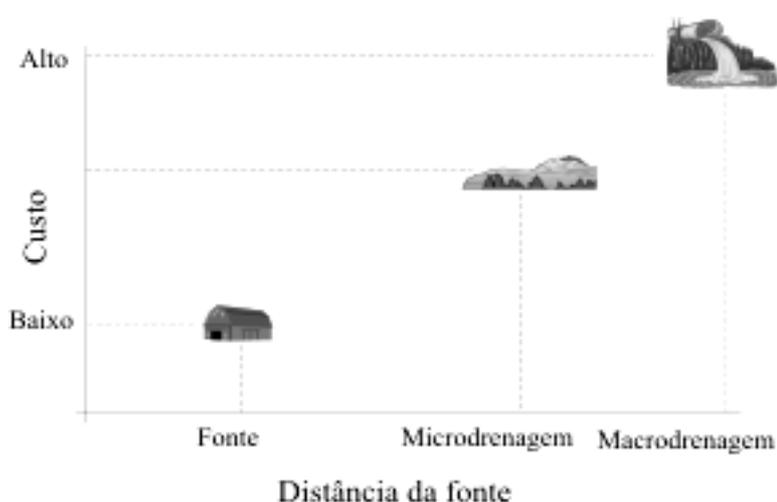


Figura 3.10. Custo do controle do escoamento pluvial com relação à distância da fonte (PGDER, 1999a apud Souza, 2005).

De modo geral, a análise econômica é baseada no confronto dos benefícios totais com os custos totais envolvidos no desenvolvimento dos projetos. A decisão de implementar um determinado projeto, dentre projetos alternativos, deve ser necessariamente baseada em função de critérios de viabilidade econômica. Os três indicadores econômicos mais utilizados para seleção de projetos são (Carrera-Fernandez e Garrido, 2003): (i) valor presente líquido (VPL); (ii) relação benefício-custo (B/C); e (iii) taxa interna de retorno (TIR).

O VPL é o valor presente da diferença entre o fluxo de benefícios e custos, descontado a uma taxa apropriada, i , refletindo o verdadeiro custo de oportunidade para o investidor (Equação 3.2). Segundo Carrera-Fernandez e Garrido (2003) o VPL é um critério rigoroso e isento de falhas técnicas. Um projeto é economicamente viável se o VPL for positivo e

inviável quando negativo. Para a decisão entre projetos alternativos, quanto maior o VPL, tanto melhor será o projeto.

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad \text{Equação 3.2}$$

Sendo B_t os benefícios do projeto no tempo t , C_t os custos no período t , que deve incluir despesas de capital, mão-de-obra, insumos, energia, transporte, bem como manutenção e reparos, e t é o horizonte de projeto.

A relação benefício/custo é definida pelo quociente entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, descontados à taxa i (custo de oportunidade do capital, também conhecido como taxa mínima de atratividade – TMA):

$$B/C = \frac{\left[\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+i)^t} \right]}{\left[\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+i)^t} \right]} \quad \text{Equação 3.3}$$

A TMA é uma taxa de juros, utilizada em avaliações que consideram a variação do capital no tempo, estabelecida a partir do valor máximo arbitrado pelo investidor, para remunerar o custo do capital. A TMA, conforme Westphal e Lamberts (1999), corresponde à taxa paga pelo mercado financeiro em investimentos correntes como poupança, fundos de investimentos e outros, mais um percentual devido ao risco. Por definição, o investidor optará pelo investimento somente se o valor produzido for maior que o custo da remuneração do capital.

De acordo com o critério que relaciona o benefício e o custo, um projeto é economicamente viável se B/C for maior que a unidade, e inviável quando menor que um. No caso de projetos alternativos, quanto maior a relação B/C , tanto melhor será o projeto. Conforme Carrera-Fernandez e Garrido (2003) ressaltam que um projeto que apresenta VPL positivo implica necessariamente uma relação B/C maior que a unidade, e vice-versa.

A TIR é a taxa de desconto, τ , que torna o VPL de um projeto igual a zero:

$$\sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+\tau)^t} = 0 \quad \text{Equação 3.4}$$

Quanto maior for a TIR melhor será o projeto. No entanto, na análise de viabilidade econômica de projetos, a TIR deve ser comparada com a TMA. Neste caso, se $\tau > i$, o projeto

é economicamente viável, e vice-versa. A grande vantagem da TIR (Carrera-Fernandez e Garrido, 2003) é que ela é obtida exclusivamente com base nos dados do projeto. Assim, na análise de projetos alternativos são feitas comparações nas mesmas bases com informações independentes, de cada projeto.

3.5 Participação pública e a sustentabilidade da drenagem urbana

A sustentabilidade advém de uma contínua interligação de etapas que se sustentam na (i) comunicação; (ii) participação; (iii) coordenação; (iv) informação; e (v) aprendizado (Dalal-Clayton e Bass, 2002). Estas etapas envolvem diretamente a sociedade, por meio do surgimento de lideranças, planejamento e implementação de ações distribuídas e o respectivo monitoramento, aprendizado e adaptação das mesmas. Assim, como em qualquer área ou setor, a participação e o engajamento público são ingredientes essenciais para atingir os objetivos da sustentabilidade na drenagem urbana (Rauch *et al.*, 2005).

Rauch *et al.* (2005) argumentam que o controle do escoamento pluvial não estrutural na fonte é um tipo de intervenção baseada em práticas de planejamento do uso do solo, assim como iniciativas de regulação, processos, educação e financiamento. Existem várias abordagens que definem a utilização de ações distribuídas nas bacias hidrográficas, tais como ações não-estruturais e dispositivos de controle do escoamento pluvial, e em todas elas é enfatizado que a colaboração dos integrantes no processo e a participação pública são essenciais para a obtenção efetiva de resultados sustentáveis.

Pompêo (2000) corrobora com esta idéia e enfatiza que além dos avanços técnicos relacionados ao planejamento da drenagem urbana, a participação da sociedade é essencial na busca da sua sustentabilidade. O autor enfatiza que a sustentabilidade é um grande acordo, que deve ser baseado em deliberações definidas entre órgãos públicos, iniciativa privada e sociedade civil. A construção deste acordo representa gigantescas dificuldades políticas, reduzi-las envolve a articulação institucional, o fluxo de informações e entendimentos comuns dos problemas, sendo que o caminho é a educação ambiental no meio técnico, círculos de tomada de decisão, meio político e sociedade (Pompêo, 2000). Neste contexto, o uso de incentivos econômicos como elemento de educação e indução à comportamentos desejáveis no planejamento dos sistemas individuais de drenagem ganha fundamental importância.

Além disso, como também destacado por Marsalek (2005), parece haver uma falta de apoio para a investigação e avaliação dos resultados obtidos com a execução do controle não-estrutural, tais como os programas de planejamento pluvial urbano integrado e educação

ambiental. Existem muitos estudos que avaliam os resultados obtidos com as ações estruturais para o controle do escoamento pluvial, todavia, conforme salientado por Rauch *et al.* (2005) e Marsalek (2005), as ações não estruturais e os programas de educação das comunidades para o controle do escoamento pluvial não são avaliados quanto aos resultados obtidos.

Parte-se do pressuposto que a participação pública pode levar a mudanças positivas nas práticas sociais e comportamentos com relação aos impactos sobre a sustentabilidade dos ambientes urbanos de drenagem e, portanto, induzir o controle do escoamento pluvial na fonte, bem como a transformação do atual paradigma insustentável de gestão da drenagem urbana. Embora raramente é explicitada através de resultados provenientes de pesquisa científica, é admitido (Rauch *et al.*, 2005) que a inclusão da comunidade facilita as mudanças de expectativas, práticas e comportamentos sociais por meio da geração de consciência e aprendizagem, bem como potencialmente aumentar o nível de apoio político e local para a implementação de abordagens inovadoras e mais sustentáveis para a gestão ambiental.

Diamond (2005), em seu livro *Collapse*, analisa o que fez com que algumas das grandes civilizações do passado entrassem em colapso e o que podemos extrair disso. O autor traça um panorama catastrófico e mostra o que acontece quando desperdiçamos nossos recursos, ignoramos sinais de nosso meio ambiente, quando nos reproduzimos rápido demais ou cortamos árvores em excesso. Com objetivo de evitar novos colapsos, o autor procura responder a seguinte pergunta: “que escolhas econômicas, sociais e políticas ainda podemos fazer para não termos o mesmo fim?”

Um aspecto que se repetiu em praticamente todas as sociedades que entraram em colapso é o seguinte (Diamond, 2005): “se eu não pescar este peixe ou não deixar minhas ovelhas pastarem, outro pescador ou pastor o fará, de modo que não vejo sentido em ser comedido”. Ou seja, o comportamento racional é colher (ou degradar) antes que o próximo consumidor o faça, mesmo que o resultado final seja a destruição do bem comum e, portanto, o prejuízo de todos os consumidores.

Diamond (2005) aponta três tipos de acordos alternativos para a preservação de um recurso comum que ainda assim permita uma colheita sustentável. A primeira solução é que o governo ou alguma força externa intervenha, estabelecendo quotas de uso (associadas ou não a incentivo econômico), como por exemplo os imperadores incas nos Andes fizeram para a atividade madeireira. Uma segunda solução é privatizar o recurso, dividindo-o em parcelas

individuais que cada dono se sentirá motivado a administrar com prudência em seu próprio interesse. A solução remanescente para a tragédia do bem comum é os consumidores reconhecerem seu interesse comum e projetarem, obedecerem e aplicarem quotas de extração prudentes para si mesmos.

Na área de recursos hídricos um conceito importante e inovador relacionado a este interesse comum dos consumidores é a Hidro-solidariedade. O conceito de hidro-solidariedade refere-se a uma visão ampla, que visa um maior envolvimento ético dos cidadãos na sua interação com a água, para a busca da paz e uma coexistência harmoniosa (Mendes *et al.*, 2004). Nesta conjuntura solidária, as pessoas devem ter consciência que suas ações ao interferir no ciclo da água causam impactos em outras pessoas. Burkhard *et al.* (2000) citam que o critério de sensibilização deve ser incluído na avaliação sobre sistemas ecológicos, pois, segundo os autores, a falta de conscientização dificulta a aceitação de políticas de planejamento ambiental. Além disto, os autores vão mais além, citam que para o planejamento de sistemas ambientais ser sustentável, seu desenvolvimento deve incluir a participação da comunidade no processo de tomada de decisão conforme já é previsto em manuais de órgãos governamentais do país (Brasil, 2006b).

Esta participação deve ser incentivada com o uso de legislação específica e incentivos econômicos. Conforme USEPA (2001), o fator mais importante quando se aumentam as taxas de água é a educação e participação pública. Neste contexto, os incentivos econômicos induzem ações para a preservação ambiental por meio de um “círculo virtuoso”. Lanna (2001) aponta que a finalidade da utilização de um incentivo econômico, tal como a taxa pelo uso do sistema de drenagem, é fazer com que o responsável por uma atividade que degrada ou utiliza os recursos hídricos sinta suas conseqüências e as internalize no processo de tomada de decisão. Dessa forma, o usuário visualizaria a relação entre causa e efeito provocada pelo seu uso, uma vez que seria determinado um valor a ser pago.

Aliado a esta identificação de causa e efeito, lateralmente o processo de educação ambiental seria implementado. Então, o usuário passaria a adotar ações (estruturais ou não) que acarretariam a melhoria do ambiente em que ele está inserido. Agindo desta forma sua conta se reduziria, pois a lógica do uso dos incentivos econômicos é que nada se pague e que os ecossistemas funcionem como no passado. Esta ação fecha o círculo virtuoso no qual o incentivo econômico induz principalmente um processo de educação ambiental.

3.6 Documentos legais e a sustentabilidade da drenagem urbana

É inegável que a maioria dos problemas relacionados à drenagem urbana seriam minimizados, ou até evitados, caso as legislações do setor fossem respeitadas. No arcabouço legal brasileiro em escala federal, estadual e municipal não faltam leis com relação aos principais problemas relacionados ao setor: impermeabilização acentuada de terrenos urbanos; ocupação urbana em áreas de risco (encostas de morros e beira de cursos d'água); e o despejo de resíduos sólidos e líquidos.

Legalmente, cabe primordialmente ao município fiscalizar e ordenar o desenvolvimento urbano. O governo estadual e federal pode auxiliar neste trabalho, no entanto, o município não pode se omitir desta atividade de caráter local. A rapidez que ocorrem as modificações urbanas praticamente inviabiliza o controle estadual e/ou federal. Um aspecto importante na gestão municipal é que o Estatuto das Cidades determina que todas as cidades brasileiras com mais de 20 mil habitantes devem ter planos diretores municipais. Contudo, o governo federal deve proporcionar meios dos estudos serem realizados e, principalmente, implementados.

Conforme Cruz *et al.* (2007), a gestão da drenagem urbana na maioria dos municípios brasileiros ainda não é vislumbrada com a devida importância, dada a ausência de um planejamento específico para o setor. De forma geral, o gerenciamento da drenagem urbana é realizado pelas secretarias de obras municipais e apresenta-se desvinculado das ações planejadas para os demais setores relacionados, como água, esgoto e resíduos sólidos. Todavia, assim como em Porto Alegre, alguns municípios apresentaram avanços significativos para o controle do escoamento pluvial (Quadro 3.4).

Merece destaque o município de Santo André, São Paulo, pioneiro no Brasil na cobrança pelo serviço da drenagem urbana. A cobrança pelos serviços de drenagem urbana em Santo André foi instituída pela Lei Municipal 7.606 de 23 de Dezembro de 1997. A lei define que:

Artigo 2 - A taxa de drenagem é devida em razão da utilização efetiva ou da possibilidade de utilização, pelo usuário, dos serviços públicos de drenagem de águas pluviais, decorrentes da operação e manutenção dos sistemas de micro e macrodrenagem existentes no Município.

Artigo 4 - O custo decorrente da prestação dos serviços de operação e manutenção dos sistemas de micro e macrodrenagem será dividido proporcionalmente entre cada usuário.

segundo a contribuição volumétrica das águas advindas de seu respectivo imóvel, lançadas ao sistema de drenagem urbana.

Parágrafo único - O cálculo da contribuição volumétrica de águas ao sistema de drenagem terá por base o índice pluviométrico médio mensal do Município que, associado à área coberta de cada imóvel (impermeabilização), definirá o volume efetivamente lançado ao sistema.

Quadro 3.4. Legislações municipais brasileiras aplicáveis ao controle do escoamento pluvial (Adaptado de Cruz et al., 2007)

Município	Características
Belo horizonte-MG	Primeiro município brasileiro com instrumento legal de gerenciamento da drenagem urbana associado ao Plano Diretor de Urbanização, em 1996: possibilidade de impermeabilização total de áreas desde que compensada com a implantação de reservatórios na proporção de 30 litros por metro quadrado de área impermeabilizada
Curitiba-PR	Em 2003 o Programa de Conservação e Uso Racional de Água nas Edificações (PURA), com o objetivo primordial de incentivar o uso racional da água, a utilização de fontes alternativas e a educação ambiental. Captação da água da chuva em cisternas para usos não nobres, como rega de jardins e hortas, lavagem de roupas e veículos, lavagem de vidros e pisos.
São Paulo-SP	2001: destinação de espaço para reservação de águas pluviais e propostas formulações para o cálculo dos volumes de controle; a manutenção de parcelas permeáveis nos lotes urbanos (15%); a sugestão de estudos para outras medidas de controle do escoamento pluvial como pavimentos permeáveis e de aumento da infiltração além da aplicação do princípio poluidor-pagador com relação às áreas impermeáveis dos lotes 2002: promulgada a lei 13.276, regulamentada pelo decreto 41.814, que estabeleciam como 500 m ² de área impermeabilizada, o limite inferior para a exigência de reservatório nos lotes e a manutenção de 30% das áreas de estacionamentos com piso drenante ou naturalmente permeável, além de apresentarem a formulação para o cálculo do volume a reservar.
Niterói-RJ	Lei n° 1620/1997, que regulamenta a aprovação de edificações residenciais unifamiliares, apresenta no seu Artigo 19 o limite para a taxa de impermeabilização em 90% para a Zona Urbana, dispensando desta limitação as edificações que apresentarem soluções de acumulação e/ou aproveitamento de águas pluviais
Guarulhos-SP	Código de Obras de Guarulhos (Lei 5617/97) prevê, desde o ano 2000, a obrigatoriedade do uso de reservatórios de detenção das águas pluviais para imóveis com área superior a 1 hectare, com a possibilidade de reutilização destas águas para rega de jardins, lavagens de passeio e para fins industriais adequados
Rio de Janeiro-RJ	Condiciona a regularização de imóveis com liberação de carta de habitação à construção de reservatórios de detenção das águas pluviais, para edificações com área impermeabilizada superior a 500m ² ou prédios com mais de 50 apartamentos. Além disso, prevê-se que 30% das áreas para estacionamentos comerciais tenham piso drenante ou naturalmente permeável
Santo André-SP	A instituição de mecanismos do tipo “poluidor-pagador” para a drenagem urbana tem como precursora a cidade de Santo André, no estado de São Paulo. A Lei Municipal 7.606/97 estabeleceu e regulamentou a cobrança de taxa correspondente ao volume lançado no sistema de coleta de pluviais e considerou os valores mensais médios de custo de operação do sistema para a cidade. O volume lançado é determinado em função do índice pluviométrico médio mensal, de um coeficiente de impermeabilização e da área coberta do imóvel.
Brasília/DF	LEI N.º 1.019/2008: Reestrutura a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA/DF, dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal. Estabelece a cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deverá levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva, bem como deverá considerar, entre outros critérios: I – o nível de renda da população da área atendida; II – as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas; III – a área de drenagem efetivada no caso de construção concluída, avaliada segundo padrões técnicos estabelecidos pela ADASA.

A taxa de drenagem em Santo André é cobrada na conta mensal de Saneamento Ambiental de todos os imóveis e os valores cobrados são (Brasil, 2005):

- valor mínimo: R\$ 0,56 por metro cúbico ao mês;
- valores médios: R\$ 2,00 a R\$ 3,00 por metro cúbico ao mês.

De acordo com Brasil (2005), com a cobrança da drenagem, o Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André (Semasa) arrecada cerca de R\$ 6 milhões por ano, o que é suficiente para cobrir 50% dos gastos de manutenção da rede (limpeza de bocas-de-lobo, galerias, limpeza e desassoreamento de córregos, manutenção dos reservatórios de amortecimento existentes na cidade, etc.). É importante deixar claro que os recursos provenientes da taxa de drenagem não são usados para obras, o dinheiro é destinado apenas para manutenção, conforme prevê a Lei. Com a instituição da taxa foi possível fazer serviços que há muito tempo não eram feitos, como o desassoreamento do rio Tamanduateí, Ribeirão dos Meninos e Córrego Oratório (Semasa, 2007). O Tamanduateí, desassoreado em 1998, não era limpo havia 8 anos, causando grandes transtornos à cidade.

Assim como outras metrópoles brasileiras, Porto Alegre vem sofrendo um processo constante de aumento da urbanização. Grandes áreas, anteriormente predominantemente rurais, vêm sendo modificadas para centros residenciais, com a crescente construção de loteamentos e condomínios. Essa urbanização acelerada aumenta consideravelmente o escoamento pluvial, comprometendo seriamente o sistema de drenagem estabelecido na cidade.

Com objetivo de resolver este problema, nas novas legislações municipais, desenvolvidas a partir de 1999, foram incluídos artigos que permitem à municipalidade exigir legalmente a utilização de medidas de controle de escoamento pluvial em novos empreendimentos implantados na cidade (Cruz *et al.*, 2007). Estas legislações visam a implementação de medidas de controle na fonte (reservatórios nos lotes) e na micro e macrodrenagem (bacias de amortecimento em loteamentos), sendo desenvolvidas a partir do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre – PDDrU-POA (PMPA/DEP, 2002). O Decreto Municipal número 15.371/2006 regulamenta o controle do escoamento pluvial em Porto Alegre. A seguir são apresentados alguns itens deste decreto.

DECRETO N °15.371, de 17 de Novembro de 2006

Regulamenta o controle do escoamento pluvial

Art. 1o Toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais igual ou inferior a 20,8 l/(s.ha).

§ 5o Para terrenos com área inferior a 600 m² e para habitações unifamiliares, a limitação de vazão referida no caput deste artigo poderá ser desconsiderada, a critério do Departamento de Esgoto Pluviais.

Art. 3o A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluviais).

§ 1o Para terrenos com área inferior a 100 (cem) hectares quando o controle adotado pelo empreendedor for o reservatório, o volume necessário do reservatório deve ser determinado através da equação:

$$v = 4,25 AI$$

Sendo v é o volume por unidade de área de terreno em m³/hectare e AI é a área impermeável do terreno em %.

§ 3o Poderá ser reduzida a quantidade de área a ser computada no cálculo referido no §1o se for(em) aplicada(s) a(s) seguinte(s) ação(ões)

- Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em 50% a área que utiliza estes pavimentos;*
- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com drenagem – reduzir em 40% a área de telhado drenada;*
- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis sem drenagem – reduzir em 80% a área de telhado drenada;*
- Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em 80% as áreas drenadas para as trincheiras.*

§ 4o A aplicação das estruturas listadas no § 3o estará sujeita a autorização do DEP, após a devida avaliação das condições mínimas de infiltração do solo no local de implantação do empreendimento, a serem declaradas e comprovadas pelo interessado.

Conforme se verifica pelo texto acima, foi estabelecida uma vazão limite para a contribuição do lote ao sistema de drenagem público em função da área contribuinte. Esta vazão reflete a condição de pré-urbanização, ou seja, a suposição da vazão de saída do lote

sem nenhuma impermeabilização. Esta fiscalização deve ser realizada através da verificação “in loco” do diâmetro máximo de saída da tubulação pós-reservatório de detenção, ou seja, da rede que conecta a saída da drenagem do lote com as redes públicas. Esta deve estar de acordo com as especificações do projeto pré-aprovado junto ao DEP. O texto permite também a liberação, a critério do órgão competente, da exigência do controle do escoamento pluvial por reservatório para terrenos de pequena área ou ainda com uma única habitação com uso unifamiliar. Esta abertura justifica-se pela necessidade de avaliação caso a caso, uma vez que não se deve onerar exageradamente o empreendedor, o que em alguns casos pode inviabilizar o empreendimento ou a regularização do imóvel.

Para a elaboração do PDDrU-POA Porto Alegre foi dividida em 27 bacias hidrográficas. As duas primeiras etapas deste plano contemplaram estudos para 6 bacias hidrográficas do município, sendo elaboradas pelo convênio entre o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). A partir das diretrizes fornecidas pelo PDDrU-POA foram elaborados alguns projetos para a implantação das bacias de amortecimento em áreas selecionadas das bacias urbanas já estudadas. No entanto, existe também forte resistência por parte da população local, uma vez que a grande maioria das áreas propostas são praças com uso consolidado (únicos espaços disponíveis sem a necessidade de desapropriação) e a potencial ameaça à saúde (produção de odores e foco de proliferação de vetores transmissores de doenças). Mesmo com esta resistência, hoje já são contabilizados trinta e dois dispositivos de armazenamento em funcionamento (Carmona, 2008), sendo que seis foram implantadas pelo poder público, doze por loteamentos particulares (denominadas público/privadas) e catorze por empreendimentos privados. A maioria destes foi obtida através de negociação entre o poder público e os empreendedores, que demonstram considerável resistência à idéia, possivelmente por estas caracterizarem um ônus adicional (Cruz *et al.*, 2007). Esta realidade do município, quanto ao controle do escoamento pluvial, será introduzida no questionário a ser aplicado na presente pesquisa, na forma de questões quanto aos reservatórios de amortecimento.

No ano de 2006, o Governo Federal lançou um programa denominado Drenagem Urbana Sustentável sob a gerência do Ministério das Cidades. O objetivo do programa era promover políticas de desenvolvimento urbano, uso e ocupação do solo e gestão das bacias hidrográficas através da proposição de ações estruturais e não-estruturais, pelos municípios, para a recuperação de áreas úmidas, prevenção, controle e minimização dos impactos

decorrentes das inundações ribeirinhas e no ambiente urbano. Todavia, a grande maioria dos projetos propostos foi com planejamento ultrapassado (Tucci, 2008). As soluções propostas continuam sendo por meio da construção de condutos e canais como se observa no conjunto de projetos aprovado no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal e implementado pela Caixa Econômica Federal (Tucci, 2008), apesar do programa se chamar ironicamente de “drenagem sustentável”. A demanda dos municípios continua distorcida por falta de qualificação de projetos. Um dos principais problemas reside na formação defasada de engenheiros e arquitetos que atuam no ambiente urbano e da falta de legislação que obrigue o controle deste problema. A maioria das cidades utiliza sempre o conceito de canalização dos trechos que trazem dois prejuízos: custo muito superior ao controle do escoamento pluvial por meio de reservatórios e aumento das inundações rio abaixo.

Em Porto Alegre foi sancionada a lei nº 10.506, de 5 de agosto de 2008, que institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas nas Edificações. Segundo a lei, as novas construções deverão captar, armazenar e utilizar a água da chuva e as águas servidas para serviços de limpeza, manutenção de jardins e descarga de vasos sanitários, semelhante ao que ocorre em Curitiba e São Paulo, desde 2003 e 2005, respectivamente. Em Porto Alegre, estima-se que o aproveitamento da água da chuva e o reuso das águas servidas diminua em aproximadamente 50% a demanda por água potável (Brasil, 2007).

Recentemente, em novembro de 2009, foi aprovada a revisão do Plano Diretor de Porto Alegre (em vigor desde 1999), que se denomina Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA). Nesta revisão foram introduzidos artigos relacionados à área ambiental, buscando, segundo a Secretaria de Planejamento de Porto Alegre (CREA-RS, 2009), a estruturação do município dentro de um eixo ambiental de desenvolvimento sustentável. A proposta, ainda segundo a Secretaria, é proporcionar o desenvolvimento de outras regiões da cidade não tão adensadas com objetivo de não sobrecarregar regiões já ocupadas da cidade.

Um destes novos artigos é a imposição de uma Área Livre Vegetável ou Permeável (ALP). A partir da promulgação do novo PDDUA qualquer empreendimento deverá reservar uma área livre vegetada em percentuais que variam de 7% a 56% da área remanescente da taxa de ocupação nos terrenos. Ainda, o novo PDDUA prevê que caso não seja possível

atender este requisito, poderão ser feitas compensações em terraços e coberturas vegetadas (telhados verdes), pisos permeáveis e plantio de árvores fora do terreno.

Apesar do artigo que trata da ALP ser importante para a manutenção de áreas verdes no município de Porto Alegre, os resultados alcançados podem ser pequenos. Primeiramente, as áreas remanescentes da taxa de ocupação nos terrenos de ocupação residencial variam de 10% a 33,4% das áreas dos terrenos, ou seja, os percentuais de 7% a 56% seriam aplicados sobre uma pequena parcela da área do terreno. Com isso um terreno que tinha 100% de área vegetada, terá no máximo 18,7% de área vegetada (56% aplicados aos 33,4% remanescentes). Este percentual ainda é pequeno quando comparado com os aplicados em outros países que recomendam até 50% da área do terreno vegetada (PGDER, 1999b).

Além disso, o artigo não especifica quais espécies vegetadas devem permanecer nos terrenos. O ideal é manter a vegetação pré-existente antes da construção ou até mesmo, no caso da vegetação natural ter sido modificada, repor a vegetação nativa da região. Os benefícios de se plantar árvores nativas são diversos, principalmente (Isernhagen *et al.*, 2009):

- Provêm os alimentos dos animais nativos e são locais de ninhos de pássaros nativos;
 - Fazem parte de uma floresta onde uma espécie ajuda a outra, de diversas formas;
 - Dificilmente são exterminadas por pragas, pois já desenvolveram muito bem uma defesa para cada praga da região, muito indicadas para plantios orgânicos (sem agrotóxicos).
- A relação entre os nutrientes disponíveis, e os nutrientes necessários para a árvore, é harmoniosa.

4 METODOLOGIA: INCENTIVOS ECONÔMICOS À SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA

Conforme enfatizado, o desenvolvimento urbano ao modificar o ambiente natural provoca impactos nos recursos hídricos de uma região. Em síntese o estudo analisa, por meio de incentivos econômicos, como induzir este desenvolvimento de forma a ter um comportamento hidrológico semelhante ao ambiente natural, eliminando os impactos sobre os recursos hídricos (Figura 4.1).

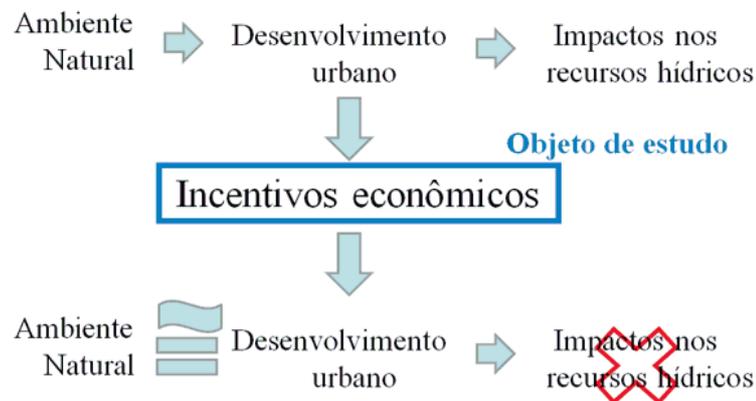


Figura 4.1. Síntese do estudo.

A estratégia metodológica parte da pressuposição que existem processos hidrológicos que devem ser mantidos (e induzidos) durante o planejamento da drenagem urbana, com objetivo de fornecer os serviços ambientais das bacias hidrográficas. O Quadro 4.1 faz uma síntese da integração entre os objetivos e metodologias aplicadas, que foram separados em três grandes módulos com uma seqüência lógica de aplicação. A Figura 4.2 mostra as etapas metodológicas de forma esquemática, desenvolvidas para responder as seguintes perguntas:

- Quais processos hidrológicos e/ou ações poderiam (ou deveriam) ser incentivados para que o planejamento da drenagem urbana seja sustentável?
- A legislação de controle do escoamento pluvial na fonte é adequada do ponto de vista hidrológico?
- Quanto deve ser pago ou recebido pelos proprietários para incentivar o planejamento sustentável da drenagem urbana em escala de lote?
- Qual o incentivo econômico possui maior aceitabilidade pública?
- Quais variáveis relacionadas aos proprietários de lote urbanos são mais importantes para a definição de um incentivo econômico e para a própria gestão da drenagem urbana?

Quadro 4.1. Quadro síntese de integração entre objetivos e metodologias.

Objetivo geral	Objetivos específicos	Metodologia
<p>Analisar o uso de incentivos econômicos para a drenagem urbana, de modo a induzir e financiar o seu planejamento sustentável em desenvolvimentos consolidados e novos, em escala de lote urbano, segundo as técnicas do LID, que procuram reproduzir o comportamento hidrológico natural.</p>	<p>Aplicação do planejamento sustentável da drenagem urbana:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Analisar os dispositivos e ações que podem ser empregadas em escala de lote urbano para o controle sustentável da drenagem urbana em desenvolvimentos consolidados e novos; e ii. Avaliar hidrológicamente em escala de lote: as modificações causadas pelo desenvolvimento urbano; a atual legislação de controle do escoamento pluvial de Porto Alegre; os controles em desenvolvimentos consolidados e novos. 	<p>Planejando lotes urbanos sustentáveis do ponto de vista hidrológico:</p> <p>I. Determinação das características físicas naturais e atuais dos locais em análise;</p> <p>II. Determinação dos controles: pré-controles (novos desenvolvimentos) e pós-controle (desenvolvimentos consolidados):</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Configuração dos lotes: dimensionamento dos dispositivos e adoção de práticas de LID; ii. Simulação hidrológica dos lotes: com modelo IPHS1 – NATURAL; ATUAL; LID; LEGISLAÇÃO; CONTROLES
	<p>Desenvolvimento do incentivo econômico: investigar diferentes tipos de incentivos econômicos aplicáveis aos proprietários de lotes urbanos.</p>	<p>Determinação dos incentivos econômicos:</p> <p>I. Incentivo ao controle quantitativo do escoamento pluvial:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Taxa pelo uso do sistema de drenagem – rateio do controle na macrodrenagem; ii. Cobrança pelo escoamento \geq custo marginal médio dos dispositivos de controle na fonte; iii. Incentivos positivos – Ações voluntárias com subsídios (prefeitura paga os dispositivos de controle para os proprietários) e Isenções ou reduções fiscais (semelhante ao IPTU-Ecológico ou IPTU-Hidrológico); iv. Licenças comercializáveis: comércio entre proprietários <p>II. Incentivo ao controle qualitativo do escoamento pluvial: ações voluntárias com subsídios e as isenções ou reduções fiscais</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Resíduos sólidos: “compra do lixo”; ii. Efluentes domésticos: isenção das taxas de ligação e/ou reduções das taxas mensais pela coleta e tratamento dos efluentes
	<p>Validação dos incentivos econômicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Investigar algumas questões relacionadas à gestão da drenagem urbana nos proprietários dos lotes que ajudem a busca da sustentabilidade no planejamento do setor e analisar a aceitabilidade pública de um incentivo econômico para a drenagem urbana; ii. Identificar as disposições a pagar (DAP) ou a receber (DAR) em proprietários de lotes para resolver os problemas associados ao setor; iii. Avaliar relações entre a DAP e a DAR com variáveis associadas aos proprietários de lotes urbanos; e iv. Determinar modelos de regressão para a DAP e a DAR. 	<p>Validação dos incentivos econômicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Análise descritiva dos resultados da aplicação de questionários aos proprietários de lotes urbanos; ii. Método de Valoração Contingente: identificar a DAP e DAR; iii. Testes Qui-Quadrado e Exato de Fisher para analisar a dependência entre a DAP e DAR com variáveis qualitativas associadas aos proprietários de lotes urbanos; iv. Análise Econométrica: DAP e DAR em função das variáveis quantitativas “conta de água e esgoto” e “renda”.

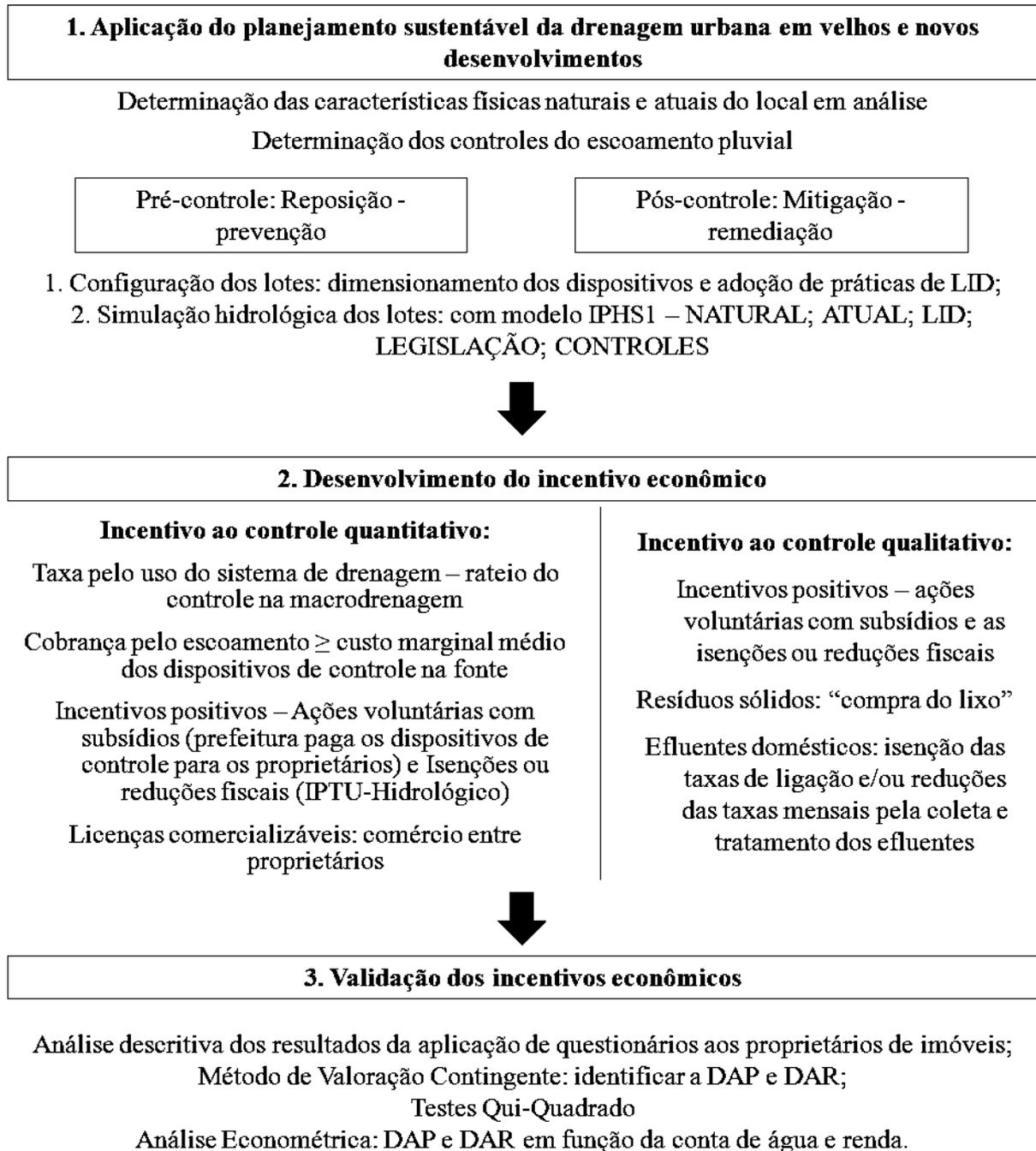


Figura 4.2. Etapas metodológicas para a determinação do incentivo econômico à sustentabilidade da drenagem urbana.

A metodologia foi aplicada em um estudo de caso no município de Porto Alegre. Foram selecionadas três micro-bacias urbanas com objetivo de trabalhar com diferentes configurações e características físicas de lotes urbanos, coletar informações nas diversas situações sócio-econômicas existentes, e analisar a relação entre a existência e a inexistência de alagamentos com os incentivos, uma vez que deverão existir relações diretas destas variáveis com o uso e aceitação dos incentivos econômicos ao controle do escoamento

pluvial. As áreas escolhidas possuem diferentes realidades quanto à aplicação da estratégia utilizada por Porto Alegre para o controle do escoamento pluvial, o uso de reservatórios de amortecimento de vazões aplicados na macrodrenagem, associados à ampliação de canalizações. As micro-bacias escolhidas são (Figura 4.3):

1. Micro-bacia Polônia: contribuinte ao reservatório de amortecimento da Praça Júlio Andreatta, que faz o controle do escoamento pluvial afluyente ao Conduto Forçado da Rua Polônia, no bairro São João, com área de aproximadamente 0,50 Km²;

2. Micro-bacia Frei Germano: contribuinte à Rua Frei Germano, no bairro Partenon, com área de aproximadamente 0,46 Km²;

3. Micro-bacia Joaquim Leite: Bacia contribuinte ao reservatório projetado na Praça Joaquim Leite, no bairro Três Figueiras, com área de aproximadamente 0,60 Km².



Figura 4.3. Micro-bacias do estudo.

A primeira micro-bacia urbana selecionada, Polônia, possui o controle do escoamento pluvial por meio de um reservatório de detenção implantado desde 1999. As outras duas micro-bacias não possuem controles do escoamento pluvial instalados. A micro-bacia Frei Germano possui um estudo para ampliação das suas canalizações, com objetivo de solucionar

os problemas de alagamentos localizados atualmente existentes, solução tradicional no planejamento da drenagem urbana (higienista). Esta situação decorre da rápida urbanização da sua área mais elevada, no Morro da Cruz.

Os alagamentos na micro-bacia Joaquim Leite ocorrem devido às suas características morfológicas (grande declividade) e de uso e ocupação do solo. Assim como nas demais micro-bacias, em eventos de chuva ocorre a rápida formação de escoamento, proporcionando sérios pontos de alagamentos na rede de micro e macrodrenagem a jusante, principalmente na Rua Teixeira Mendes. O agravante nesta micro-bacia é que quatro pessoas já foram vítimas fatais em função de alagamentos. Nos itens seguintes mais informações sobre as micro-bacias e sobre os projetos da Prefeitura Municipal serão apresentados. Além disso, o Anexo 2 contém uma breve descrição destes projetos.

4.1 Aplicação do planejamento sustentável da drenagem urbana em desenvolvimentos consolidados e novos

Os processos hidrológicos alterados pela urbanização são a infiltração, a evapotranspiração, a interceptação vegetal, entre outros, que são diminuídas devido à impermeabilização das superfícies e a redução das áreas verdes, sendo o escoamento superficial aumentado em virtude da diminuição dos processos citados. Em geral, do ponto de vista quantitativo, a análise destas alterações é realizada comparando o hidrograma natural com o hidrograma após a urbanização. Qualitativamente, geralmente se analisam as alterações de parâmetros químicos, físicos e biológicos da água. As causas das alterações qualitativas são, em sua grande parte, a disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes líquidos provenientes das residências. Ou seja, devido à ineficiência dos sistemas de coleta dos resíduos sólidos e líquidos, o sistema de drenagem pluvial acaba recebendo um aporte de cargas de poluentes, que somados aos efluentes provenientes da lavagem das ruas (óleos automotivos e resíduos diversos) acabam contaminando os mananciais urbanos.

Portanto, admitindo que seja possível (i) reproduzir o hidrograma natural das áreas urbanas, por meio da manutenção das taxas de infiltração e dos volumes armazenados; e (ii) destinar adequadamente os efluentes provenientes das residências, teoricamente, os alagamentos e a contaminação dos corpos d'água urbanos seriam eliminados ou, pelo menos, minimizadas, restando resolver o problema das cargas procedentes da lavagem das ruas. Deste modo, seria garantido que a urbanização não afetaria o equilíbrio hidrológico do ambiente natural, resultado que representa o desenvolvimento sustentável para a drenagem urbana.

A Figura 4.4 apresenta o sistema formado pelas residências com os processos que influenciam o serviço de drenagem urbana. O sistema apresenta três pares de entradas e saídas: chuva-vazão; água potável-efluentes domésticos; e bens de consumo-resíduos sólidos. Admite-se, pelo menos no interior dos lotes, que os pares não se influenciam mutuamente.

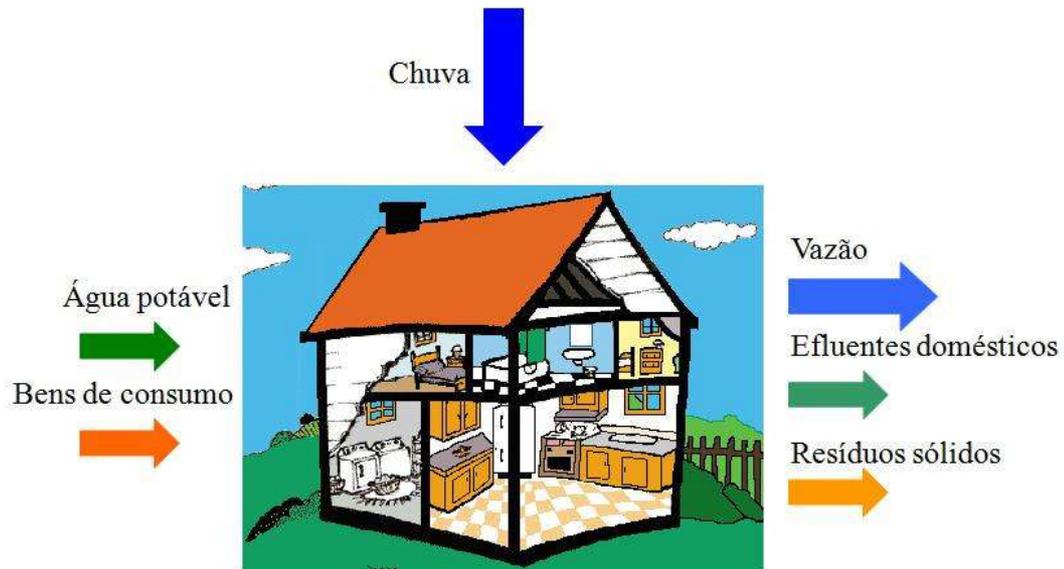


Figura 4.4. Sistema formado pelas residências apresentando os processos que influenciam o serviço de drenagem urbana.

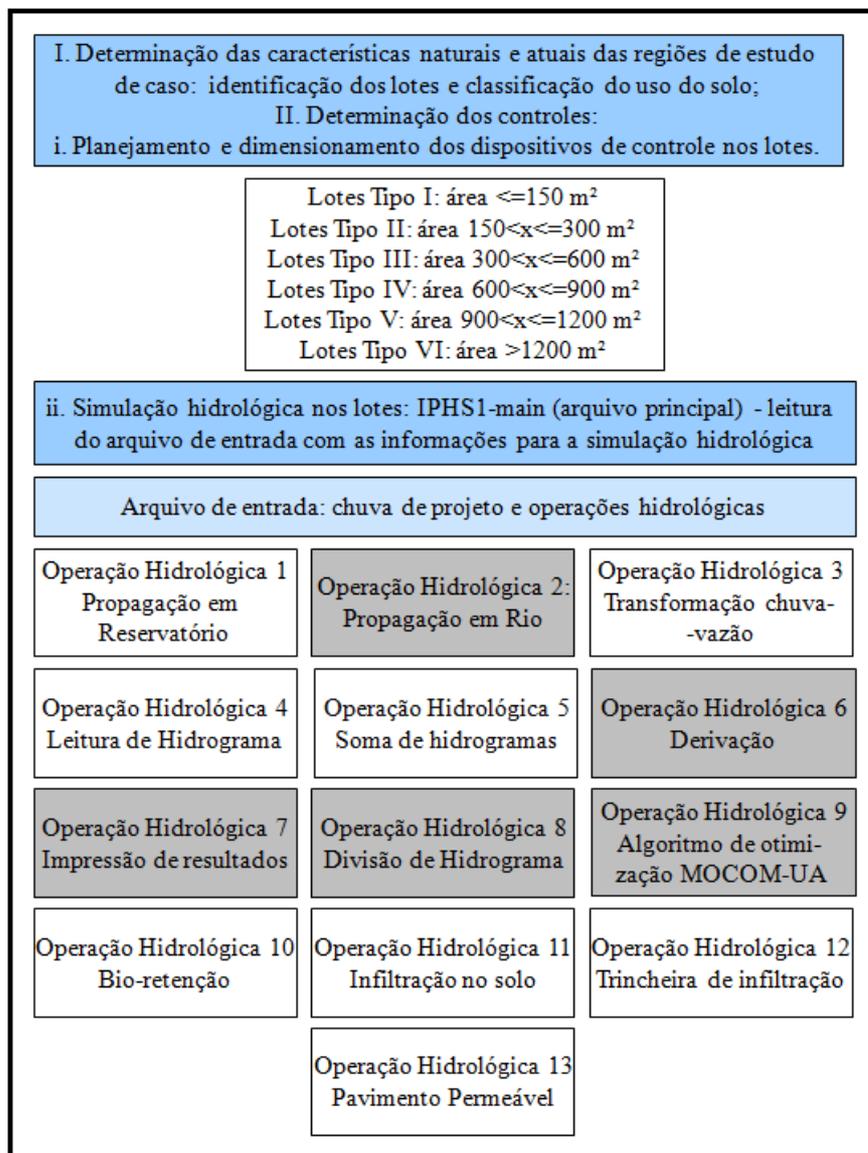
No presente estudo, foi dada ênfase (principalmente quanto à simulação e determinação de custos) ao controle quantitativo do escoamento pluvial, que é representado pela entrada da chuva e saída do escoamento dos lotes. No entanto, deve-se considerar que alguns dispositivos empregados para este controle proporcionam, também, o controle qualitativo do escoamento pluvial, conforme visto no Quadro 3.1. Além disso, conforme será apresentado no item 4.2, também foi analisado o incentivo econômico ao controle qualitativo do escoamento pluvial. O Quadro 4.2 apresenta as fases da primeira etapa metodológica, que serão explicadas a seguir.

As informações dos lotes foram obtidas junto a Secretaria de Fazenda do Município de Porto Alegre, responsável pela cobrança do IPTU. Nas áreas das micro-bacias foram identificados os lotes existentes que, em sua maioria, são de ocupação residencial, principalmente na micro-bacia Joaquim Leite, com alguns lotes ocupados com atividades comerciais, sobretudo na micro-bacia Polônia. Os lotes analisados nesta fase foram os de montante, que contribuem com o escoamento pluvial até o controle deste escoamento planejado pela prefeitura. Este procedimento foi adotado com objetivo de comparar os custos

dos projetos da prefeitura com os custos de controle do escoamento pluvial implantados nos lotes de montante, que produzem o escoamento a ser controlado por estes projetos.

Devido aos lotes de jusante não contribuírem com o escoamento pluvial afluyente aos controles planejados pela prefeitura de Porto Alegre, eles não foram inseridos na análise hidrológica e de custos. Todavia, foram utilizados na validação dos incentivos econômicos, terceira etapa metodológica, conforme será visto adiante. Foram considerados os lotes de jusante mais próximos aos controles, os que efetivamente sofreram ou sofrem com alagamentos.

Quadro 4.2. Etapas para a avaliação dos processos hidrológicos.
As operações hidrológicas apresentadas nas caixas de texto cinzas não foram utilizadas.



Os lotes de montante foram separados em seis estratos de áreas (menor que 150 m^2 ; entre 150 e 300 m^2 ; entre 300 e 600 m^2 ; entre 600 e 900 m^2 ; entre 900 e 1200 m^2 ; maior que

1200 m²) e determinados os lotes médios de cada estrato para se ter uma estimativa central do comportamento hidrológico em cada micro-bacia. Os custos para os cenários de planejamento foram determinados em função das áreas totais dos lotes e a alteração do hidrograma natural. Quanto maior a área, menor a impermeabilização (Costa Junior e Barbassa, 2006) e, conseqüentemente, menor a alteração do hidrograma natural. Além disso, os lotes com maiores áreas possuem maiores áreas disponíveis para o uso do controle do escoamento pluvial na fonte.

As características naturais das micro-bacias de estudo de caso foram obtidas a partir de bibliografia, notadamente o Atlas Ambiental e o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, respectivamente as publicações Porto e Menegat (1998) e PMPA/SMMA (2008). Destes trabalhos foram obtidas as características da vegetação natural e do solo existente em Porto Alegre.

As características atuais de vegetação foram obtidas a partir da classificação de imagens, utilizando o *Software Idrisi*. A imagem utilizada foi uma *Quickbird* que consiste em uma imagem fusionada (pancromática mais as bandas do visível), reamostrada com resolução espacial de 1 m, georreferenciada no sistema de coordenadas Gauss-Krüeger e datum Carta Geral, referência usada em Porto Alegre. Um recorte da imagem é apresentado na Figura 4.5. Esta imagem, obtida em 2004, foi a mesma utilizada no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (PMPA/SMMA, 2008).



Figura 4.5. Janela de amostra da imagem *Quickbird* utilizada.

Neste trabalho, optou-se pela utilização da classificação supervisionada, uma vez que a alta resolução espacial da imagem permite que sejam identificados as principais classes existentes e os pontos pertencentes a cada classe. As classes utilizadas foram: (i) cobertura

cerâmica; (ii) cobertura concreto (clara); (iii) cobertura fibro-cimento (cinza escuro); (iv) cobertura metálica; (v) pavimentação de passeio; (vi) solo exposto; (vii) árvores; (viii) gramado (ou campo); (ix) sombra; e (x) água (piscina).

O classificador utilizado foi do tipo rígido, em virtude da facilidade de funcionamento e velocidade de processamento. Foi utilizado o classificador *Maxlike*, que utiliza o método da Máxima Verossimilhança, baseado na função de densidade de probabilidade associada a uma assinatura espectral particular da amostra de treinamento. Os pixels são classificados dentro da classe mais provável baseada numa comparação da probabilidade de pertencer a cada uma das assinaturas consideradas. O *Maxlike* classifica uma imagem baseado na informação contida em uma série de arquivos de assinatura. Estes precisam ser previamente criados com o comando *Makesig*, que corresponde às áreas de treinamento que o *Software Idrisi* utiliza na classificação supervisionada.

Após a classificação foi aplicado um filtro às imagens classificadas, através do comando *Filter*. Este procedimento foi utilizado para homogeneizar a imagem resultante da classificação, eliminando “pixels perdidos” localizados em meio a muitos outros pertencentes à outra classe. O filtro cria uma imagem nova na qual o valor de cada pixel está baseado em seu valor e no de seus vizinhos imediatos na imagem introduzida para filtragem. A natureza desta operação é determinada pelos valores armazenados em uma janela de tamanho 3x3, 5x5, 7x7 ou variável centrada sobre cada pixel enquanto este é processado. No *Idrisi* existem vários tipos de filtros. Aqui foi utilizado o filtro por moda com uma janela de 3x3 pixels, onde o valor do pixel central é redefinido como o valor da moda dos 9 pixels envolvidos pela janela. Foi definido este tamanho de janela para o filtro pois para tamanhos maiores, em áreas urbanas, normalmente, ocorre um agrupamento forçado e a conseqüente descaracterização da área em virtude da alta variabilidade espacial dos tipos de coberturas.

Para a aceitação da classificação foi utilizada uma área de validação, classificada visualmente, composta por 5 quarteirões em uma das áreas do estudo de caso. Foi utilizado como índice de qualidade da classificação o percentual global de acerto, obtido a partir da matriz de confusão e admitido que acima de 90% é satisfatório.

Depois de realizada a classificação, as classes (de 1 a 5) que correspondem às coberturas e os pavimentos de passeio (ou calçadas) foram agrupadas. Este procedimento foi adotado, pois estas classes apresentam o mesmo padrão de transformação chuva-vazão que será adotado na presente pesquisa. Além disso, foram retiradas as sombras por meio de uma

reclassificação visual. Ainda, ao final as classes foram agrupadas de acordo com a sua permeabilidade, conforme o Quadro 4.3.

Quadro 4.3. Classes utilizadas para a classificação de uso do solo nas micro-bacias do estudo de caso.

Permeabilidade	Composição	Classe
Permeável	Solo exposto	Solo exposto
	Árvores	Árvores
	Gramados	Gramados
Impermeável	Coberturas e Calçadas	Cobertura cerâmica
		Cobertura concreto (clara)
		Cobertura fibro-cimento (cinza escuro)
		Cobertura metálica
		Pavimentação de passeio
	Água	Água

O próximo passo metodológico envolveu as simulações hidrológicas de cada lote. Para isso foram estabelecidas configurações dos lotes com operações hidrológicas (OH) em cada elemento que apresentasse um processo de transformação chuva-vazão diferenciado. Assim, elas foram inseridas de forma distribuída para as coberturas de: telhados e calçadas; gramados; árvores; solo exposto; e as diferentes coberturas naturais. Todas as OH foram defasadas em função dos seus tempos de concentração e somadas de acordo com suas conectividades, isto é, suas relações topológicas. Em função do pequeno tamanho destas áreas, a discretização temporal utilizada nas simulações hidrológicas foi de 0,6 segundos (ou 0,01 minutos). Foram utilizados dois intervalos de tempo para as simulações, o primeiro com 7.500 segundos e o segundo com 15.000 segundos. Nas simulações de Pré-controle os processos hidrológicos ocorreram de forma mais lenta, assim sendo, nestes casos foi utilizado o intervalo de tempo maior, de 15.000 segundos.

Os tempos de concentração foram calculados de acordo com a velocidade de escoamento, determinada a partir do tipo de cobertura e declividades adotadas, conforme equação e tabela a seguir (Tucci *et al.*, 1995).

$$v = k * S^{1/2} \quad \text{Equação 4.1}$$

Sendo v a velocidade em m/s, k um coeficiente empírico que depende do tipo de cobertura (Tabela 4.1) e S a declividade em %.

As simulações foram desenvolvidas para:

- Cenário Natural: cobertura de vegetação natural dos lotes;
- Cenário Atual: cobertura atual dos lotes;

- Cenário LID: a configuração foi realizada procurando manter a vegetação de pré-desenvolvimento (natural) em 50% da área do lote; as áreas impermeáveis foram planejadas sobre os solos menos permeáveis. Além disso, a área impermeável efetiva foi inferior a 5% das áreas dos lotes. Estas recomendações para o desenvolvimento do lote foram obtidas de Cruz *et al.* (2007). Assim, se considerou a alteração do projeto arquitetônico-estrutural do lote atual para conservar ao máximo as características locais. Isto é, neste cenário o controle de águas pluviais foi inserido no desenvolvimento dos lotes, caminho proposto nas estratégias de LID, conforme salientado por Souza (2005).

Tabela 4.1. Coeficiente empírico para a determinação de velocidades de escoamento em superfícies.

Tipo de cobertura	k
Floresta com folhagem	0,076
Solo com pouco cultivo	0,143
Pasto e grama	0,216
Solo quase nu	0,305
Canais com grama	0,351
Superfície impermeável	0,610

Com estas simulações foram determinados os volumes de Pós e Pré-controle, segundo denominação utilizada por Cruz (2004). A diferença entre os dois estados é quanto ao tempo de desenvolvimento do controle do escoamento pluvial. Caso o mesmo seja implantado concomitante ao desenvolvimento dos lotes, é chamado de pré-controle, e quando é implantado com a urbanização consolidada, pós-controle. Ou seja, o estado de pré-controle procura repor os processos hidrológicos alterados na urbanização, atuando na causa do problema, e o de pós-controle procura mitigar os efeitos, atuando na consequência do problema. Foram admitidos estes dois estados para verificar a diferença de custos e incentivos para ambos numa hipótese de aplicar o incentivo a desenvolvimentos novos e consolidados, isto é, na urbanização de novas áreas e na alteração de áreas com urbanização consolidada. O volume de Pós-controle é a subtração do volume do Cenário Atual e Cenário Natural. Já o volume de Pré-controle é a subtração do volume do Cenário LID e Cenário Natural.

Além das simulações anteriores, foram desenvolvidas outras com os dispositivos de controle do escoamento pluvial. Assim, foi possível analisar o funcionamento dos mesmos. Foram admitidos os usos dos seguintes dispositivos: (i) Microrreservatório (MR); (ii) Pavimento permeável (PAV); (iii) Trincheira de infiltração (TRI); e (iv) Bio-retenção (BIO). Os dispositivos foram dimensionados pelo método da curva envelope (ou método das chuvas),

conforme formulação de Silveira e Goldenfum (2007), descrita no Anexo 1. As características construtivas utilizadas para os dispositivos são apresentadas no Quadro 4.4. Foram estabelecidas mais quatro simulações:

- Pós-controle Lei: dispositivos inseridos no Cenário Atual para respeitar a legislação de Porto Alegre;
- Pós-controle Nat: dispositivos inseridos no Cenário Atual para obter o hidrograma natural;
- Pré-controle Lei: dispositivos inseridos no Cenário LID para respeitar a legislação de Porto Alegre;
- Pré-controle Nat: dispositivos inseridos no Cenário LID para obter o hidrograma natural.

Quadro 4.4. Características construtivas dos dispositivos de controle do escoamento pluvial utilizados nos lotes.

Dispositivo de controle do escoamento pluvial	Características construtivas
Microrreservatório (MR)	Laje superior para sobrecarga de até 200 kg/m ² ; paredes de alvenaria de tijolo maciço; base de concreto magro (Fck = 15 MPa) – a partir de recomendações de Tassi (2002). Os MR foram dimensionados de forma que todo volume de projeto gerado nas áreas controladas por eles ficassem retidos, para um posterior aproveitamento da água da chuva ¹ . Ou seja, não foram utilizados descarregadores de fundo, apenas um vertedor. Altura máxima admitida de 2 m.
Pavimento permeável (PAV)	Camada de blocos vazados; reservatório de pedra britada n° 1, envolto com geotêxtil tipo Bidim, com altura máxima admitida de 0,50 m; camada de areia grossa funcionando com filtro entre a camada de blocos vazados e o reservatório de pedra britada – a partir de recomendações de Acioli (2005).
Trincheira de infiltração (TRI)	Reservatório de pedra britada n° 4, envolto com geotêxtil tipo Bidim; poço de observação na forma de um tubo de PVC – a partir de recomendações de Souza (2002). Altura e largura máximas admitidas de 2 m e 1 m, respectivamente.
Bio-retenção (BIO)	Reservatório de solo preparado com terra vegetal e adubos; cobertura vegetada composta por pelo menos três tipos de vegetações nativas da região. Admitiu-se a altura da depressão para armazenamento da água variando entre 0,075 e 0,15 m e a altura da camada de solo preparado de 0,75 m – a partir de recomendações de Souza (2005).

No cenário de Pós-controle foram utilizados dispositivos que promovam a infiltração e o armazenamento, a prática convencional de planejar o controle de águas pluviais após ter sido criado o projeto arquitetônico e o estrutural da edificação (Souza, 2005). Assim foram inseridos os seguintes dispositivos: trincheira de infiltração; pavimento permeável;

¹ O aproveitamento da água da chuva utilizando os MR não foi inserido na análise de custo posterior.

microrreservatório e bio-retenção. O Pré-controle adotou somente o microrreservatório, idealizando um aproveitamento da água da chuva no lote. Foi necessário alterar as dimensões dos dispositivos previamente calculados com a metodologia da curva envelope para respeitar a legislação de Porto Alegre e os hidrogramas naturais dos lotes. Este processo foi desenvolvido por tentativa e erro.

As simulações hidrológicas foram realizadas com o modelo IPHS1, adaptado por Souza (2005), devido à familiaridade com o modelo e por atender aos objetivos propostos para a simulação: a geração do escoamento com representação detalhada do processo de infiltração e a simulação dos dispositivos de controle do escoamento pluvial espacialmente distribuídos e com excelente resolução temporal para eventos de chuva. O IPHS1 é um sistema computacional modulado que permite ao usuário a determinação de hidrogramas de projeto em diferentes seções do sistema hídrico por meio da seleção de alguns dos modelos de uso já consagrados na literatura. Ele foi desenvolvido por Tucci *et al.* (1989) em linguagem Fortran e composto por dois grandes módulos interligados, o Módulo Bacia e o Módulo Rio. Cada módulo é formado por sub-módulos que realizam operações hidrológicas específicas (conforme Quadro 4.2) e os sub-módulos apresentam como opções diferentes algoritmos de cálculo. O módulo bacia representa o processo de transformação chuva-vazão em cada sub-bacia em que é discretizada a bacia total e o módulo rio representa o processo de propagação de vazão de cheia em rios, canais e reservatórios (Tucci *et al.*, 1989). O IPHS1 não tem a pretensão de ser mais um modelo hidrológico, mas, de permitir ao usuário, para cada fase do processo de transformação chuva-vazão, um algoritmo e compor seu próprio modelo (Villanueva *et al.*, 2004). A seguir serão descritos resumidamente os algoritmos que serão utilizados, para maiores detalhes quanto aos algoritmos ou os módulos sugere-se a leitura de Tucci *et al.* (1989), Tucci (1993) e Villanueva *et al.* (2004).

A chuva de projeto foi determinada de acordo com o Método dos Blocos Alternados, conforme descreve Tucci (1993). Para isso foram utilizadas as curvas i-d-f disponíveis para cada região do estudo de caso, conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PMPA/DEP, 2005), com objetivo de estimar a intensidade da chuva. As equações i-d-f's utilizadas foram a do 8º Distrito Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a do Aeroporto Salgado Filho, Equações 4.2 e 4.3, respectivamente. A chuva de projeto do Aeroporto foi utilizada para a micro-bacia 1 – Polônia e a chuva de projeto do 8º Distrito para as micro-bacias 2 – Frei Germano e 3 – Joaquim Leite.

$$i = \frac{1297,9T^{0,171}}{(t + 11,6)^{0,85}}$$

Equação 4.2

$$i = \frac{826,8T^{0,143}}{(t + 13,3)^{0,79}}$$

Equação 4.3

Sendo:

i = intensidade máxima da chuva, em mm/h;

T = tempo de retorno, em anos;

t = tempo de duração da chuva, em minutos.

Conforme Tassi (2002), a recomendação da maioria dos autores é de que se utilize a duração da chuva na bacia igual ao tempo de concentração da mesma. Na análise da escala de lote, com tamanhos entre 100 a 4000 m², conduziria uma duração de chuva muito pequena, de cerca de 2 até 20 minutos, levando ao sub-dimensionamento dos dispositivos de controle do escoamento pluvial para eventos mais longos. Cruz e Agra (2003) enfatizam que experiências de estudos desenvolvidos com modelos reduzidos e com simulação matemática têm demonstrado que a consideração de durações curtas para eventos de projeto podem subestimar volumes gerados para efeito de avaliação em estudos de controle do escoamento na fonte. Assim, ao invés de adotar o tempo de concentração dos lotes como o tempo da chuva, foi adotada uma duração única de 1 hora para o evento de projeto.

O tempo de retorno adotado foi de 10 anos, referindo-se ao estipulado pela legislação municipal de controle do escoamento pluvial em Porto Alegre, além de representar um risco aceitável para projetos de micro e macrodrenagem. As chuvas de projeto utilizadas são mostradas na Figura 4.6. A discretização temporal da chuva foi a mesma das simulações hidrológicas, de 0,6 segundos (ou 0,01 minutos), devido às pequenas áreas utilizadas na discretização espacial. O total precipitado na micro-bacia Polônia (chuva de projeto do Aeroporto) foi de 38,63 mm e o total precipitado nas micro-bacias Frei Germano e Joaquim Leite (chuva de projeto do 8º Distrito) foi de 50,99 mm.

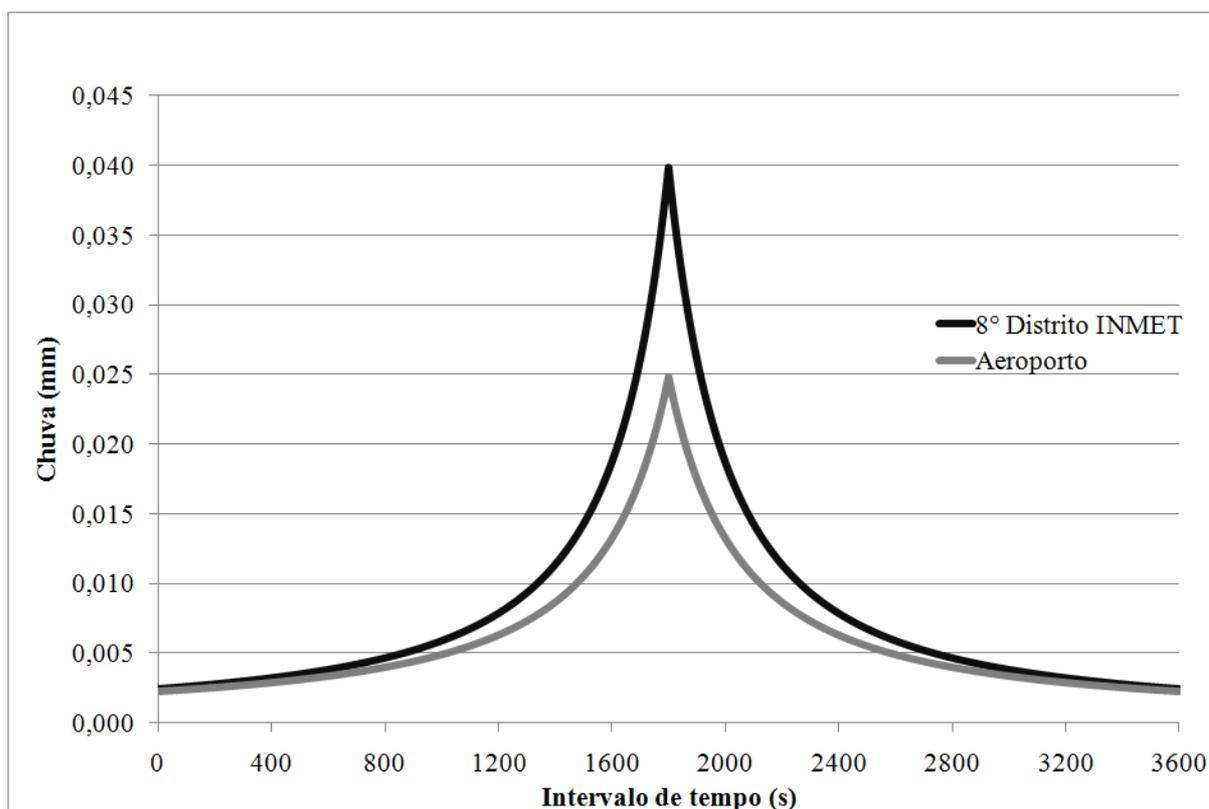


Figura 4.6. Chuvas de projeto para 8º Distrito INMET e Aeroporto.

Conforme descrito anteriormente, os lotes foram discretizados a partir da cobertura existente, determinada na etapa de classificação das imagens. As transformações chuva-vazão nas diferentes coberturas do solo foram obtidas primeiramente separando o escoamento superficial pelo método Curva Número do antigo SCS, atual NRCS, e posteriormente a propagação superficial pelo método do Hidrograma Unitário Triangular (também do NRCS), de acordo com Tucci *et al.* (1989) e Tucci (1993). Estes métodos são amplamente usados na área e são descritos no Anexo 3.

Conforme adaptações no modelo IPHS1 desenvolvidas por Souza (2005), os funcionamentos dos dispositivos de controle do escoamento pluvial foram simulados a partir do equacionamento dos processos que ocorrem nas suas operações, isto é, a infiltração e/ou o armazenamento. Os processos de infiltração e armazenamento consideraram algoritmos de amplo uso e conhecimento na área, Berthelot e Puls, respectivamente, apresentados em Tucci (1993). Berthelot (1970) utilizou a equação da continuidade em combinação com a equação de infiltração de Horton e uma função empírica para a percolação, possibilitando o cálculo da infiltração quando a precipitação é menor do que a capacidade de infiltração. O Método de Puls faz simulações de estruturas de armazenamento de água, e foi brevemente apresentado

no item 3.3. Souza (2005) inseriu sub-rotinas de bio-retenção e de trincheiras de infiltração (Quadro 4.2). No presente estudo, foi introduzida a rotina dos pavimentos permeáveis a partir da rotina das trincheiras de infiltração, adicionando a percolação pelo fundo que é desconsiderada por critério de segurança na trincheira (Souza, 2002).

Assim, em resumo, para cada área discretizada nos lotes foram realizados os processos de transformação chuva vazão e de propagação pelo método SCS, e para cada dispositivo de controle do escoamento pluvial foram realizados os processos de infiltração e armazenamento dos volumes afluentes a ele. Os volumes que eventualmente passaram pelos dispositivos foram somados nos processos de propagação de vazão das OH subsequentes. O Anexo 4 apresenta as informações que devem ser preenchidas para a realização de simulações com o IPHS1 em linguagem de programação Fortran.

4.2 Desenvolvimento dos incentivos econômicos

Nesta etapa metodológica foram analisados os tipos de incentivos econômicos que podem ser criados para a drenagem urbana. Os incentivos econômicos foram determinados para:

i) controle quantitativo do escoamento pluvial: para os cenários de pré-controle e pós-controle estabelecidos no item 4.1; e

ii) controle qualitativo do escoamento pluvial: a partir da aplicação dos questionários que faz parte do item 4.3, com perguntas sobre os sistemas de coleta dos resíduos sólidos e dos efluentes líquidos provenientes das residências.

O incentivo ao controle quantitativo do escoamento pluvial foi estudado analisando quatro metodologias: (i) cobrança pelo escoamento; (ii) taxa pelo uso do sistema de drenagem; (iii) incentivos positivos (ações voluntárias com subsídios e isenções ou reduções fiscais); e (iv) licenças comercializáveis por alterações quantitativas na drenagem urbana. Por sua vez, o incentivo econômico ao controle qualitativo do escoamento pluvial foi aplicado para induzir a ligação das propriedades ao sistema público de coleta de efluentes domésticos e a destinação adequada dos resíduos sólidos. Este incentivo foi estudado considerando a metodologia de incentivos positivos, sendo que foram analisadas as ações voluntárias com subsídios ou reduções fiscais.

4.2.1 Incentivo econômico ao controle quantitativo do escoamento pluvial

Cobrança pelo escoamento

Para Parikh *et al.* (2005) a cobrança pelo escoamento deve ser imposta a partir do momento em que o usuário do sistema de drenagem urbano destine o volume de alteração do hidrograma natural produzido em seu lote ao sistema. Os autores sugerem que o preço a ser pago deve ser igual ou superior ao custo marginal dos dispositivos de controle. As valorações dos controles quantitativos da drenagem urbana foram realizadas de acordo com os métodos de custo de reposição e custo de mitigação, admitindo, respectivamente, os dois estados de planejamento simulados no item 4.1, o pré-controle e o pós-controle. Para todos os lotes foram estimados os custos de instalação do sistema de controle do escoamento pluvial adotado. Os custos foram estimados utilizando a base de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), da Caixa Econômica Federal. A base de dados foi consultada em setembro de 2009 no sítio <<https://webp.caixa.gov.br/casa/sinapi/index.asp?menu=0>>.

As séries mensais de custos e índices SINAPI referem-se ao custo do metro quadrado de construção considerando-se os materiais, equipamentos e a mão-de-obra com os encargos sociais. Não estão incluídas as despesas com projetos em geral, licenças, seguros, administração, financiamentos, equipamentos mecânicos (elevadores, compactadores, exaustores, ar condicionado e outros). Também não estão incluídos nos cálculos os Benefícios e Despesas Indiretas - BDI.

O SINAPI calcula custos para projetos residenciais, comerciais, equipamentos comunitários, saneamento básico e emprego e renda. Para tanto, são relacionados os serviços desenvolvidos durante a execução de uma obra. Conhecendo-se os materiais e suas respectivas quantidades, bem como a mão-de-obra e o tempo necessário para realização de cada serviço (composições técnicas), é possível, tendo-se os preços e salários, calcular o seu custo. Somando-se os custos de todos os serviços determina-se o custo total de construção relativo a cada projeto.

A rede de coleta do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pesquisa mensalmente preços de materiais de construção, equipamentos e salários das categorias profissionais, junto, respectivamente, a estabelecimentos comerciais, industriais e sindicatos da construção civil, nas 27 capitais da Federação. O SINAPI apresenta um largo campo de aplicações, tais como: execução e análise de orçamentos, estimativas de custos, programação

de investimentos, reajustamentos de contratos, planejamentos dos investimentos no setor pela CAIXA e o governo federal, etc.

A partir das características construtivas dos dispositivos mostradas no Quadro 4.4 foram estabelecidas as equações de custos de cada um, considerando a escavação manual e mecânica. As equações para o Microrreservatório (MR); Pavimento permeável (PAV); Trincheira de infiltração (TRI) e Bio-retenção (BIO) são mostradas no Anexo 5.

Taxa pelo uso do sistema de drenagem

De forma semelhante à cobrança pelo escoamento, admite-se que a taxa pelo uso do sistema de drenagem deve ser aplicada a partir do momento em que o usuário urbano destine o volume de alteração do hidrograma natural produzido em seu lote ao sistema de drenagem. Assim, ele deve se responsabilizar pelo controle do escoamento pluvial que deverá ser realizado na macrodrenagem, que por sua vez, no Brasil, é (ou deveria ser) uma exigência ao município imposta pelo seu Comitê de Bacia Hidrográfica.

O incentivo foi determinado pelo rateio do custo de controle do escoamento pluvial na macrodrenagem. Foram considerados os custos dos projetos executados ou planejados para as micro-bacias do estudo de caso obtidos junto ao DEP (Quadro 4.5). Foram retirados destes custos o percentual referente à prefeitura. Isso foi realizado, simplificada, pelas relações entre as áreas totais controladas das micro-bacias e as áreas públicas existentes nas micro-bacias (praças, ruas, etc.), ponderadas pelo parâmetro Curva Número do antigo método SCS, atual NRCS. O mesmo procedimento foi adotado para os volumes, ou seja, foram retirados os volumes provenientes de áreas públicas, segundo esta relação de áreas ponderadas.

Os custos fixos para a implantação das obras foram transformados em custos anuais. Admitiu-se que foi realizado um empréstimo hipotético por parte da Prefeitura de Porto Alegre com as características dos financiamentos via Banco Nacional de Desenvolvimento Social – BNDES, como apresentado em Nascimento *et al.* (2006). Utilizou-se como taxa de juros a TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo) de junho de 2009 (6,50% ao ano), *spread* básico de 1,00% ao ano e *spread* de risco de 1,50% ao ano (valores de junho de 2009). Os valores dos projetos foram amortizados em 30 anos, que corresponde à vida útil média das obras de macrodrenagem, de acordo com a equação a seguir (Forgiarini *et al.*, 2008b).

$$CustoAnual = \frac{InvestimentoTotal * i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad \text{Equação 4.4}$$

Sendo:

i = taxa de juros em porcentagem;

n = vida útil do projeto.

Quadro 4.5. Breve descrição dos projetos da Prefeitura Municipal de Porto Alegre nas micro-bacias do estudo de caso.

Micro-bacia	Descrição dos Projetos
Polônia	Ampliação da rede de drenagem associada à construção de um reservatório de amortecimento aberto tipo detenção. Área de contribuição (ha): 49,37 Volume do reservatório (m ³): 3.956 Ano de construção: 1999 Custos - Carmona (2008) atualizado de acordo com a variação do Custo Unitário Básico entre Janeiro de 2008 e Fevereiro de 2009: Obra (R\$): 1.237.892,42 Manutenção (R\$/ano): 61.894,62(5% custo obra)
Frei Germano	Ampliação da rede de drenagem Área de contribuição (ha): 45,82 Volume equivalente de controle do escoamento pluvial promovido pela ampliação da rede de drenagem (m ³): 3.421,16 (cálculo apresentado no Anexo 2) Ano de construção: sem previsão; Custos (PMPA/DEP, 2009c): Obra (R\$): 3.402.000,00 Manutenção (R\$/ano): 170.100,00 (5% custo obra)
Joaquim Leite	Ampliação da rede de drenagem associada à construção de um reservatório de amortecimento subterrâneo tipo detenção. Área de contribuição (ha): 59,29 Volume do reservatório (m ³): 1.800 Ano de construção: previsto para 2010 Custos (PMPA/DEP, 2004): Obra (R\$): 1.254.450,40. Manutenção (R\$/ano): 62.722,52 (5% custo obra)

Com base em estudos que propuseram a criação de uma taxa sobre os serviços de drenagem (Tucci, 2002; Souza, 2005; Nascimento *et al.*, 2006; Forgiarini *et al.*, 2007) o rateio foi analisado segundo os seguintes critérios:

- Área Impermeável Total – AIT;
- Área Impermeável Efetiva de acordo com o Decreto 15.371/2006 de Porto Alegre – AIE-PoA;
- Área Impermeável Efetiva de acordo com Shuster *et al.* (2005) – AIE-Shuster;
- Alteração do hidrograma natural: vazão máxima – Q_{máx};
- Alteração do hidrograma natural: volume – Vol.

Em trabalhos da década passada diversos autores (por exemplo, Schueler, 1994; e Booth e Jackson, 1997) salientam os efeitos negativos da impermeabilidade sobre os habitats aquáticos. Schueler (1994) enfatiza que quando a cobertura impermeável total ultrapassa um limiar entre 10 e 20 por cento da área de uma bacia hidrográfica, a estabilidade dos cursos

d'água é reduzida, ocorrendo a degradação da qualidade da água e a diminuição da diversidade biológica. Booth e Jackson (1997) afirmaram que no oeste de Washington, e provavelmente em quaisquer outras regiões úmidas, cerca de 10 por cento de área impermeável em uma bacia hidrográfica proporciona a perda das funções dos sistemas aquáticos.

No entanto, atualmente, as pesquisas têm avançado para a análise das áreas impermeáveis efetivas (AIE). Shuster *et al.* (2005) dizem que embora a área impermeável total (AIT) possa refletir bem a magnitude do desenvolvimento urbano, ela não estabelece a proximidade relativa de um elemento isolado da superfície impermeável a outros elementos ou aos canais de recepção do sistema de drenagem ou fluvial. A inabilidade da AIT em representar ou integrar o fenômeno hidrológico sugere a exigência da “efetividade” para adicionar qualitativamente como a impermeabilidade pode afetar os componentes do ciclo hidrológico. Assim, de acordo com Shuster *et al.* (2005), além de analisar a extensão ou percentual das áreas impermeáveis, deve-se verificar a sua conectividade, localização e geometria para definir seu impacto sobre o ciclo hidrológico. Os autores definem a AIE como sendo o total de área superficial impermeável que é hidráulicamente conectada ao sistema de drenagem, ou seja, a área que efetivamente contribui para a geração do volume que utilizará o sistema de drenagem. Para Souza (2005) a AIE é a superfície impermeável que não for controlada por áreas a jusante com objetivo de manter os processos hidrológicos (isto é, interceptação, infiltração, evapotranspiração e geração do escoamento superficial) a taxas naturais.

O cálculo da AIE pode ser realizado, por exemplo, utilizando o Decreto nº 15.371/2006 do município de Porto Alegre, que regulamenta o controle do escoamento pluvial por meio de um reservatório de detenção. A formulação para a determinação do volume do reservatório tem como base a AIE contribuinte a este que é a soma das áreas impermeáveis e um percentual das áreas impermeáveis que conduzem o escoamento para dispositivos de infiltração. A redução das áreas impermeáveis é calculada da seguinte forma:

- Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em 50% a área que utiliza estes pavimentos;
- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com drenagem – reduzir em 40% a área de telhado drenada;

- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis sem drenagem – reduzir em 80% a área de telhado drenada;
- Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em 80% as áreas drenadas para as trincheiras.

Foram utilizados estes critérios para identificar qual(is) induz(em) o controle sustentável da drenagem urbana. Para isso eles foram aplicados para os dois estágios de planejamento simulados na primeira etapa metodológica, o pré e o pós-controle. Admitindo que quanto mais distante da fonte o controle é realizado, mais dispendioso ele fica (PGDER, 1999a), o valor da taxa incentivar o uso do controle do escoamento pluvial na fonte, pois será mais vantajoso para o proprietário controlar que pagar a taxa. Isto também foi analisado segundo os diferentes critérios estudados, uma vez que dependendo do critério utilizado a taxa não incentiva o uso de técnicas sustentáveis do controle do escoamento (Forgiarini *et al.*, 2007). Para verificar isto foi realizado um exemplo de análise da viabilidade econômica do controle comparado com o pagamento das taxas estabelecidas. Para a análise foi usado o indicador TIR, conforme item 3.4.

Incentivo positivo: ação voluntária com subsídio ou redução fiscal

O incentivo positivo ao controle quantitativo do escoamento pluvial foi analisado pela indução de ações voluntárias dos proprietários. Esta indução foi realizada por meio de subsídios da prefeitura para a implantação dos controles nos lotes ou a redução do IPTU. Assim, a prefeitura financia um percentual ou todo o valor do(s) dispositivo(s) de controle do escoamento pluvial para os proprietários que quiserem controlar seu excesso de escoamento. Foram estudados percentuais de 25, 50, 75 e 100% dos valores totais dos dispositivos determinados no item “Cobrança pelo escoamento”. A estimativa de quais valores os proprietários estão dispostos a receber nos incentivos positivos (subsídios ou reduções fiscais) foi determinada segundo o MVC, conforme será apresentado no item 4.3 a seguir.

Este incentivo é semelhante ao programa *Deschutes Water Exchange* (Hartwell e Aylward, 2007), no qual os proprietários de terras da bacia hidrográfica do rio *Deschutes* (Oregon, EUA) recebem recursos financeiros para promover a utilização eficiente da água e a manutenção da paisagem natural, com objetivo de restaurar a vazão do rio e promover benefícios aos ecossistemas da bacia e usuários de jusante. Um exemplo de subsídio foi durante a colheita de 2002, onde os agricultores receberam US\$ 7 por acre de área não utilizada para a produção agrícola (Hartwell e Aylward, 2007).

Com as ações voluntárias muitas restrições legais dos outros incentivos são evitadas, uma vez que a iniciativa é espontânea, não sendo exigido um comportamento pré-determinado aos usuários do sistema de drenagem. Além disso, considerando o custo do sistema higienista, para a prefeitura pode ser interessante contar com o voluntariado dos proprietários dos imóveis. Os usuários que não quiserem controlar pagarão a taxa pelo uso do sistema de drenagem ou a cobrança pelo escoamento, conforme incentivos anteriores, que, teoricamente, serão superiores ao gasto de controle na fonte, parcialmente ou totalmente financiado pela prefeitura.

Licenças comercializáveis por alterações quantitativas na drenagem urbana

Para este tipo de incentivo, foi analisada a possibilidade de criação de um mercado. Os volumes escoados a mais que o natural nos lotes podem ser comercializados pelos proprietários. Proprietários que não conseguem reduzir o volume escoado a mais que o natural podem pagar para proprietários que conseguem reduzir, em função de maior área disponível, por exemplo, ou outro fator, como ter a disposição em controlar. Além disso, tratando-se de um mercado, os proprietários podem fazer negócios livremente. Um grupo de proprietários que sofrem com alagamentos a jusante de uma bacia hidrográfica urbana poderá pagar para outro grupo de proprietários de montante controlar seu escoamento e, assim, solucionar os problemas a jusante.

O custo marginal médio dos dispositivos de controle do escoamento pluvial na fonte dará uma indicação dos valores a serem comercializados entre os proprietários. As disposições a pagar e a receber também poderão ser utilizadas como referência. Este tipo de incentivo econômico pode criar solidariedade entre os proprietários, sendo que todos os participantes do sistema sairiam ganhando. Os proprietários de montante saem ganhando pois receberão para controlar seu escoamento e os proprietários de jusante não terão mais prejuízos ou inconvenientes com o escoamento da água da chuva. Como exemplo, assim como a taxa, foi feita a avaliação econômica de uma transação entre dois proprietários hipotéticos de lotes, utilizando a TIR como parâmetro de análise.

4.2.2 Incentivo econômico ao controle qualitativo do escoamento pluvial

Este incentivo foi estudado em duas partes: para incentivar os proprietários ligarem suas residências ao sistema de coleta de efluentes domésticos² e destinarem adequadamente os

² Mesmo sendo obrigatória a ligação das residências às redes de esgoto sanitário implantadas, com os proprietários sendo sujeitos a ação penal de acordo com a legislação ambiental brasileira (Política Nacional do Meio Ambiente – Lei Federal 6938/1981), isto não ocorre nos municípios brasileiros.

seus resíduos sólidos. Estes são dois dos principais problemas qualitativos relacionados à drenagem urbana nos municípios brasileiros, que dizem respeito às interfaces existentes do setor com o esgotamento sanitário e a limpeza urbana.

As ações voluntárias, com subsídios e as isenções ou reduções fiscais, devem ser empregadas para o controle qualitativo do escoamento pluvial onde os sistemas de coleta dos resíduos líquidos e sólidos não funcionam adequadamente. Para os resíduos sólidos foi analisado o uso da “compra do lixo”. Ação idêntica ao programa de mesmo nome, da Prefeitura de Curitiba, que se constitui numa forma alternativa de coleta domiciliar, destinada a atender as camadas menos favorecidas da população. Podem ser utilizados incentivos na forma de cestas básicas, vales-transporte, cursos de capacitação e isenções ou reduções fiscais (quando for o caso) para aquelas famílias que se prontificarem a destinar seu resíduo sólido adequadamente. Para isso, partem-se da premissa que serão instalados meios para coleta por parte dos responsáveis, as secretarias das prefeituras.

Para o caso dos efluentes domésticos foi estudado o uso de incentivos à ligação das residências ao sistema de esgotamento sanitário, por meio de isenção das taxas de ligação e/ou reduções das taxas mensais pela coleta e tratamento dos efluentes. Estas análises citadas, para os resíduos sólidos e efluentes domésticos, foram desenvolvidas utilizando questionários, conforme item a seguir.

4.3 Validação dos incentivos econômicos

Esta etapa metodológica envolve o uso de um questionário estruturado a uma amostra dos proprietários dos lotes das micro-bacias urbanas analisadas com objetivo de validar os incentivos econômicos. Ela foi dividida em outras cinco etapas:

- i) elaboração e ordenamento das perguntas;
- ii) prova e ajuste do questionário;
- iii) prova do questionário em campo (questionário piloto);
- iv) pesquisa definitiva;
- v) processamento dos dados.

• **Elaboração e ordenamento das perguntas:** essa etapa iniciou com a formulação clara dos objetivos de aplicação dos questionários. O objetivo principal foi determinar as disposições médias a pagar e a receber dos proprietários dos lotes. Também foi objetivo

identificar prováveis relações de variáveis sócio-econômicas (gênero, renda, escolaridade e idade) e a existência ou não de alagamentos próximo às residências dos proprietários com as disposições. Além disso, conforme estudaram Jorgesen e Syme (2000), outros fatores que poderiam interferir na resposta dos proprietários foram analisados. Normalmente, no MVC os respondentes que não manifestam DAP ou DAR são retirados da análise admitindo que tal comportamento deve-se a fatores externos à análise econômica. Entretanto, é de grande relevância procurar entender o porque isso ocorre, mesmo que tal comportamento não seja associado à economia. Sendo assim, foram analisados possíveis votos de protesto ao pagamento ou recebimento por parte dos proprietários e analisadas as relações com estes valores (DAP e DAR). Ainda mais, foram inseridas questões gerais quanto à percepção e importância da drenagem urbana para os proprietários e quanto à avaliação da forma de controle adotado pelo município, os reservatórios de controle na macrodrenagem, conhecidos popularmente como piscinões. Nesta etapa procurou-se ter muito cuidado para formular um questionário de fácil entendimento com objetivo de evitar os vieses estratégico, do entrevistador e de especificação (Nogueira *et al.*, 2000). Por exemplo, foi adicionado no questionário o termo “piscinão”, quando se referia a “reservatório de amortecimento”, e “água da chuva” substituiu o termo “pluvial”;

- Prova e ajuste do questionário: após a elaboração do questionário o mesmo foi testado com colegas e os orientadores da pesquisa. Essas pessoas foram convidadas a responder e, depois, criticar o questionário. De acordo com as sugestões e críticas realizaram-se as modificações necessárias. Novamente, foram estudados e analisados o ordenamento das perguntas, sua clareza e objetividade. O questionário antes dos ajustes está no Anexo 6;

- Prova do questionário em campo (Pesquisa piloto): a pesquisa piloto foi usada para detectar problemas no questionário e erros de percepção ou expectativas enganosas por parte da população. O questionário piloto foi aplicado a 5% da população pesquisada (lotes das micro-bacias do estudo de caso), usando o método *open-ended* para a estimativa da DAP e DAR. Ou seja, os proprietários foram questionados por meio de uma pergunta aberta sobre as suas disposições a pagar ou receber. Desta forma o viés de ponto inicial é eliminado. Este viés é associado ao primeiro valor de DAP mostrado ao entrevistado. As perguntas foram: (i) para a DAP - “O(a) Sr.(a) estaria disposto(a) a pagar uma quantia a mais em sua conta de água e esgoto (todo o mês) para a prefeitura controlar o escoamento da água da chuva próximo ao seu imóvel e assim resolver os problemas atuais ou futuros? Se sim, quanto?”; (ii) para a DAR: “Agora, admitindo que a prefeitura pague uma quantia ou reduza o IPTU para o(a)

Sr.(a) controlar o escoamento da água da chuva gerado no seu imóvel, e com isso não precise pagar nada à prefeitura, o(a) Sr.(a) adotaria o controle? Se sim, quanto gostaria de receber para construir o controle no seu imóvel (lote/terreno)?” Os desvios da DAP e DAR foram utilizados para o cálculo da amostra definitiva de aplicação do questionário, utilizando:

$$n = \frac{\left(t_{v,\alpha/2}\right)^2 s^2 N}{e_o^2 (N-1) + \left(t_{v,\alpha/2}\right)^2 s^2} \quad \text{Equação 4.5}$$

Sendo:

v = graus de liberdade, n1-1;

n1 = tamanho da amostra piloto;

α = nível de significância;

$t_{v,\alpha/2}$ = percentil da distribuição de *Student*, com v graus de liberdade;

s = desvio padrão amostral;

N = população;

e_o = erro padrão;

n = amostra.

O nível de significância e o erro padrão admitidos foram de 5%. Os respondentes da amostra piloto foram 125 proprietários (aproximadamente 5% da população de 2406 lotes das micro-bacias do estudo), divididos proporcionalmente entre as micro-bacias e a posição (montante e jusante), como mostra a Tabela 4.2. Foi criada uma ordem numérica para os lotes das micro-bacias e a escolha dos respondentes foi realizada por meio da determinação de números aleatórios entre os limites desta ordem numérica.

Tabela 4.2. Tamanho da amostra piloto de acordo com as micro-bacias e a posição dos lotes (montante e jusante).

População (N) e amostra (n)	Micro-bacias						Total
	Polônia		Frei Germano		Joaquim Leite		
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	
N	770	151	567	186	618	114	2406
n	39	9	30	10	31	7	125

Dos entrevistados, 30 proprietários manifestaram possuir DAP, 77 manifestaram possuir DAR e 18 não manifestaram nenhuma disposição. As médias e desvios das variáveis foram: (i) DAP: 1,30 e 0,466; (ii) DAR: 3,88 e 0,827. Estes valores referem-se a mudança de

escala utilizada para a determinação da DAP e DAR médias. Para a DAP, os valores que os proprietários estariam dispostos a pagar para resolver os problemas de drenagem variaram de R\$ 1 a R\$ 40. A mudança de escala correspondeu ao seguinte: 1 – R\$ 0 < DAP ≤ R\$ 10; 2 – R\$ 10 < DAP ≤ R\$ 20; 3 – R\$ 20 < DAP ≤ R\$ 30; 4 – R\$ 30 < DAP ≤ R\$ 40. E na DAR os valores que os proprietários estariam dispostos a receber para realizar o controle do escoamento pluvial variaram de 25 a 100% e a mudança de escala foi: 1 – 0 < DAR ≤ 20%; 2 – 20 < DAR ≤ 40%; 3 – 40 < DAR ≤ 60%; 4 – 60 < DAR ≤ 80%; 5 – 80 < DAR ≤ 100%. As mudanças de escalas foram realizadas para diminuir os desvios das variáveis e com isso obter uma amostra reduzida. Com isso viabilizou-se a pesquisa em termos de tempo e custos. Além disso, a amostra continuou significativa para as estimativas quantitativas do trabalho.

As amostras para a DAP e DAR foram de 228 e 580, respectivamente. A existência de alagamentos e as diferenças sócio-econômicas entre as micro-bacias devem ser significativas para explicar a variabilidade das variáveis em análise. Assim, as amostras foram estratificadas proporcionalmente entre as micro-bacias e as posições, como mostra a Tabela 4.3. As posições de montante e jusante foram consideradas, devido aos alagamentos ocorrerem principalmente à jusante dos controles implantados ou planejados pela prefeitura. Conforme Ethur *et al.* (2002), quando no problema de estudo são identificados estratos, uma amostra obtida por meio do processo de amostragem estratificada proporcional tende a gerar resultados mais precisos, quando comparada com uma amostra aleatória simples. Isso ocorre pois dentro dos estratos as variáveis analisadas terão um comportamento diverso, assim, a estratificação melhora a representatividade da amostra. Este procedimento também procura evitar o viés da escolha de população e o da seleção amostral (Nogueira *et al.*, 2000). Em função da maior facilidade de obter DAR entre os proprietários dos lotes, em comparação às DAP, a amostra de DAR foi superior à calculada.

Tabela 4.3. Amostras definitivas para a estimativa da Disposição a Pagar (DAP) e da Disposição a Receber (DAR) nas micro-bacias do estudo.

Micro-bacias	Polônia		Frei Germano		Joaquim Leite		Total
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	
N	770	151	567	186	618	114	2406
Peso	32,00%	6,28%	23,57%	7,73%	25,69%	4,74%	100,00%
n DAP	73	14	54	18	58	11	228
n DAR	191	37	141	46	153	29	597
Total	315		259		251		825

- Pesquisa definitiva: A partir dos resultados da pesquisa piloto foram realizadas algumas alterações pertinentes no questionário. O questionário em sua versão final também é apresentado no Anexo 6. Em comparação com o questionário antes dos ajustes, é possível perceber as sensíveis mudanças realizadas, notadamente no ordenamento das perguntas; na facilidade de entendimento dos termos técnicos utilizados; e na retirada de algumas condições que existiam para responder as perguntas, reduzindo também a dificuldade de entendimento das perguntas e o tempo de resposta. Outra modificação introduzida na pesquisa definitiva foi nas perguntas para estimar as variáveis DAP e DAR. As perguntas foram fechadas com objetivo de facilitar o processamento dos dados posterior, sendo que o respondente deveria escolher um valor que representasse a sua disposição máxima a pagar ou receber. A escolha dos respondentes da amostra definitiva também foi realizada por meio de números aleatórios, de forma idêntica à Pesquisa piloto. Os entrevistados na Pesquisa piloto foram desconsiderados da pesquisa definitiva.

- Processamento dos dados: Essa etapa consistiu na transferência das informações contidas nos questionários para um banco de dados em um computador. Os dados foram registrados segundo a ordenação das perguntas no questionário e, após a digitação, foram realizados as correspondentes análises. No presente estudo foi utilizado o *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Foi desenvolvida uma análise econométrica, pelo método *stepwise* para verificar quais as variáveis significantes aos modelos de DAP e de DAR. Este método desenvolve a regressão passo a passo fazendo os testes de regressão automaticamente e analisando as variáveis para ver quais entrarão no modelo a partir do seu poder explicativo. Nesta regressão trabalhou-se com variáveis quantitativas apresentadas no Quadro 4.6, exceto a idade. Também foram realizados testes estatísticos com o SPSS para as variáveis qualitativas com objetivo de analisar a relação com a DAP e DAR, com as perguntas referentes aos reservatórios de amortecimento e as demais ligadas à gestão da drenagem urbana. O teste utilizado foi o Qui-Quadrado, respeitando as suas pressuposições: (i) as frequências esperadas das variáveis devem ser maiores que 1; e (ii) pelo menos 80% delas maiores que 5 (Weisstein, 2010). Utilizou-se o nível de significância de 5%. Nos casos em que as pressuposições do teste Qui-Quadrado não foram respeitadas, utilizou-se o teste Exato de Fisher.

Quadro 4.6. Variáveis quantitativas e qualitativas que foram utilizadas na pesquisa.

Tipo	Variável	Classe ou Valor
Quantitativas	Renda	Abaixo de R\$ 1.000,00; De R\$ 1.000,01 à R\$ 2.500,00; De R\$ 2.500,01 à R\$ 5.000,00; De R\$ 5.000,01 à R\$ 7.500,00; Acima de R\$ 7.500,01.
	Conta de água e esgoto	Abaixo de R\$ 10,00; De R\$ 10,01 à R\$ 25,00; De R\$ 25,01 à R\$ 50,00; De R\$ 50,01 à R\$ 75,00; De R\$ 75,01 à R\$ 125,00; De R\$ 125,01 à R\$ 200,00; De R\$ 200,01 à R\$ 300,00; Acima de R\$ 300,01.
	Idade	Resposta do proprietário
Qualitativas	Gênero	Masculino (1); e Feminino (2).
	Escolaridade	Ensino fundamental (1); Ensino médio (2); e Ensino superior (3).
	Grau de preocupação com o meio ambiente	Muito baixo (1); Baixo (2); Médio (3); Alto (4); e Muito alto (5).
	Motivo de preocupação com o meio ambiente	Existência (1); Benefícios futuros, incluído o não econômico (2); Benefícios atuais, principalmente o econômico (3); Não tenho essa preocupação (4); e Não sei (5).
	Ocorrem alagamentos?	Sim – quase sempre que ocorre uma chuva (1); Sim – algumas vezes ao ano (2); Não – mas já ocorreu no passado (3); Não – nunca ocorreu (4); e Não sei (5).

Quadro 4.6. Variáveis quantitativas e qualitativas que foram utilizadas na pesquisa (continuação).

Tipo	Variável	Classe ou Valor
Qualitativas	Sofre ou sofreu prejuízos devido aos alagamentos?	Sim (1); Não – mas tenho receio/medo que aconteça (2); e Não (3).
	Micro-bacia	Polônia (1); Frei Germano (2); e Joaquim Leite (3).
	Posição	Montante (1); e Jusante (2).
	Protestos ^a 1: É meu direito ter o serviço de drenagem urbana prestado eficientemente 2: Caso o dinheiro fosse recolhido, eu não acredito que seria gasto para resolver os problemas do escoamento da água da chuva.	Discordo totalmente (1); Discordo em parte (2); Indiferente (3); Concordo em parte (4); e Concordo Totalmente (5).

^a Para os dois protestos serão consideradas as classes apresentadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Planejando lotes urbanos sustentáveis do ponto de vista hidrológico

5.1.1 Determinação das características naturais e atuais dos lotes urbanos

Os lotes existentes nas micro-bacias de estudo são apresentados na Tabela 5.1, de acordo com os estratos de áreas. A Figura 5.1 mostra os lotes de montante, jusante e o controle do escoamento pluvial implantado na micro-bacia 1 – Polônia e planejados nas micro-bacias 2 – Frei Germano e 3 – Joaquim Leite. Para as simulações hidrológicas foram usados os lotes de montante, que contribuem com o escoamento até os projetos da prefeitura.

Tabela 5.1. Distribuição dos lotes existentes nas micro-bacias do estudo, de acordo com suas áreas.

Estratos de acordo com as áreas (m ²)	Micro-bacias						Total
	Polônia		Frei Germano		Joaquim Leite		
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	
≤150	17	2	10	4	0	0	33
150<x≤300	160	84	336	61	32	3	676
300<x≤600	415	54	166	58	423	99	1215
600<x≤900	111	2	27	15	88	8	251
900<x≤1200	31	3	12	17	26	3	92
>1200	36	6	16	31	49	1	139
Total	770	151	567	186	618	114	2406

*Em negrito, os maiores valores em cada micro-bacia.

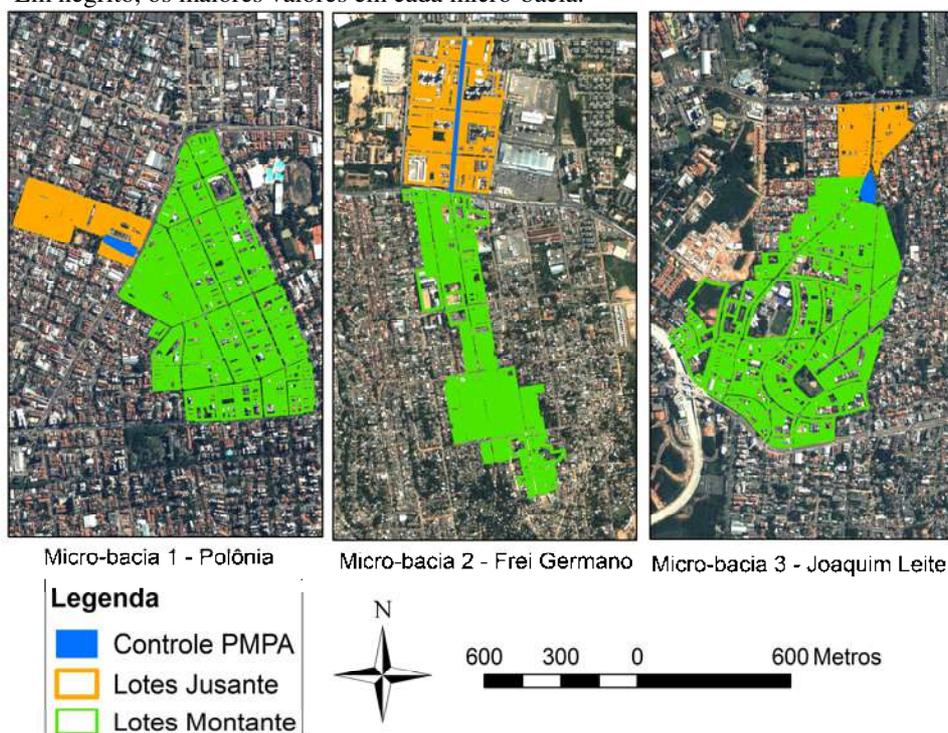


Figura 5.1. Lotes de montante e jusante e controles da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) nas micro-bacias.

As características naturais e atuais, referentes ao solo e à vegetação, foram obtidas para os estratos mostrados na Tabela 5.1. Os tipos de solos existentes foram obtidos de PMPA/SMMA (2008) e suas características principais são mostradas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1. Tipos e características principais dos solos existentes nas micro-bacias do estudo (PMPA/SMMA, 2008).

Tipo de solo	Características principais	Tipo hidrológico do solo*
Unidade de Mapeamento PV1: Grupo indiferenciado de Argilossolos Vermelho-amarelos	Solos profundos, alcançando espessuras de 1,50 m ou maior até a rocha alterada, apresentando um perfil com seqüência de horizontes A-Bt-C. Estes solos são uma composição de Argilossolos Vermelhos (PV) e Argilossolos Vermelhos-amarelos (PVA), que se diferenciam quanto à rapidez da drenagem, o primeiro é bem drenado e o segundo moderadamente drenado, mas, é um grupo de solos que normalmente não apresentam encharcamento prolongado após as chuvas.	Tipo B
Unidade de Mapeamento PV2: Associação de Argilossolos Vermelhos ou Argilossolos Vermelho-amarelos com Cambissolos Háplicos	Associação semelhante a anterior, entretanto, devido a presença do Cambissolos Háplicos, esta associação possui uma drenagem menos eficiente. Os Cambissolos Háplicos são solos rasos (inferior a 1 metro) até profundos, com uma seqüência de horizonte A-Bi-C em seu perfil. Normalmente apresentam cor amarela relacionada à presença de goetita e à limonita, que proporciona uma drenagem mais pobre.	Tipo C
Unidade de mapeamento CX: Associação de Cambissolos Háplicos com Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos	Associação que mescla a característica dos Cambissolos Háplicos com os Neossolos Litólicos e Regolíticos, que, devido a sua ocorrência em relevo fortemente ondulado a montanhos são bem drenados, entretanto, quando situados em depressões do relevo acidentado podem apresentar períodos de encharcamento devido à acumulação das águas, o que ocorre nas micro-bacias do estudo.	Tipo D
Unidade de Mapeamento SG1: Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Plintossolos Argilúvicos	Ocorre em planícies aluviais e lagunares com microrrelevo. Caracteriza-se por ser uma associação de solos mal a muito mal drenados, que ocorre pela mudança súbita no perfil do solo, de camadas mais arenosas (A e E) para uma camada mais argilosa (Btg), responsável pela retenção da água e o conseqüente encharcamento do solo, apresentando risco de inundação.	Tipo D
Unidade de Mapeamento SG2: Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos	Ocorre em áreas marginais ao longo de arroios em relevo plano. Também são solos que apresentam baixa eficiência na drenagem.	Tipo D

* De acordo com Sartori *et al.* (2006).

As características hidrológicas utilizadas para os solos foram obtidas de Fitch *et al.* (1976) apud Tucci (1998), conforme Tabela 5.2. Estas características correspondem aos parâmetros da equação de Horton e foram utilizados nas simulações hidrológicas dos lotes. Estes valores são semelhantes aos estabelecidos por Souza (2002) em ensaios com os métodos do infiltrômetro de cilindros concêntricos (duplo anel) e do poço invertido. Nos ensaios o

autor encontrou para um solo classificado como Grupo indiferenciado de Argilossolos Vermelho-amarelos (PV1), tipo hidrológico B, valores de $I_o = 200$ mm/h e I_b variando de 10 a 30 mm/h.

Tabela 5.2. Parâmetros de infiltração a Equação de Horton para os tipos de solos do Método SCS (atual NRCS).

Tipo de solo	I_o (mm/h)	I_b (mm/h)	k (s^{-1}) (10^{-3})
A	254,0	25,4	0,134 – 0,66
B	203,2	12,7	0,36 – 0,98
C	127,0	6,35	0,40 – 1,01
D	76,2	2,54	0,36 – 0,81

Sendo, I_o a taxa de infiltração inicial (solo seco); I_b a taxa de infiltração mínima (solo saturado) e k a constante de decaimento da taxa de infiltração. Foi admitido k para umidade antecedente média, situação II.

A Figura 5.2 ilustra os tipos de solos existentes nas micro-bacias do estudo e a Tabela 5.3 apresenta as áreas médias segundo os estratos dos lotes de montante. O grande predomínio nas micro-bacias 1 e 3, Polônia e Joaquim Leite, é do solo PV1, tipo hidrológico B. Já na micro-bacia 2, Frei Germano, há uma variação dos tipos de solo, tendo os solos do tipo hidrológico D (CX, SG1 e SG2) o maior predomínio. Estes resultados influenciarão diretamente o aumento dos volumes escoados e custos dos controles na bacia Frei Germano, conforme será visto nas etapas metodológicas subsequentes.

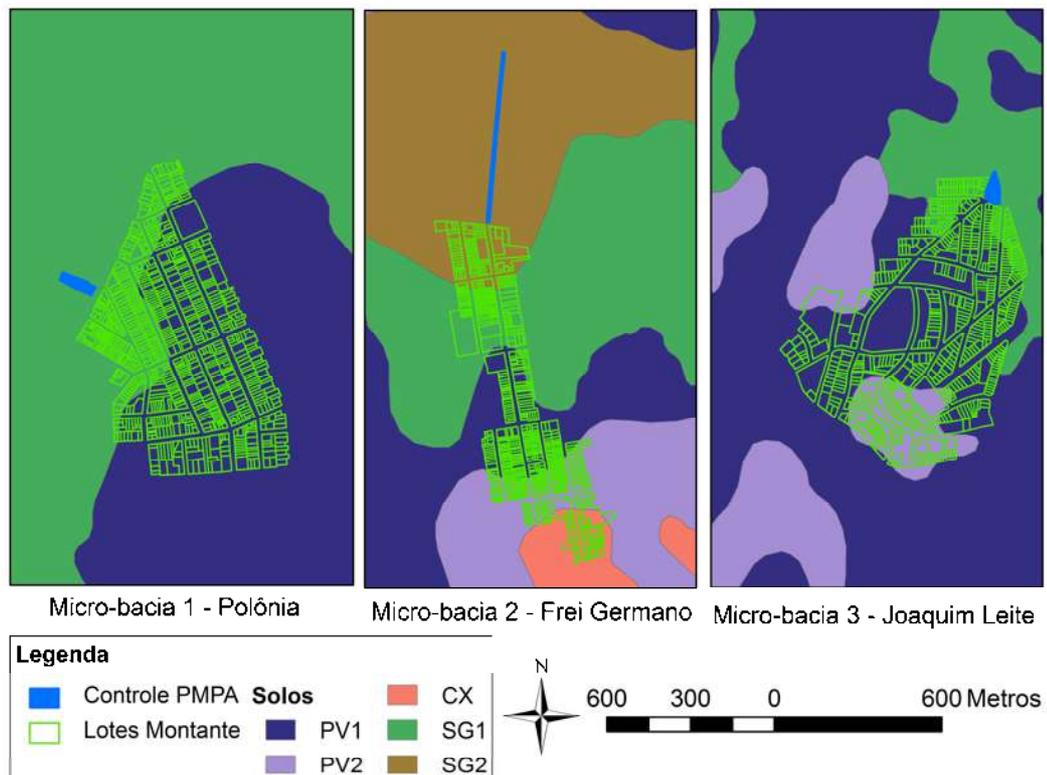


Figura 5.2. Mapa dos solos existentes nas micro-bacias.

Tabela 5.3. Áreas médias dos solos existentes nas micro-bacias do estudo, de acordo com os estratos dos lotes de montante (todos os valores em m²).

Micro-bacia	Estrato	Área média	PV1	PV2	CX	SG1	SG2
Polônia	<=150	109,12	38,71	0,00	0,00	70,41	0,00
	150<x<=300	230,99	136,89	0,00	0,00	94,10	0,00
	300<x<=600	415,30	292,89	0,00	0,00	122,41	0,00
	600<x<=900	723,74	549,65	0,00	0,00	174,09	0,00
	900<x<=1200	1.008,10	914,87	0,00	0,00	93,23	0,00
	>1200	1.903,75	1.743,36	0,00	0,00	160,39	0,00
Frei Germano	<=150	117,93	0,00	50,57	19,07	39,00	9,29
	150<x<=300	231,23	44,91	98,13	1,76	79,05	7,39
	300<x<=600	391,27	85,10	113,12	0,57	164,27	28,21
	600<x<=900	703,81	173,64	123,05	6,69	382,95	17,48
	900<x<=1200	1.003,79	129,83	66,21	0,00	472,17	335,59
	>1200	3.434,53	252,30	239,98	0,00	1.789,34	1.152,91
Joaquim Leite	<=150	-	-	-	-	-	-
	150<x<=300	260,66	147,03	37,94	0,00	75,69	0,00
	300<x<=600	424,18	266,06	81,96	0,00	76,17	0,00
	600<x<=900	722,38	566,78	123,90	0,00	31,69	0,00
	900<x<=1200	1.036,42	711,23	325,19	0,00	0,00	0,00
	>1200	3.923,10	3.140,22	642,65	0,00	140,22	0,00

A vegetação de Porto Alegre tem características resultantes da integração de espécies que migraram de diferentes regiões da América do Sul, como a Amazônia, o Chaco, a Patagônia, o Pampa e a Mata Atlântica (PMPA/SMMA, 2008). Porto Alegre é, portanto, uma região de contato destes diferentes tipos de vegetação, que ao longo do tempo – em função dos processos geológicos, de formação do relevo e do solo e, ainda, variabilidades climáticas – contribuíram para a configuração da sua vegetação.

Baseados nos mapas de vegetação natural atual, de solos, geomorfológico e geológico, Porto e Menegat (1998) reconstruíram os cenários de paisagem vegetal que existiram antes da chegada dos colonizadores, no século XVII. Assim, os autores elaboraram o mapa da vegetação potencial natural que possivelmente existiu em Porto Alegre. Analisando este mapa obteve-se a vegetação que existia na área de estudo, conforme descreve o Quadro 5.2.

De forma semelhante aos solos, para a vegetação foi identificada a sua distribuição nas micro-bacias do estudo (Figura 5.3) e definidas as áreas médias segundo os estratos dos lotes de montante (Tabela 5.4). Observa-se que na micro-bacia 1, Polônia, existia predominantemente campo com butiás e cactáceas, com a parte restante composta de mata aluvial e mata com figueiras. A micro-bacia 2, Frei Germano, era coberta por Mata Aluvial, Mosaico Vegetacional úmido com ilhas de mata com figueiras, Campo com butiás e cactáceas

e Mata baixa dos morros e coxilhas, sem um predomínio. Já a micro-bacia 3 Joaquim Leite era vegetada com Mata baixa dos morros e coxilhas e Campo com butiás e cactáceas.

Quadro 5.2. Tipos e características principais da vegetação natural reconstruída nas micro-bacias do estudo (Adaptado de Porto e Menegat, 1998).

Vegetação	Características principais
Mata Aluvial: Nomenclatura técnica – Floresta estacional semidecidual aluvial – Biótopo Natural: Floresta	Essas florestas dominaram as margens dos pequenos cursos d'água e da extensa área plana dos terraços aluviais do Lago Guaíba e do Rio Gravataí. Formada principalmente pelas espécies como o branquilha (<i>Sebastiania commersoniana</i>), o chorão (<i>Salix humboldtiana</i>) e o ingá (<i>Inga uruguensis</i>).
Mosaico vegetacional úmido com ilhas de mata com figueiras: Nomenclatura técnica – Formação pioneira de influência fluvial e floresta ombrófila densa de terras baixas – Biótopo Natural: Banhado	Um complexo vegetacional de espécies hidrófilas, como o maricá, gramíneas e ciperáceas, teve continuidade em regiões de pequenas lagoas que possuíam vegetação de macrófitas flutuantes, formando assim a paisagem norte do município. Formada principalmente por Figueiras (<i>Ficus organensis</i>) e jerivás (<i>Syagrus romanzofiana</i>).
Campo com butiás e cactáceas: Nomenclatura técnica – Estepe parque – Biótopo Natural: Campo seco	Formados pelo domínio de palmeiras de butiás (<i>Butia capitata</i>), com cerca de 8 metros de altura, que avançavam sobre os campos secos já existentes, junto com outras espécies, como as cactáceas e algumas bromeliáceas. Esta vegetação é proveniente do Chaco-pampeano (norte da Argentina e Paraguai, principalmente). Atualmente, os butiás associam-se às famílias de gramíneas (cola-de-burro, capim-caninha, vassouras, dentre outras).
Mata baixa dos morros e coxilhas: Nomenclatura técnica – floresta ombrófila densa submontana de solos rasos – Biótopo Natural: Floresta	Nesta floresta são encontradas cactáceas de grande porte como a tuna (<i>Cereus uruguayanus</i>) e, na sua periferia em contato com o campo, butiás (<i>Butia capitata</i>). Espécies como figueiras (<i>Ficus</i> spp) e a maria-mole (<i>Guapira opposita</i>), que ocorrem nas florestas altas, acompanham esta fácies de floresta baixa que avança conquistando terrenos áridos de solos pouco profundos.
Mata com figueiras: Nomenclatura técnica – floresta ombrófila densa de terras baixas – Biótopo Natural: Banhado	Formada por figueiras (<i>Ficus organensis</i>) com grandes copas alongadas segundo a direção dos ventos dominantes. Além de figueiras, ocorrem no extrato inferior, árvores de pequeno porte, com ramos tortuosos e freqüentemente armados com espinhos, e cactáceas (como o <i>Cereus uruguayanus</i>) e eventualmente palmeiras como os jerivás (<i>Syagrus romanzofiana</i>).

Em Porto Alegre, assim em como as demais grandes cidades brasileiras, a ocupação urbana tem sido um fator muito severo e rápido de alteração da vegetação. Segundo PMPA/SMMA (2008), da cobertura vegetal original, restam apenas 24,1% de remanescentes, ainda que sob diferentes graus de antropismo. São 10,2% de remanescentes campestres e 13,9% de remanescentes florestais. Praticamente em todo o território municipal a vegetação natural foi substituída por algum uso antrópico (urbanização, mineração e agropecuária). As porções que ainda guardam características da vegetação original são os campos e matas sobre os morros da metade sul e os campos e banhados do Delta do Jacuí, no extremo noroeste do município.

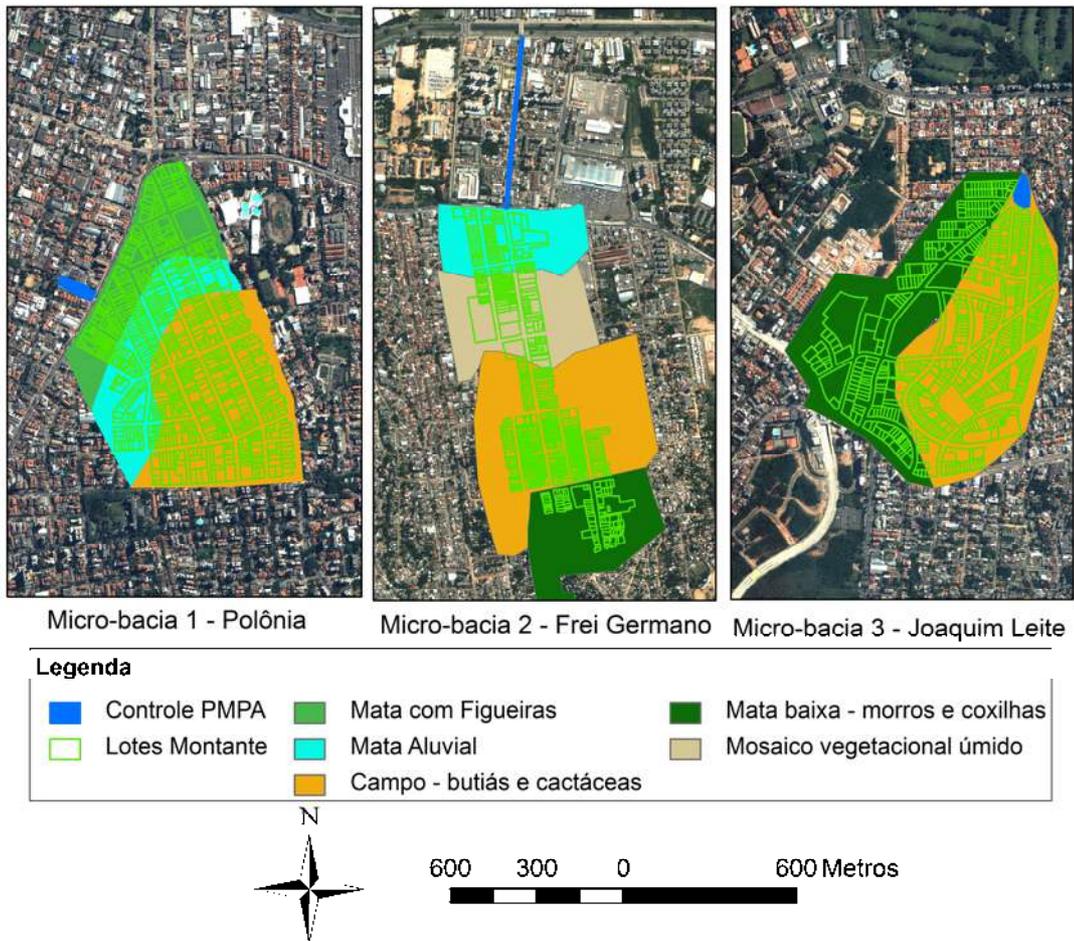


Figura 5.3. Mapa da vegetação natural reconstruída nas micro-bacias.

Tabela 5.4. Áreas médias da vegetação natural reconstruída nas micro-bacias do estudo, de acordo com os estratos dos lotes de montante (todos os valores em m²).

Micro-bacia	Estratos	Área média	Mata com Figueiras	Mata Aluvial	Campo com butiás	Mata baixa	Mosaico Vegetacional
Polônia	≤ 150	109,12	78,88	5,00	25,24	0,00	0,00
	$150 < x \leq 300$	230,99	83,46	49,84	97,69	0,00	0,00
	$300 < x \leq 600$	415,30	91,88	117,47	205,95	0,00	0,00
	$600 < x \leq 900$	723,72	170,68	135,51	417,53	0,00	0,00
	$900 < x \leq 1200$	1.008,10	139,42	85,39	783,29	0,00	0,00
	> 1200	1.903,75	480,19	403,89	1.019,67	0,00	0,00
Frei Germano	≤ 150	117,93	0,00	39,86	0,00	69,64	8,43
	$150 < x \leq 300$	231,22	0,00	26,67	111,50	29,21	63,85
	$300 < x \leq 600$	391,27	0,00	63,56	155,16	32,43	140,13
	$600 < x \leq 900$	703,81	0,00	162,02	153,50	80,17	308,12
	$900 < x \leq 1200$	1.003,79	0,00	451,41	137,03	0,00	415,34
	> 1200	3.434,53	0,00	1.495,45	38,11	239,98	1.661,00
Joaquim Leite	≤ 150	-	-	-	-	-	-
	$150 < x \leq 300$	260,66	0,00	0,00	194,97	65,69	0,00
	$300 < x \leq 600$	424,18	0,00	0,00	369,22	54,96	0,00
	$600 < x \leq 900$	722,38	0,00	0,00	490,67	231,70	0,00
	$900 < x \leq 1200$	1.036,42	0,00	0,00	676,73	359,69	0,00
	> 1200	3.923,10	0,00	0,00	2.204,51	1.718,59	0,00

A fim de verificar as alterações produzidas no uso do solo nos locais de estudo foi realizada a classificação de imagem de satélite. Para a aceitação da classificação foi utilizada uma área de validação, classificada visualmente, composta por 5 quarteirões em uma das micro-bacias do estudo de caso. A Figura 5.4 apresenta a área classificada visualmente (a) e de forma automática (b). A Tabela 5.5 mostra a matriz de confusão da comparação entre as duas classificações, admitindo a classificação visual como a verdadeira. Na comparação foram utilizadas as dez classificações iniciais, ainda sem o agrupamento em Telhados e Calçadas e com a presença da Sombra. A diagonal principal desta tabela (em cinza) representa os *pixels* classificados corretamente.

A Matriz de confusão apresenta o Erro de Omissão (ErroO), quando os *pixels* são omitidos da classificação verdadeira para serem colocados em outras classificações. E o Erro de Inclusão, quando os *pixels* são incluídos na classificação verdadeira, mas, se tratam de outra(s) classificação(ões). Na matriz de confusão a classificação verdadeira é apresentada nas colunas e a classificação comparada com a verdadeira nas linhas. As maiores confusões (em negrito na Tabela 5.5) foram entre a cobertura de concreto (clara) e cobertura metálica. O inverso também produziu confusão alta. Houve confusão também entre a cobertura fibrocimento (cinza escuro) e a pavimentação de passeio. Todavia, todas estas classes serão consideradas impermeáveis no processo de simulação hidrológica, como veremos no próximo item.

Também existiu confusão entre solo exposto e pavimentação de passeio, entre solo exposto e cobertura cerâmica e entre sombra e água (piscina). Estas confusões ocorreram devido similaridade de tons na imagem. Mas, apesar destes equívocos, o percentual global de acerto foi de 90,63% (43.676 pixels classificados corretamente dentre 48.194 no total), admitido como satisfatório. A Figura 5.5 mostra um recorte como exemplo da classificação de uso do solo realizada nas micro-bacias.

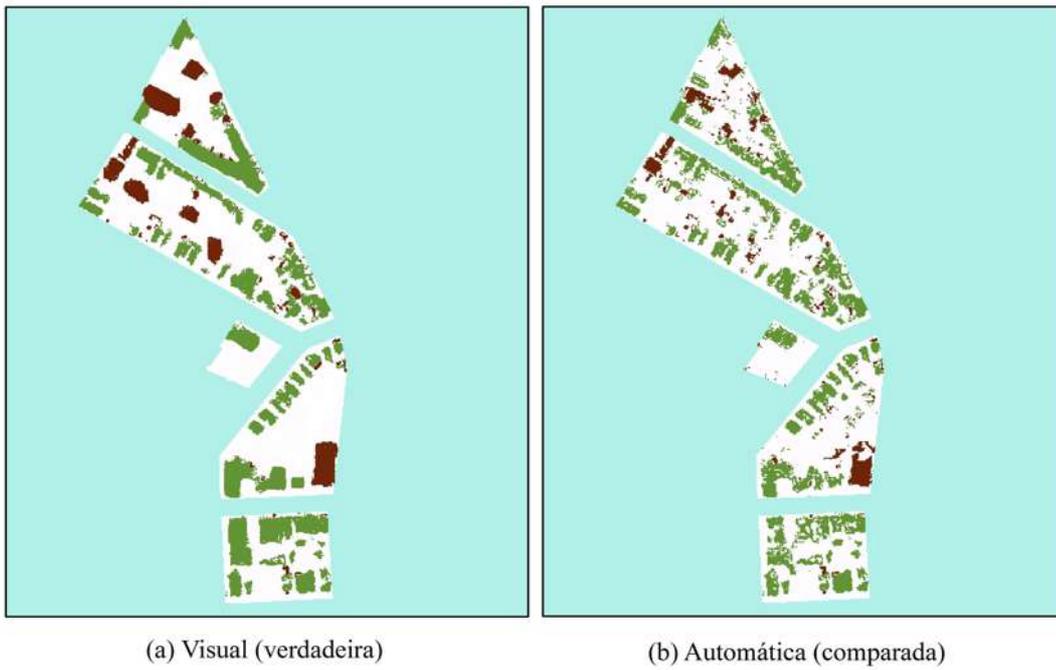


Figura 5.4. Comparação da classificação visual e automática.

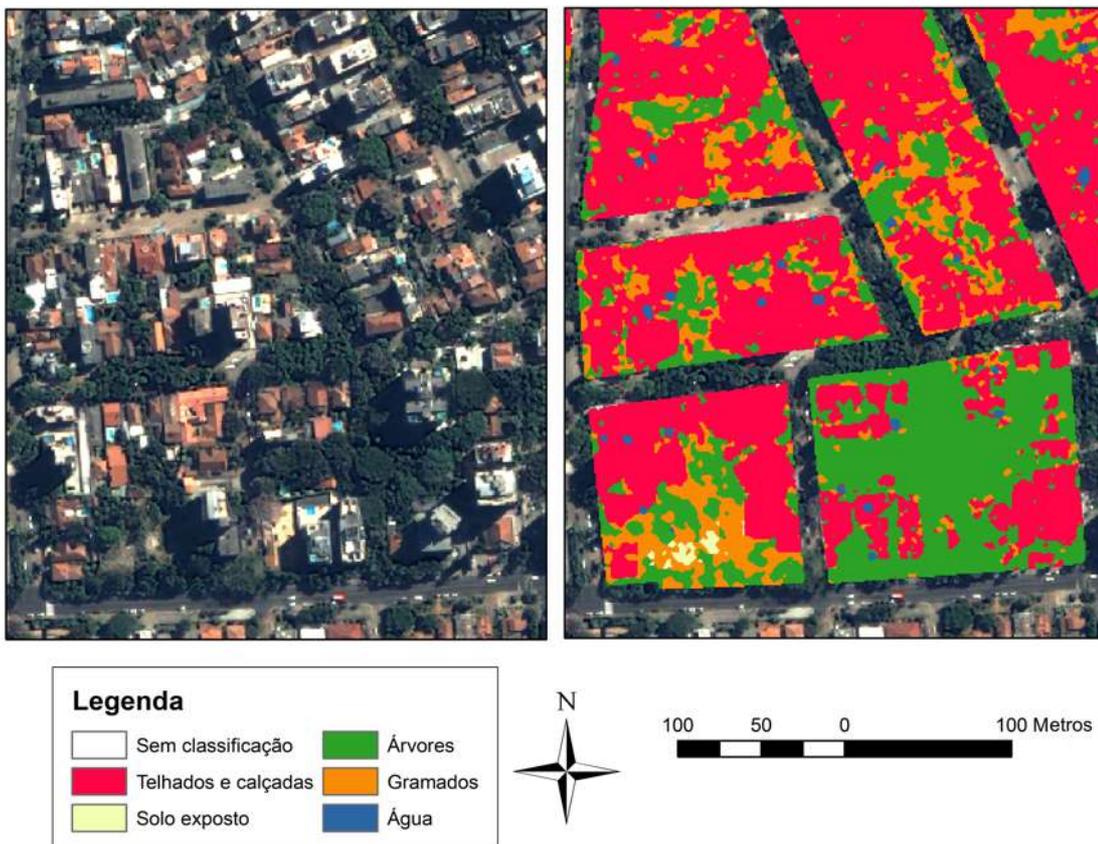


Figura 5.5. Exemplo da classificação do uso do solo na micro-bacia 1 – Polônia.

Tabela 5.5. Matriz de confusão da classificação do uso do solo.

Classificação automática	Classificação Visual – Verdadeira										Total	ErroI
	1 – cobertura cerâmica	2 – cobertura concreto	3 - cobertura fibro-cimento	4 – cobertura metálica	5 - pavimentação de passeio	6 - solo exposto	7 – árvores	8 - gramado (ou campo)	9 – sombra	10 – água (piscina)		
1 – cobertura cerâmica	11340	0	0	0	0	83	0	0	35	7	11465	0,0109
2 – cobertura concreto (clara)	0	2342	1	296	14	4	0	0	0	0	2657	0,1186
3 - cobertura fibro-cimento (cinza escuro)	1	4	5209	24	308	50	3	274	10	11	5894	0,1162
4 – cobertura metálica	0	437	0	687	2	9	5	0	0	2	1142	0,3984
5 - pavimentação de passeio	51	28	0	1	1221	395	12	5	0	7	1720	0,2901
6 - solo exposto	535	122	0	8	0	2294	18	0	0	22	2999	0,2351
7 – árvores	0	0	16	0	2	0	5739	0	448	1	6206	0,0752
8 - gramado (ou campo)	41	0	346	0	36	85	398	4608	0	0	5514	0,1643
9 – sombra	66	0	113	0	20	3	28	22	9976	62	10290	0,0285
10 – água (piscina)	0	30	0	17	0	0	0	0	0	260	307	0,1531
Total	12034	2963	5685	1033	1603	2923	6203	4909	10469	372	48194	
ErroO	0,0577	0,2096	0,0837	0,3349	0,2383	0,2152	0,0748	0,0613	0,0471	0,3011		0,0937

A Figura 5.6 apresenta o resultado final da classificação atual do uso do solo nos lotes de montante das micro-bacias do estudo. Na Tabela 5.6 e na Tabela 5.7 são apresentadas as classes em termos gerais para as micro-bacias e a separadas quanto à permeabilidade, respectivamente. A micro-bacia Polônia apresenta maior urbanização e uma menor presença de solo exposto devido a pouca existência de praças e lotes ainda não edificadas. Na micro-bacia Frei Germano existe uma urbanização crescente, com maior presença de solo exposto em lotes ainda não edificadas e os lotes edificadas caracterizam-se pela existência de gramados nos pátios. Já na micro-bacia Joaquim Leite os lotes apresentam maior quantidade de árvores e piscinas, função da maior classe econômica dos proprietários. Comparativamente, a micro-bacia Polônia possui uma urbanização consolidada há algumas décadas, enquanto às outras são urbanizações recentes no município. As tabelas seguintes (Tabela 5.8, Tabela 5.9 e Tabela 5.10) mostram as classes de uso do solo atual segundo os estratos para as micro-bacias.

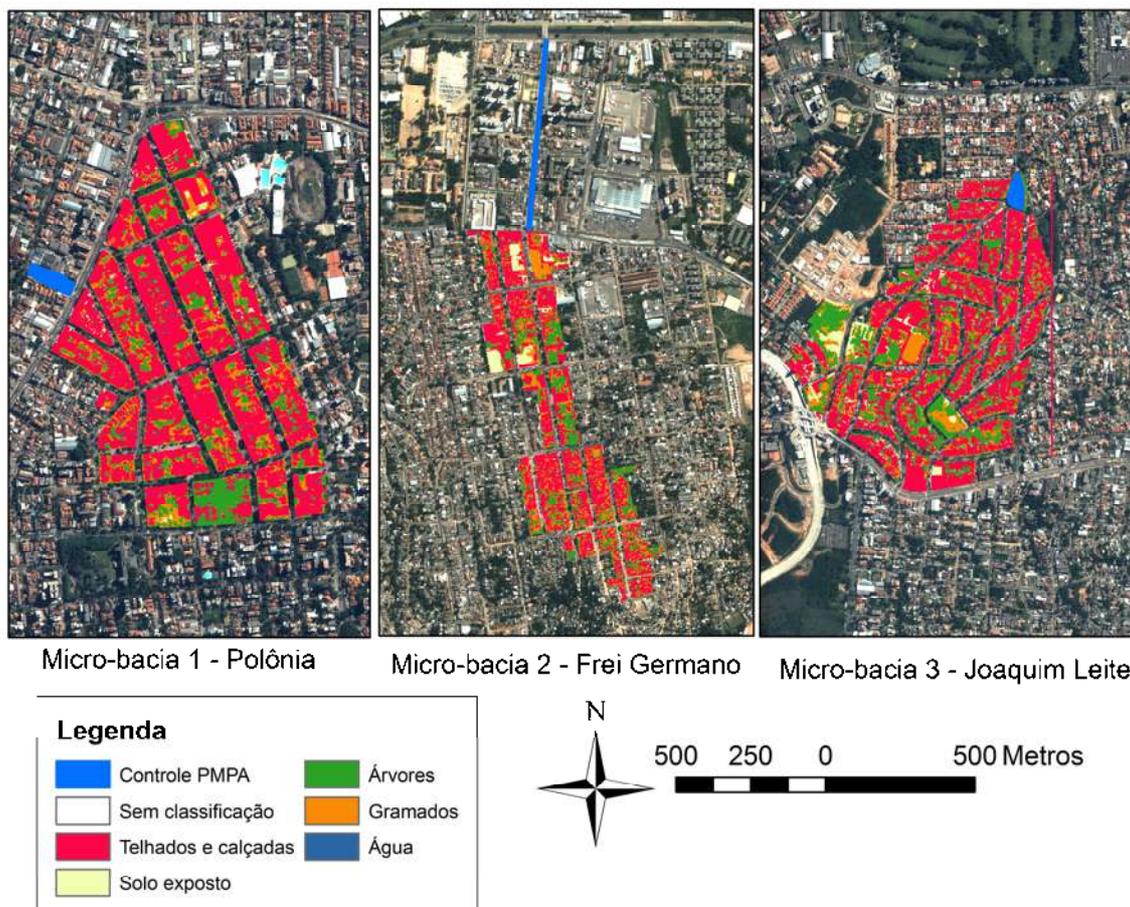


Figura 5.6. Classificação do uso do solo atual nos lotes de montante nas micro-bacias.

Tabela 5.6. Áreas totais dos lotes por unidade de classificação em cada micro-bacia.

Classe	Polônia		Frei Germano		Joaquim Leite		Total	
	m ²	%						
Calçadas e Telhados	258.720,68	66,12%	248.822,36	62,03%	265.570,61	56,49%	773.113,65	61,23%
Solo exposto	4.062,77	1,04%	19.118,96	4,77%	20.201,68	4,30%	43.383,40	3,44%
Árvores	67.823,02	17,33%	54.894,22	13,68%	103.687,66	22,06%	226.404,90	17,93%
Gramados	58.153,16	14,86%	77.483,66	19,31%	73.126,33	15,56%	208.763,15	16,53%
Água	2.538,62	0,65%	839,17	0,21%	7.510,83	1,60%	10.888,63	0,86%
Total	391.298,25	100,00%	401.158,37	100,00%	470.097,11	100,00%	1.262.553,73	100,00%

Tabela 5.7. Áreas totais dos lotes permeáveis e impermeáveis em cada micro-bacia.

Classe	Polônia		Frei Germano		Joaquim Leite		Total	
	m ²	%						
Permeável	130.038,95	33,23%	151.496,84	37,76%	197.015,66	41,91%	478.551,45	37,90%
Impermeável	261.259,30	66,77%	249.661,53	62,24%	273.081,45	58,09%	784.002,28	62,10%
Total	391.298,25	100,00%	401.158,37	100,00%	470.097,11	100,00%	1.262.553,73	100,00%

Tabela 5.8. Áreas médias dos lotes classificadas por extrato de área na Micro-bacia 1: Polônia.

Estrato	n	%	Área média	Calç,e Telh,	Solo exp,	Árvores	Gramados	Água
<=150	17	2,21%	109,50	82,99	2,52	10,24	13,75	0,00
150<x<=300	160	20,78%	230,92	169,12	2,94	24,66	33,48	0,72
300<x<=600	415	53,90%	415,30	281,79	2,56	61,73	66,63	2,58
600<x<=900	111	14,42%	723,72	488,48	6,77	116,01	107,19	5,26
900<x<=1200	31	4,03%	1008,25	673,99	6,71	218,54	101,62	7,39
>1200	36	4,68%	1904,24	1060,91	42,39	512,04	273,97	14,97
Total	770	100,00%						

Tabela 5.9. Áreas médias dos lotes classificadas por extrato de área na Micro-bacia 2: Frei Germano.

Estrato	n	%	Área média	Calç,e Telh,	Solo exp,	Árvores	Gramados	Água
<=150	10	1,76%	117,34	84,11	3,64	12,27	17,32	0,00
150<x<=300	336	59,26%	231,20	159,96	3,41	23,57	43,94	0,31
300<x<=600	166	29,28%	391,31	256,29	4,82	43,64	86,00	0,56
600<x<=900	27	4,76%	703,87	399,81	5,00	144,22	153,91	0,94
900<x<=1200	12	2,12%	1.003,75	559,73	46,21	156,52	240,22	1,07
>1200	16	2,82%	3.434,09	1.993,74	320,90	531,78	576,64	11,05
Total	567	100,00%						

Tabela 5.10. Áreas médias dos lotes classificadas por extrato de área na Micro-bacia 3: Joaquim Leite.

Estrato	n	%	Área média	Calç,e Telh,	Solo exp,	Árvores	Gramados	Água
<=150	0	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150<x<=300	32	5,18%	260,63	189,99	4,91	29,17	32,94	3,63
300<x<=600	423	68,45%	423,58	297,03	5,67	66,24	46,29	8,35
600<x<=900	88	14,24%	721,92	451,39	13,89	154,88	83,59	18,18
900<x<=1200	26	4,21%	1.036,12	539,54	33,71	309,10	133,56	20,20
>1200	49	7,93%	3.920,69	1.634,59	317,34	1.082,99	850,26	35,51
Total	618	100,00%						

Na Tabela 5.11 e Figura 5.7 são apresentados os resultados quanto às áreas permeáveis e impermeáveis nos lotes de cada micro-bacia. É possível identificar que os menores lotes tendem a ter maior impermeabilização, refletindo a busca de um maior aproveitamento da

área em lotes menores. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Costa Júnior e Barbassa (2006). No entanto, os valores não foram tão elevados quanto aos encontrados por estes autores, de até 95% de ocupação nos lotes. Este índice é extremamente elevado e reflete a característica de alguns municípios do interior de São Paulo, tais como Jaboticabal e São Carlos, onde foi realizada a pesquisa. Já em Porto Alegre, existe uma maior quantidade de vegetação, tanto nas ruas quanto nas residências, refletindo no valor máximo encontrado de percentual de área impermeável nos lotes de cerca de 77%. A taxa de ocupação máxima em Porto Alegre é de 75%, podendo ser aumentada até 90% no caso de transferência de potencial construtivo (PMPA/SPM, 1999).

Tabela 5.11. Áreas permeáveis e impermeáveis de acordo com os estratos dos lotes de montante nas micro-bacias.

Classe	Micro-bacia	≤ 150	$150 < x \leq 300$	$300 < x \leq 600$	$600 < x \leq 900$	$900 < x \leq 1200$	> 1200
Permeável (%)	Polônia	24,21%	26,45%	31,53%	31,78%	32,42%	43,50%
	Frei Germano	28,32%	30,68%	34,36%	43,07%	44,13%	41,62%
	Joaquim Leite	-	25,71%	27,91%	34,96%	45,98%	57,40%
	Geral	26,19%	29,18%	32,35%	34,27%	39,32%	47,82%
Impermeável (%) - TOI	Polônia	75,79%	73,55%	68,47%	68,22%	67,58%	56,50%
	Frei Germano	71,68%	69,32%	65,64%	56,93%	55,87%	58,38%
	Joaquim Leite	-	74,29%	72,09%	65,04%	54,02%	42,60%
	Geral	73,81%	70,82%	67,65%	65,73%	60,68%	52,18%

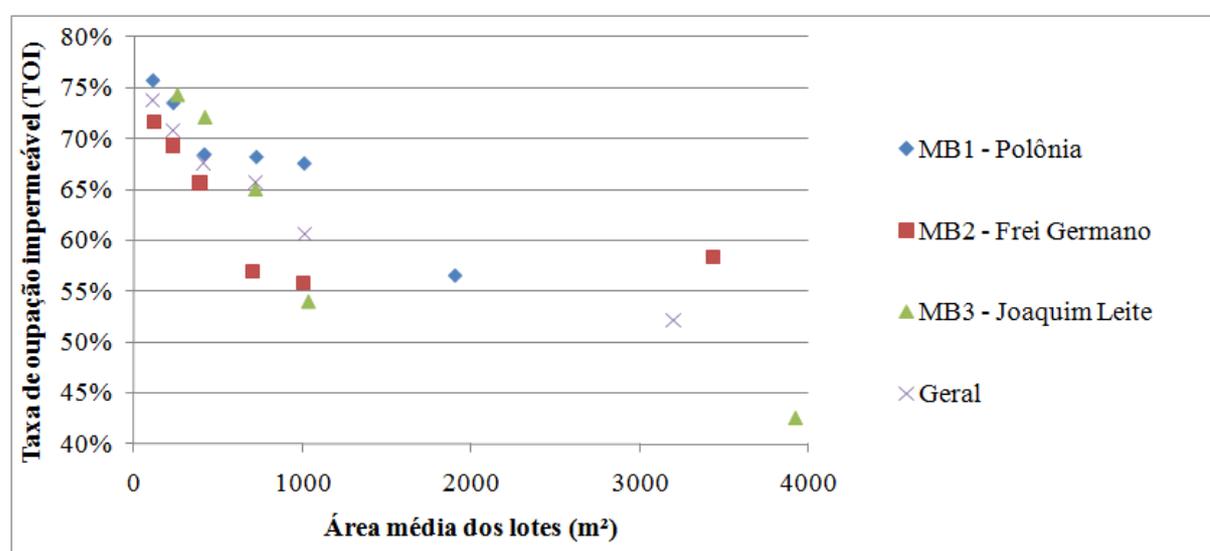


Figura 5.7. Taxa de ocupação impermeável nos lotes de montante nas micro-bacias.

5.1.2 Simulação hidrológica dos lotes

A partir das características médias obtidas para os estratos dos lotes foram estabelecidas as configurações dos mesmos. Como exemplo, as figuras a seguir (Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11) mostram as configurações do lote com área média de

415,30 m² do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia. Para todos os lotes foram construídas configurações semelhantes, que em seguida foram simuladas hidrológicamente com a chuva de projeto. Foram estabelecidas as configurações de solos (Figura 5.8a), da vegetação natural com as OH discretizadas (Figura 5.8b), da cobertura atual (Figura 5.9a) e do LID segundo recomendações de Cruz *et al.* (2007) (Figura 5.9b). Na Figura 5.10 (a e b) são mostradas as OH determinadas para o lote configurado de acordo com a cobertura atual e o de acordo com o LID. Posteriormente foram inseridos os dispositivos de controle do escoamento pluvial, dimensionados pela metodologia da Curva Envelope, descrita por Silveira e Goldenfum (2007) e mostrada no item 8.1, para o Pós-controle (Figura 5.11a) e o Pré-controle (Figura 5.11b).

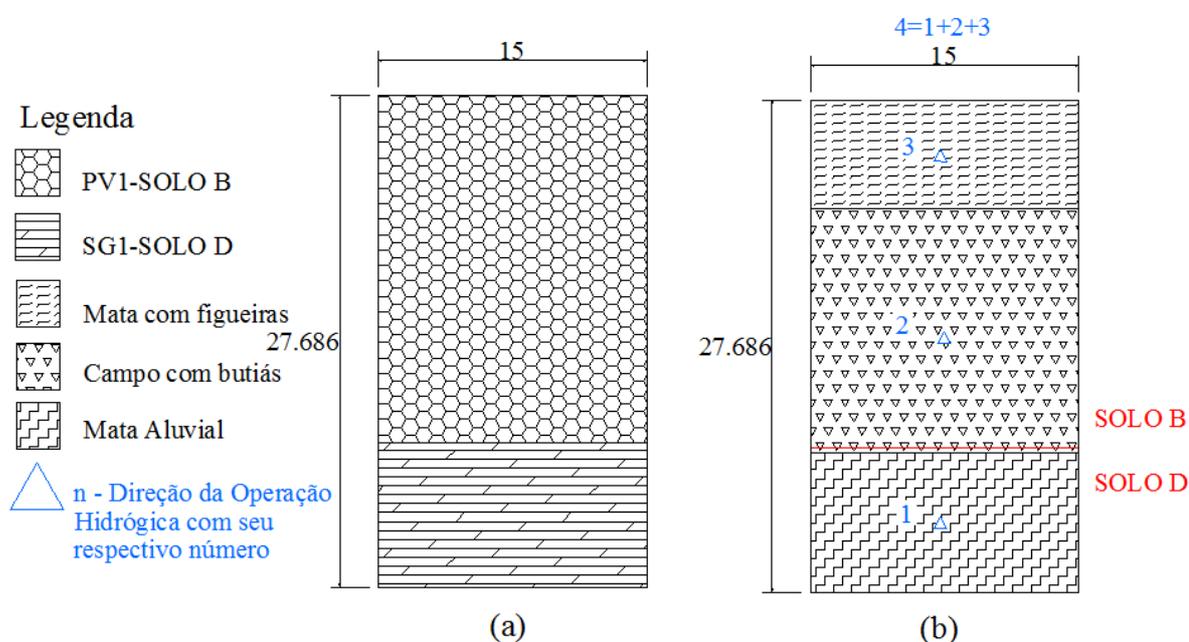


Figura 5.8. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Solos; (b) Vegetação natural com operações hidrológicas.

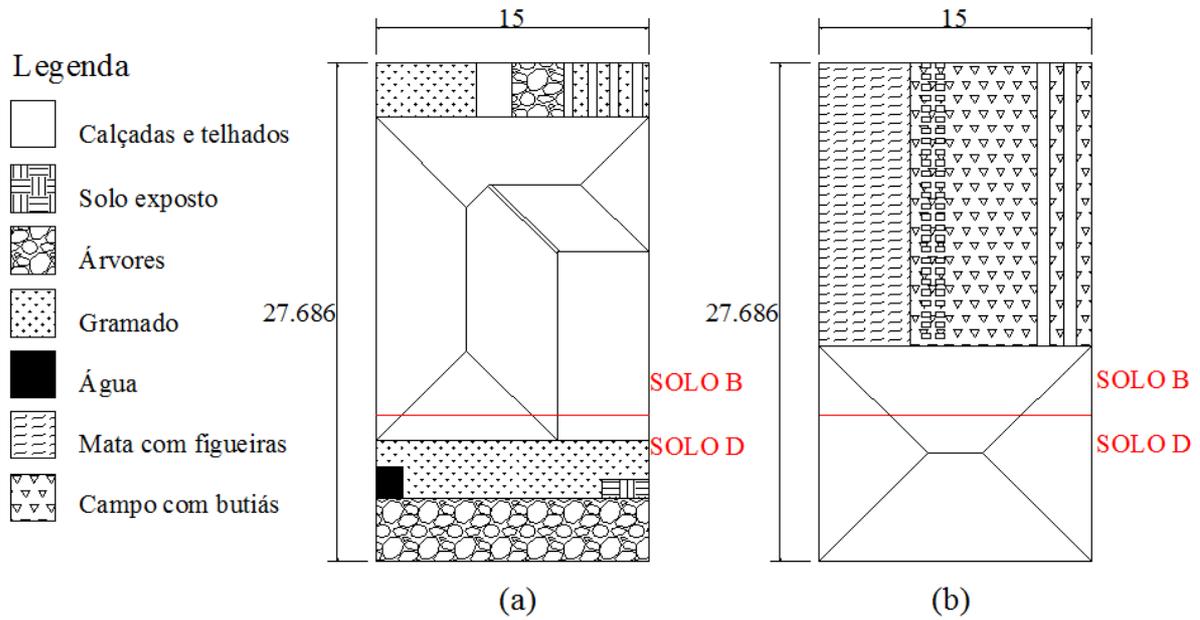


Figura 5.9. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Cobertura atual; (b) Planejamento segundo LID.

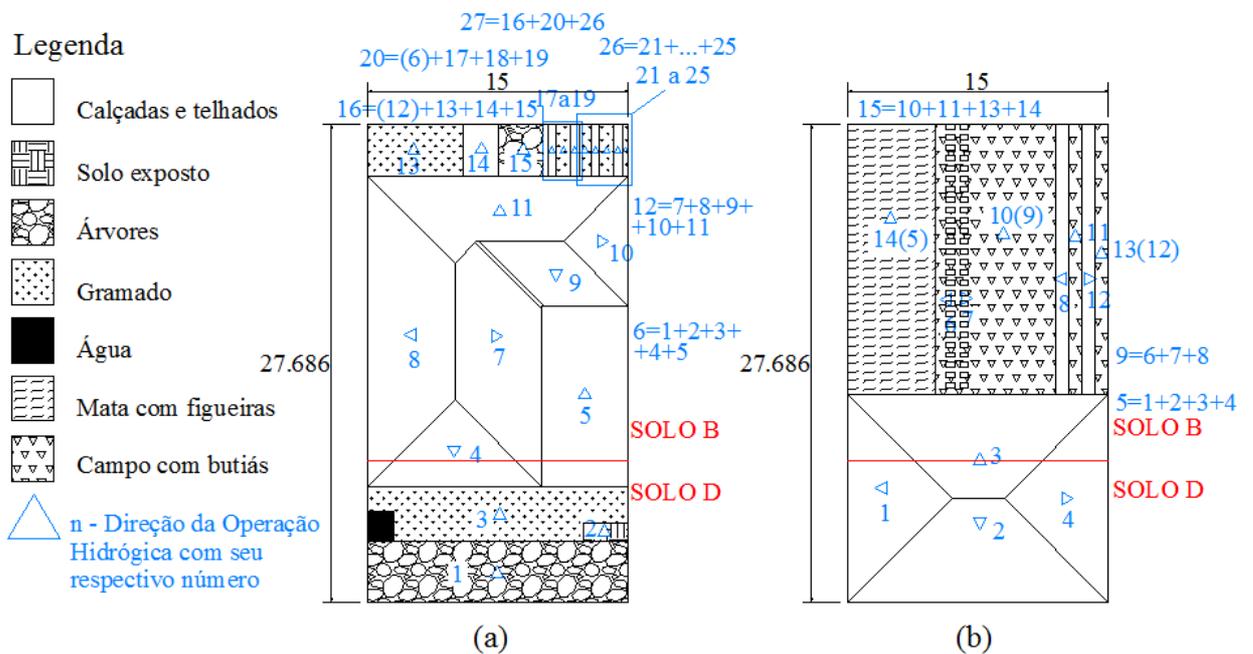


Figura 5.10. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Cobertura atual com operações hidrológicas; (b) Planejamento segundo LID com operações hidrológicas.

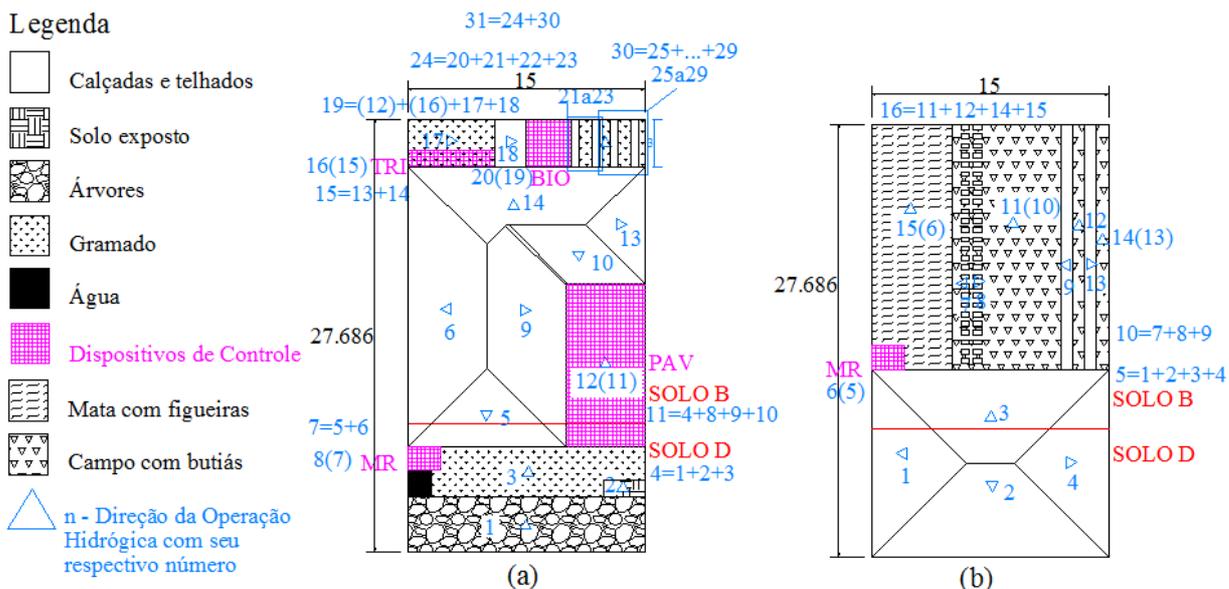


Figura 5.11. Configuração do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia: (a) Pós-controle com operações hidrológicas; (b) Pré-controle com operações hidrológicas.

Cabe fazer uma explicação para a determinação das áreas de contribuição aos dispositivos. Primeiramente, tratando-se do Pós-controle (Figura 5.11a), o Microrreservatório (MR), Operação Hidrológica 8 (OH 8), recebe o escoamento da OH 7, que é a soma de dois hidrogramas de duas áreas de telhados, OH 5 e OH 6. O Pavimento Permeável (PAV), OH 12, recebe o escoamento da OH 11. A OH 11 é a soma dos hidrogramas de uma área de árvores (OH 1), de um solo exposto (OH 2), de um gramado (OH 3), do volume que eventualmente seja descarregado do MR (OH8) e de duas áreas de telhados, OH 9 e OH 10. A Trincheira de Infiltração (TRI), OH 16, recebe o escoamento da OH 15, soma de hidrogramas de outras duas áreas de telhados, OH 13 e OH 14. O mesmo foi feito para a Bio-retenção (BIO), OH 20, que recebe o escoamento da OH 19. A OH 19 é a soma dos volumes que eventualmente saiam do pavimento permeável e da trincheira de infiltração, OH 12 e OH 16, respectivamente, de uma área de gramado (OH 17) e outra área calçada (OH 18).

Segundo as configurações dos lotes chegou-se aos CNs médios mostrados na Figura 5.12. Os valores foram determinados em função do tipo de solo e a cobertura conforme tabelas do Anexo 3. Na figura percebe-se o aumento do parâmetro em função da impermeabilização no cenário atual e a diminuição com o planejamento segundo o LID. Para a micro-bacia Frei Germano a redução do parâmetro não foi tão significativa (Figura 5.13) quanto às outras bacias devido aos tipos de solo que existem nesta região, predominantemente solos do tipo hidrológico D, com baixa permeabilidade. A alteração do CN impacta

significativamente nos resultados de simulação hidrológica de uma área (Allasia e Villanueva, 2007). Allasia e Villanueva (2007) analisaram a variação de parâmetros de modelos comumente empregados e concluiu que o parâmetro CN é o mais sensível. O autor demonstra que para um incremento de uma unidade no CN foram encontradas variações de entre 8 e 10% na vazão, o que representa um incremento de 5% no custo. No presente estudo, em média, quando comparados os lotes atuais com os lotes planejados previamente (LID) obteve-se uma redução de 6,33 no parâmetro CN (mínimo 2,12 e máximo 11,16), conforme Figura 5.13. Assim, o planejamento prévio dos lotes proporciona uma redução significativa nos volumes escoados.

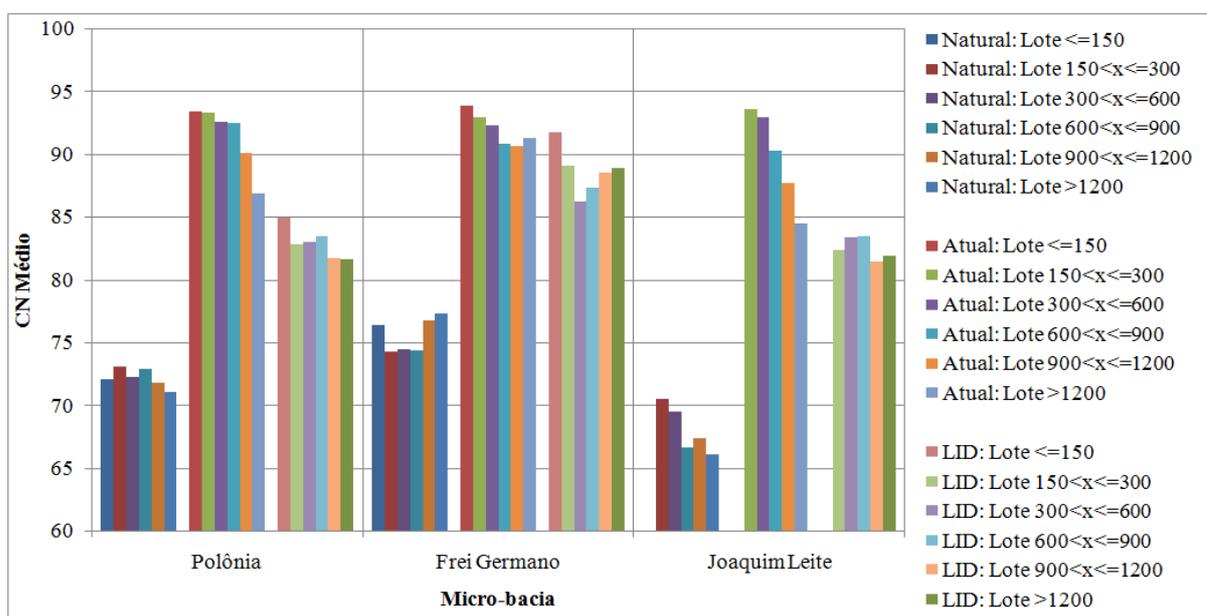


Figura 5.12. Parâmetro CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.3 no Anexo 7)³.

Como exemplo, as simulações desenvolvidas para o lote com área média de 415,30 m² do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia são mostradas na Figura 5.14 e Figura 5.15. Nas figuras observam-se os menores valores de vazões máximas que devem ser obtidas para respeitar a legislação municipal. Os “degraus” mostrados nos hidrogramas de Pós-controle natural e da lei (retângulos vermelhos na Figura 5.14) representam os momentos em que os dispositivos de controles utilizados extravasam e seus volumes são contabilizados na saída dos lotes. Tassi (2002) e Souza (2005) também observaram este comportamento dos hidrogramas em suas simulações.

³ As informações apresentadas em algumas figuras deste capítulo também foram apresentadas em forma de tabela no “Anexo 7: Tabelas de apoio”, com objetivo de facilitar o entendimento.

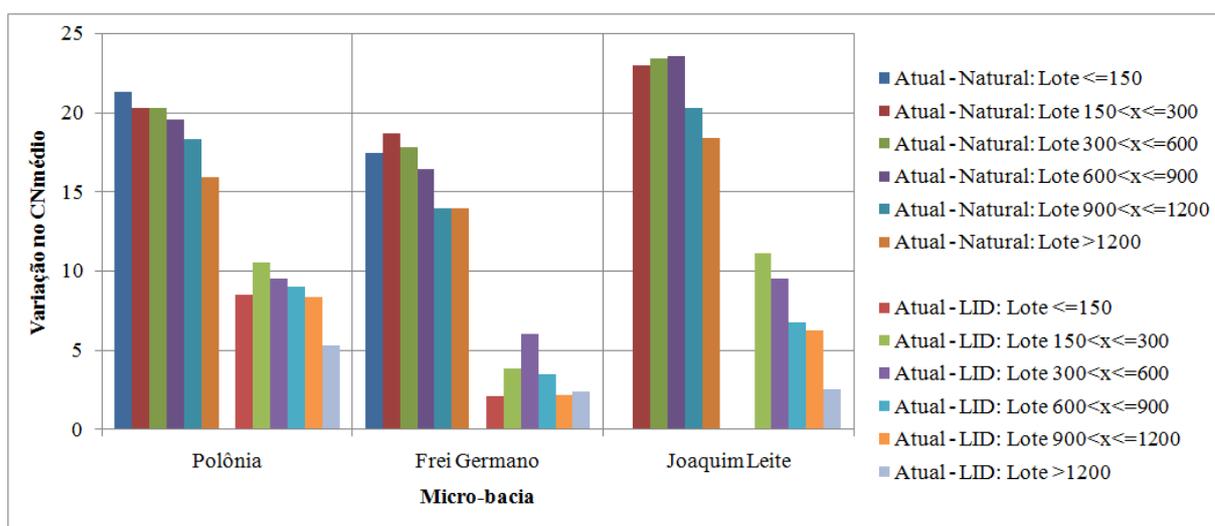


Figura 5.13. Variação no CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.4 no Anexo 7).

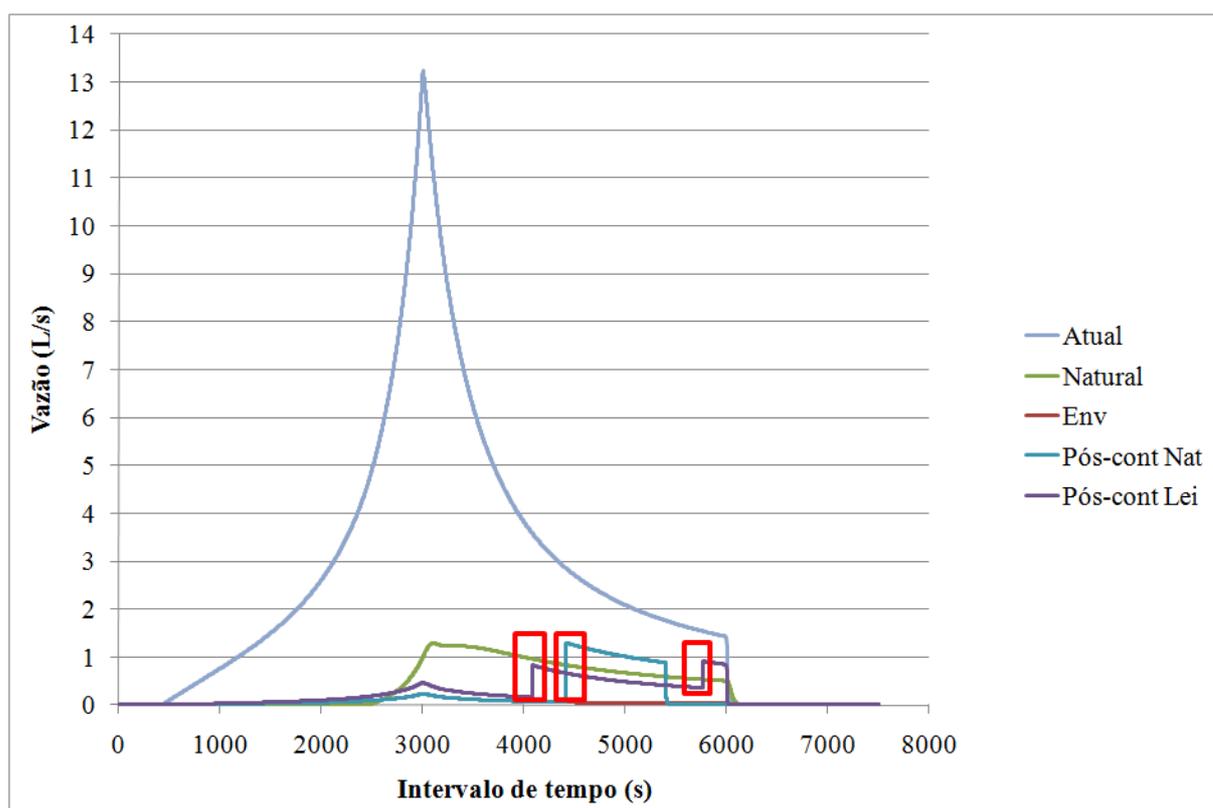


Figura 5.14. Simulações de pós-controle do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia.

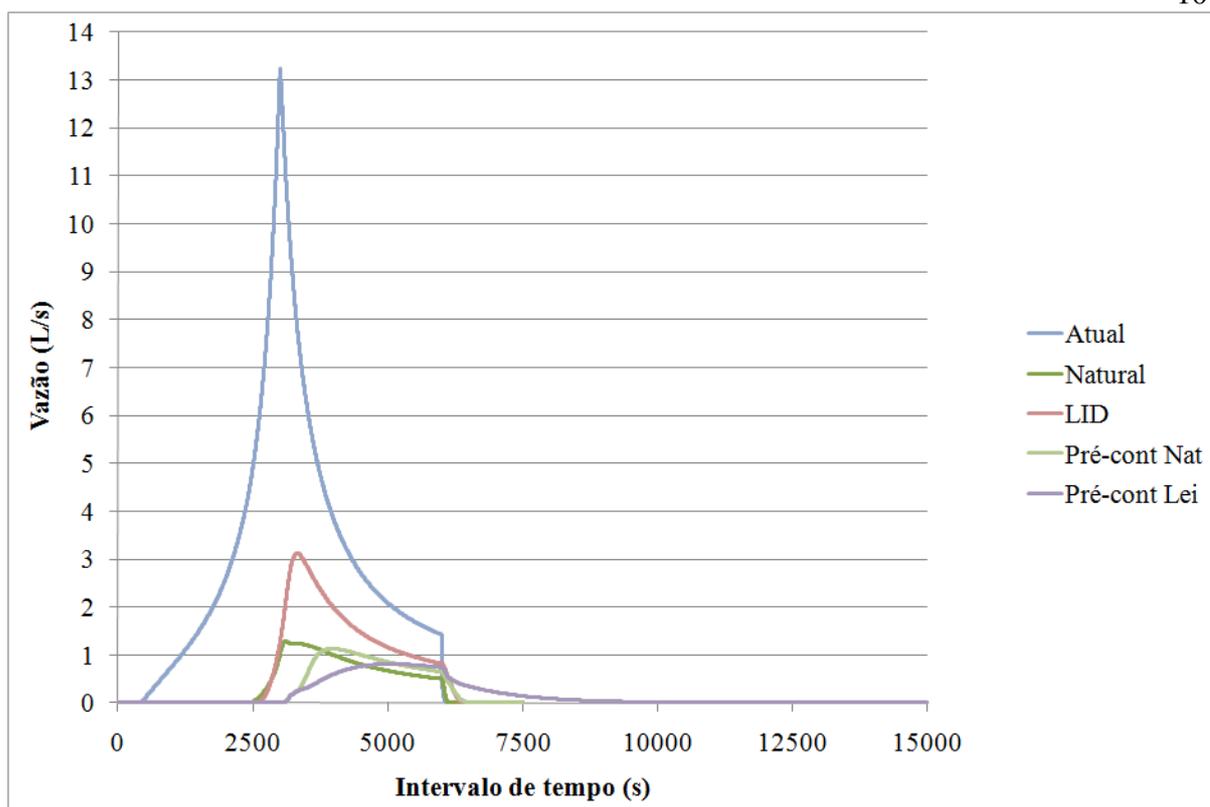


Figura 5.15. Simulações de pré-controle do lote do estrato 300-600 da micro-bacia 1 – Polônia.

Os resultados das simulações dos lotes naturais, atuais e planejados segundo o LID são mostradas na Figura 5.16 e Figura 5.17. Os maiores volumes escoados estão na bacia Frei Germano, que também apresentou as maiores vazões específicas, em função das características dos solos existentes e a chuva com maior intensidade em sua série histórica. Na micro-bacia Polônia a chuva normalmente é menor, explicando o volume e vazão específica menores.

Percebe-se que o planejamento segundo o LID não apresentou volumes idênticos aos atuais. Contudo, ressaltasse que houve uma redução sensível nos volumes escoados sem o uso de nenhum tipo de dispositivo de controle do escoamento pluvial nessa simulação. Este resultado é importante, pois modificando apenas a ocupação do lote a partir, principalmente, do conhecimento das características dos solos, chega-se a reduções importantes de volumes escoados. As vazões específicas (vazões médias divididas pelas áreas) variaram de 4 a cerca de 8,5 m³/s/Km² nos lotes atuais, valores semelhantes aos encontrados por Tucci (2000), Souza (2008) e Medeiros e Casado (2009). As maiores vazões específicas foram encontradas na micro-bacia Frei Germano, devido a combinação de chuvas mais intensas (8º Distrito INMET - Figura 4.6) e maiores CNs (Figura 5.12).

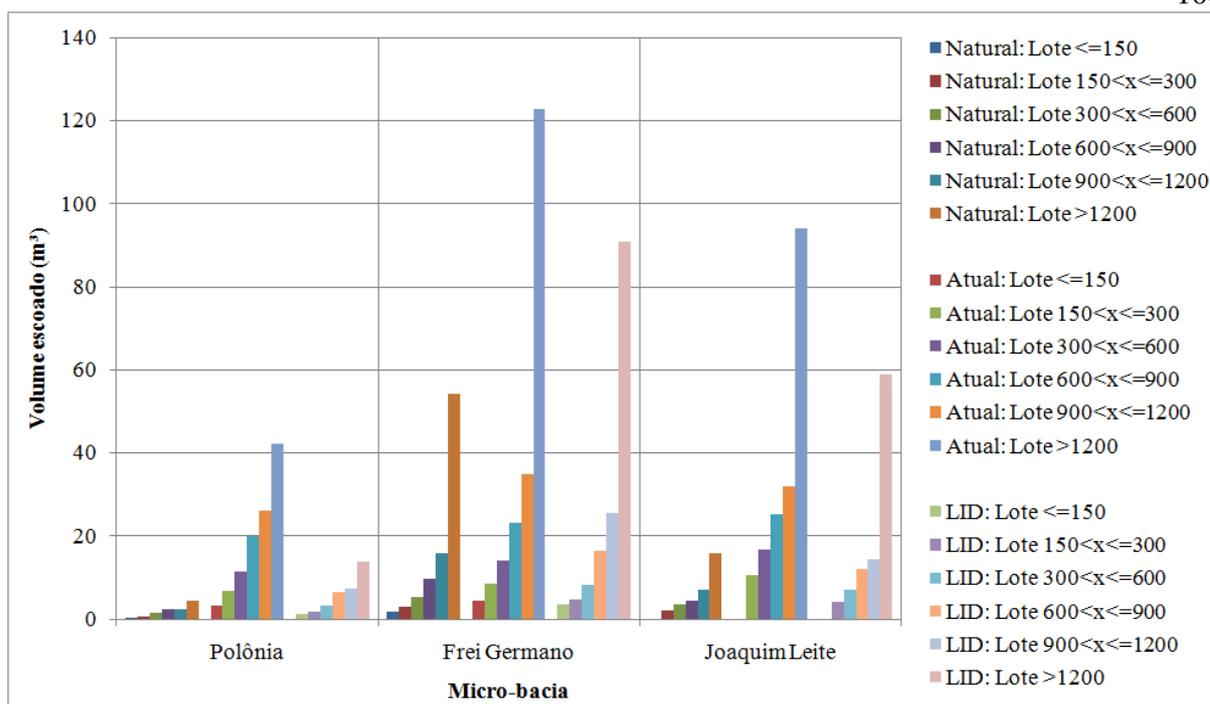


Figura 5.16. Volumes escoados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.5 no Anexo 7).

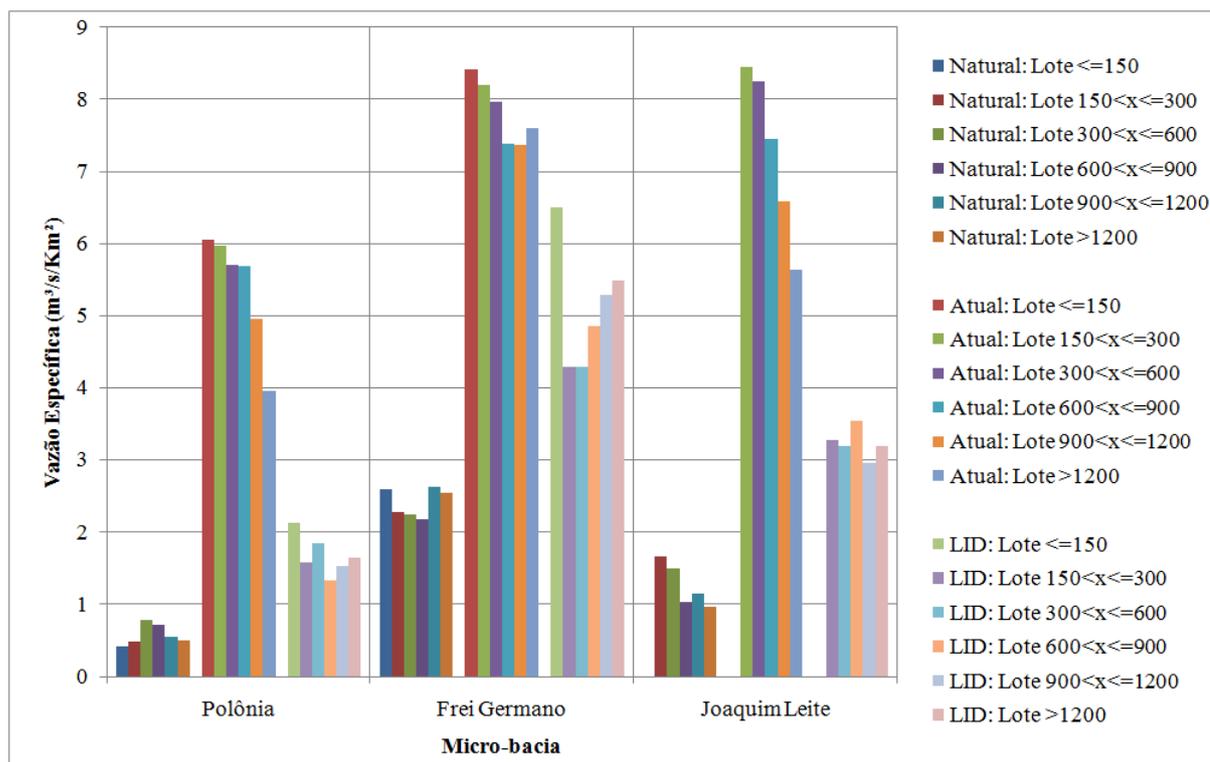


Figura 5.17. Vazões específicas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.6 no Anexo 7).

A Figura 5.18 e a Figura 5.19 apresenta quantas vezes são maiores os volumes e vazões específicas dos lotes atuais em comparação com os lotes naturais e os planejados

segundo o LID. Os volumes escoados nos lotes atuais aumentaram em média 6,2 vezes, variando de 2 até quase 16 vezes. Quando comparados os volumes escoados atuais com os volumes escoados com os lotes planejados pelas técnicas do LID pode-se perceber a redução obtida com o planejamento prévio dos lotes. É possível reduzir cerca de quatro vezes o volume escoado. O menor aumento de volumes escoados nos lotes atuais ocorreu na micro-bacia Frei Germano, pois lá o volume escoado no estado natural já é elevado. A mesma análise pode ser feita para o aumento da vazão específica (Figura 5.19).

Utilizando as equações definidas na legislação municipal de controle do escoamento pluvial (apresentadas no item 3.6) foram calculadas as vazões máximas para cada lote das micro-bacias. Com estes resultados foi construída a Figura 5.20, que compara as vazões máximas da Lei, dos lotes naturais, atuais e LID. Na maioria dos casos a vazão máxima permitida pela Lei é inferior à obtida pela configuração natural dos lotes. Somente na micro-bacia Polônia as vazões máximas da Lei são um pouco superiores às naturais. A explicação para este fato esta associada às diferentes equações de chuvas utilizadas. Nas micro-bacias Frei Germano e Joaquim Leite as intensidades das chuvas são mais elevadas que na micro-bacia Polônia, sendo superior também a utilizada para a definição da vazão máxima da Lei. A Legislação de Porto Alegre utilizou a equação de chuva do posto pluviométrico do Parque Farroupilha, ou Parque Redenção.

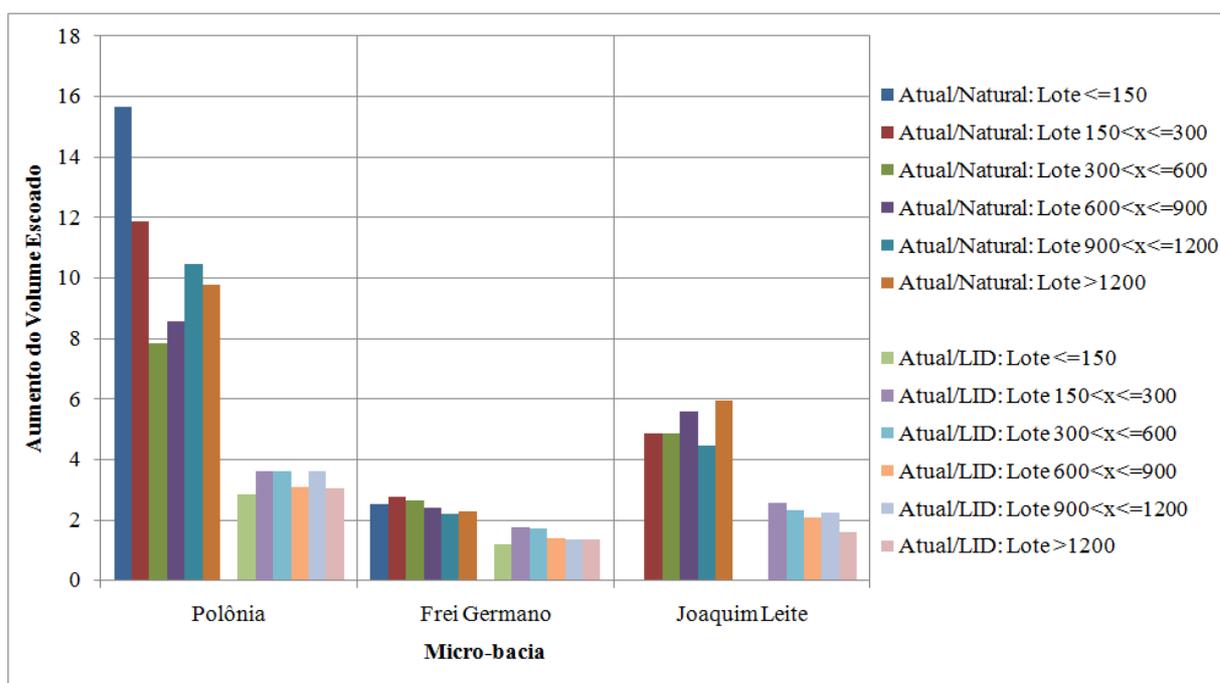


Figura 5.18. Aumento dos volumes escoados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.7 no Anexo 7).

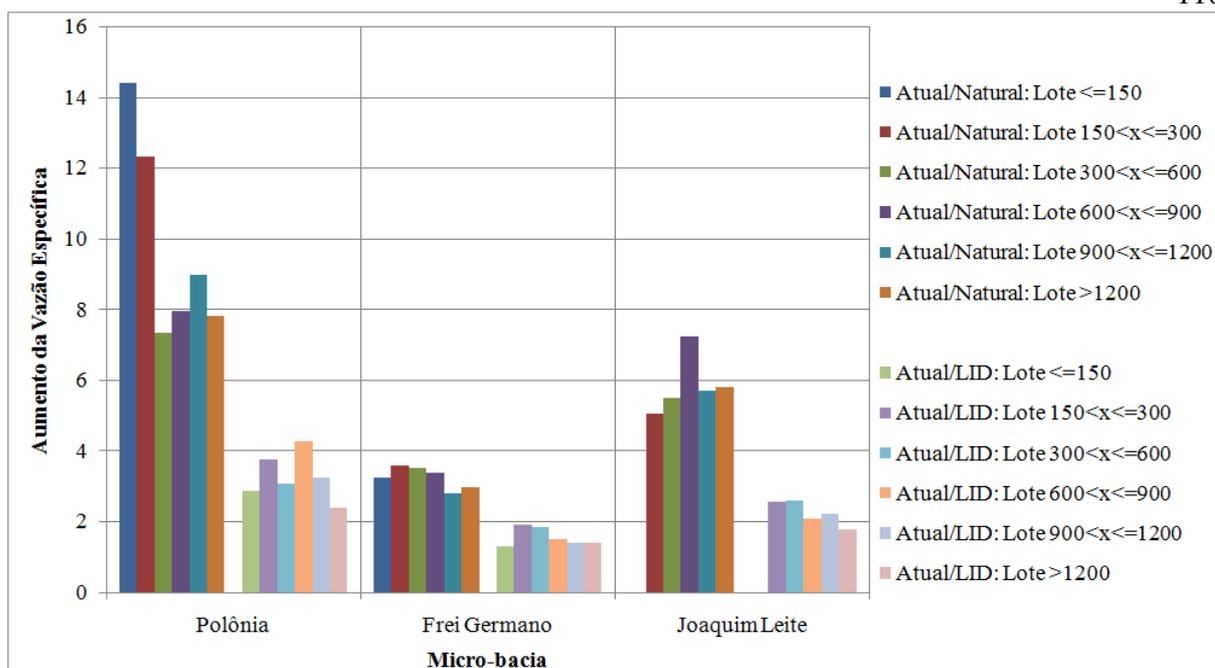


Figura 5.19. Aumento das vazões específicas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.8 no Anexo 7).

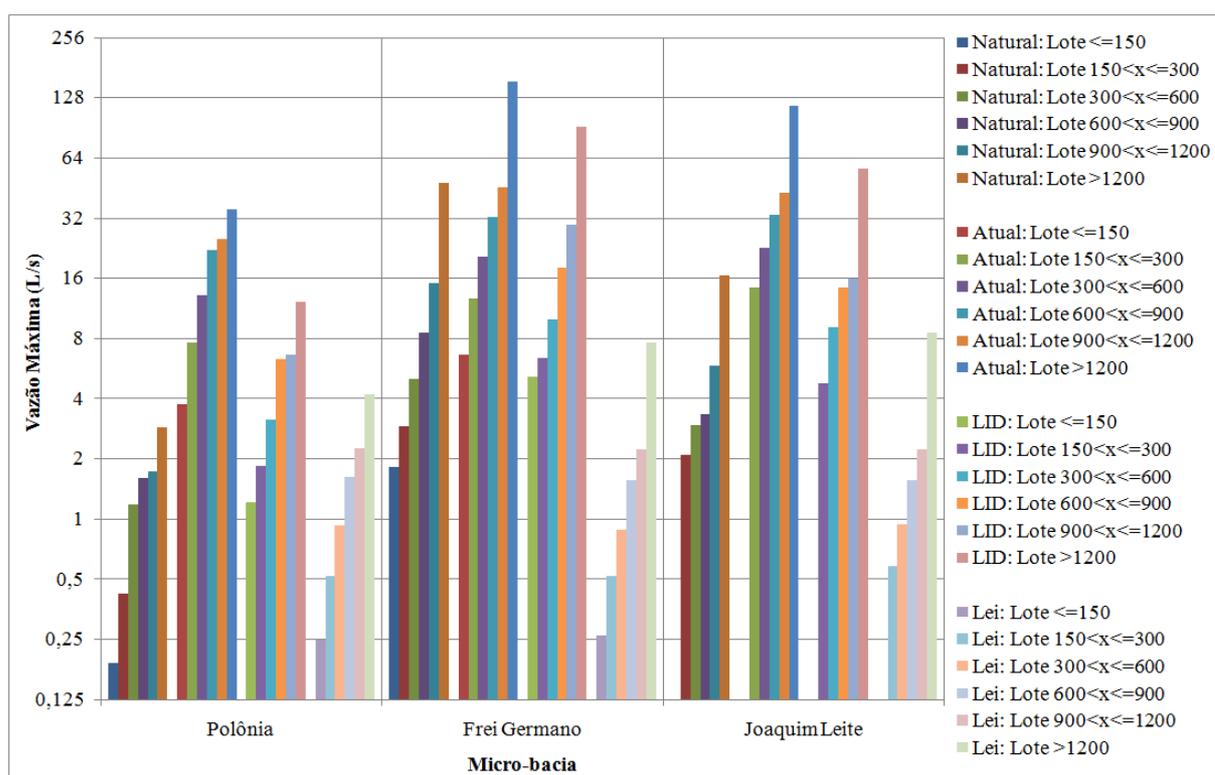


Figura 5.20. Vazões máximas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.9 no Anexo 7). Eixo de vazões máximas em escala logarítmica para facilitar a visualização dos menores valores.

Na legislação de Porto Alegre (PMPA/DEP, 2005) utilizou-se o critério que a vazão específica a ser controlada se refere a macro-bacia urbana, com 100 ha. Este limite de área se refere principalmente a utilização da equação do método Racional. O tempo de concentração

para uma bacia desta ordem foi estimado em 1 h (velocidade média da bacia da ordem de 0,4 m/s e uma bacia retangular com comprimento cerca de do dobro da largura). Para o tempo de retorno de 10 anos resultou a vazão específica de 20,8 L/s/ha (PMPA/DEP, 2005).

Ao adotar 60 minutos para o tempo de concentração a vazão máxima para os lotes menores ficou muito restritiva na legislação. Com o tempo de concentração maior para as áreas menores garantem-se menores vazões máximas e, assim, maiores volumes de controle. A intensidade da chuva é estimada de acordo com a duração ou o tempo de concentração da bacia e o tempo de retorno. Quanto maior o tempo de concentração, menor a intensidade e menor será a vazão máxima a ser adotada, e vice-versa. Valores baixos de vazão máxima implicam em maior volume de controle para cada local, pois será necessário armazenar muito volume no tempo para manter a vazão baixa. Assim, ao admitir um tempo de concentração elevado a vazão máxima é baixa para áreas pequenas.

Argumenta-se na legislação que com isso é garantido o controle do escoamento na área maior, onde as pequenas áreas (lotes) estão inseridas. Segundo PMPA/DEP (2005), considerando que a vazão específica obtida seja obedecida em todas as propriedades ou sub-áreas dentro da bacia de 100 ha, não existe garantia total que a vazão final da área será menor que a vazão $Q = 100 \times 20,8 = 2.080$ L/s, mas é provável que esteja na vizinhança deste valor. Na legislação é argumentado também que os números utilizados são discutíveis e outros critérios podem ser utilizados, portanto não existe uma única solução, mas valores adequados que permitam o controle do escoamento pluvial.

Neste sentido merece destaque o trabalho de Tassi (2002) que analisou os efeitos na macrodrenagem de controles em lotes utilizando microrreservatórios. As vazões de controle utilizadas neste estudo foram múltiplas das vazões naturais. A autora constatou que é mais eficiente do ponto de vista econômico e de redução dos volumes escoados da macrodrenagem permitir maiores vazões de saída nos lotes, até 3 vezes maiores que a vazão natural. Assim, a argumentação de que controles maiores nos lotes garantem o controle na bacia maior urbana não é de todo verdadeiro. Isso ocorre pois os processos hidrológicos em bacias maiores são mais lentos, principalmente, a translação de volumes. Os volumes que escoam rapidamente em uma bacia pequena escoarão de forma mais lenta em uma bacia grande, proporcionando vazões específicas menores. Desta forma, exigir menores vazões nos lotes representa ir a favor da segurança, ou seja, menores vazões serão obtidas na bacia maior. Entretanto, os

custos de controle do escoamento pluvial serão maiores para os proprietários, que terão que permitir menores vazões na saída dos seus lotes, por meio de dispositivos maiores.

Os volumes de controle do escoamento pluvial calculados pela legislação sempre foram superiores aos volumes de controle calculados para o pós-controle (obtidos pela subtração entre os volumes escoados nos lotes atuais e os volumes escoados nos lotes naturais) e para o pré-controle (obtidos pela subtração dos volumes escoados nos lotes LID e os volumes escoados nos lotes naturais), conforme Figura 5.21. Estes resultados são semelhantes aos já obtidos em outros trabalhos. Além do fator da vazão máxima da lei ser restritiva, conforme discussão nos parágrafos anteriores, o método racional por si só já superestima os volumes escoados. Esta é a constatação de diversos artigos da área, como Silva *et al.* (2006) e Tassi (2005). Silva *et al.* (2006) argumentam que a superestimação ocorre pois o método racional desconsidera a real influência da infiltração da água no solo, da interceptação pela cobertura vegetal, do armazenamento superficial, do perfil de chuva e da rugosidade hidráulica da superfície do solo. Já Tassi (2005) salienta que usando o método se obtém a superestimativa dos volumes de controle, principalmente devido à limitação de não considerar a distribuição temporal das chuvas e vazões.

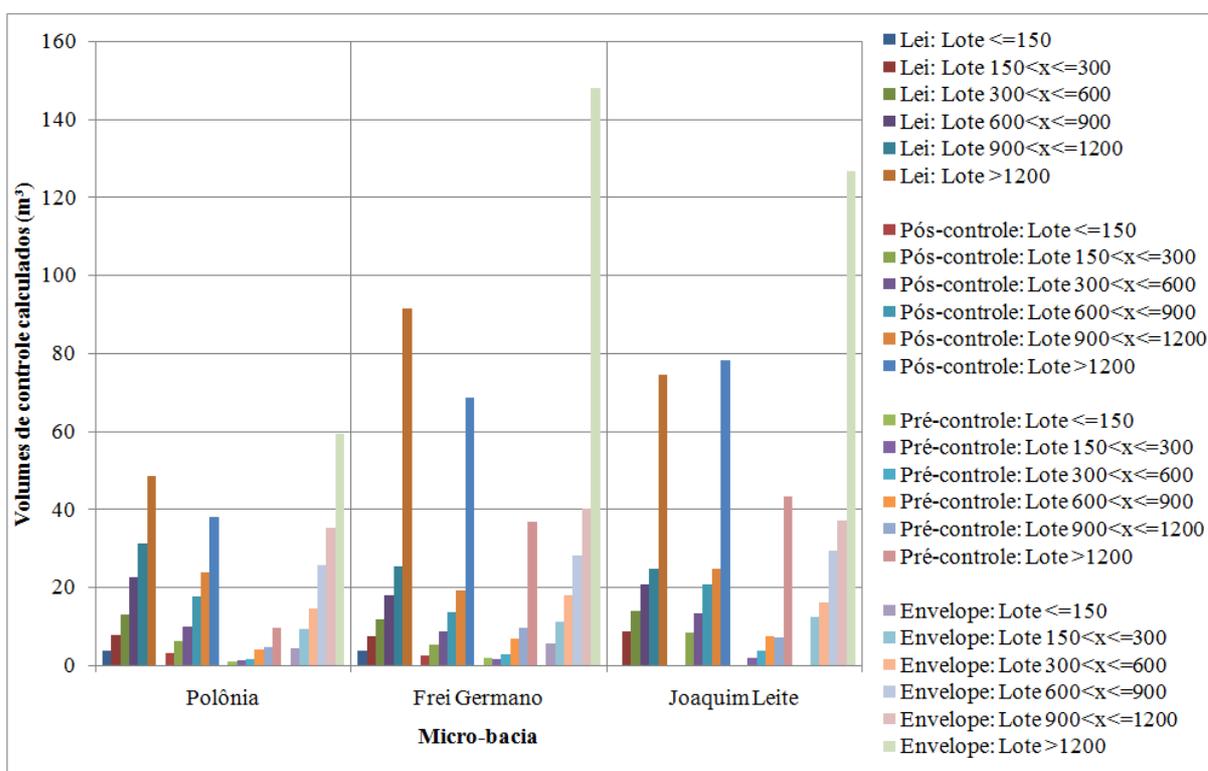


Figura 5.21. Volumes de controle do escoamento pluvial calculados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.10 no Anexo 7).

Na Figura 5.21 também são apresentados os volumes de controle calculados pela metodologia da curva envelope, que foram bem superiores aos demais. As mesmas argumentações do método racional podem ser aplicadas à curva envelope, já que a metodologia desenvolvida por Silveira e Goldenfum (2007) utiliza este método para estimar os volumes de entrada nos dispositivos. A curva envelope é um dos métodos mais utilizados para o dimensionamento de dispositivos de controle do escoamento pluvial. Entretanto, normalmente, proporciona o superdimensionamento dos dispositivos (Acioli, 2005).

Acioli (2005) dimensionou pela metodologia da curva envelope um pavimento permeável, além de monitorá-lo experimentalmente. A autora enfatizou que os volumes máximos calculados pelo método de dimensionamento mostraram-se superiores àqueles observados em eventos reais. No entanto, ela salienta que a dificuldade de determinação exata das características do solo, assim como a variabilidade de funcionamento dos dispositivos, justificam a adoção de métodos de cálculos que superestimam a estrutura a favor da segurança. Mesmo admitindo que o superdimensionamento é adequado para o aumento da segurança, ele pode induzir à não utilização do dispositivo em função do aumento de custo.

Outro fator que implica no superdimensionamento das estruturas são os coeficientes de segurança utilizados. Silveira e Goldenfum (2007) recomendam o uso de coeficientes de segurança principalmente em função do desconhecimento das características de infiltração dos solos. Souza (2002), que também desenvolveu trabalho experimental, enfatiza que em função da grande variabilidade das propriedades dos solos e da grande dificuldade de determinar, de forma precisa, as suas características, recomenda-se a utilização de um coeficiente de segurança igual a 2 para dispositivos que promovem a infiltração, com objetivo de reduzir a condutividade hidráulica saturada. O autor faz esta sugestão baseado em trabalhos de Urbonas e Stahre (1993), que indicam o dimensionamento com considerável margem de segurança devido à dificuldade de se determinar a condutividade (k), à variabilidade de k , ao risco de colmatação e à incerteza nos métodos de dimensionamento. Assim, na maioria dos trabalhos experimentais já desenvolvidos obtiveram-se dimensionamentos superiores aos eventos reais observados. Isso pode ser explicado pelo uso da metodologia da curva envelope. Ela considera para a saída dos dispositivos que promovem à infiltração a condutividade hidráulica saturada, aumentando os volumes dos dispositivos por não considerar o efeito de capilaridade enquanto o solo apresenta-se não saturado.

O planejamento prévio do lote com medidas de LID produziu uma diminuição máxima de aproximadamente 85% do volume escoado (Figura 5.22). A diminuição média foi de 56% e a mínima foi de cerca de 20%, na micro-bacia Frei Germano, principalmente em função das suas características de solo. Na micro-bacia Joaquim Leite a diferença é menor, pois o volume para obter o hidrograma natural foi maior, em função do tipo de solo e vegetação natural desta região (CN menor). Quanto maior o CN no lote natural (micro-bacias Polônia e Frei Germano), mais volume escoado no natural, menor será o volume de controle do escoamento pluvial, assim, maior a diferença com a Lei, e vice-versa. Estes resultados demonstram os benefícios do planejamento preliminar do lote considerando aspectos da drenagem urbana e corroboram os encontrados por Souza (2005). O autor ainda enfatiza outros benefícios do planejamento segundo o LID, notadamente o aumento da área verde e a valorização econômica do imóvel em função deste apelo ambiental.

As simulações dos controles (Pós-cont Lei, Pré-cont Lei, Pós-cont Nat e Pré-cont Nat) são mostradas na Figura 5.23. Nos resultados fica claro novamente a redução dos volumes obtida pelo planejamento prévio dos lotes, seja para respeitar a lei ou atingir o hidrograma natural. As somas dos volumes de controle dos dispositivos simulados (Figura 5.23) foram superiores às diferenças entre os volumes dos Cenários Atuais e Naturais e LID e Naturais (Figura 5.21). A Figura 5.24 apresenta a variação percentual entre os controles simulados e calculados. A variação percentual positiva representa um aumento de volume de controle do escoamento pluvial obtido na simulação. Este aumento ocorreu com maior frequência nos cenários de simulação para respeitar a legislação municipal, conforme se observa nos quadros vermelhos na Figura 5.24, devido à pequena vazão de restrição.

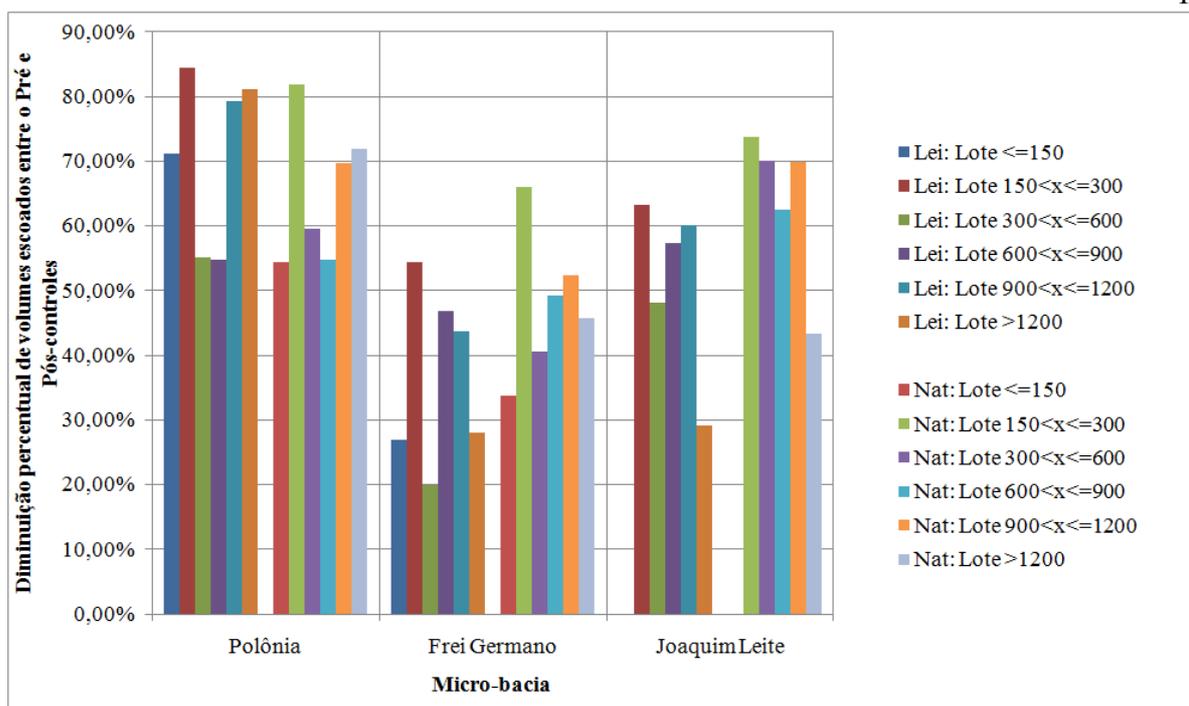


Figura 5.22. Diminuição percentual de volumes escoados entre o Pré e Pós-controles para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.11 no Anexo 7).

A simples subtração de volumes não contempla as particularidades do funcionamento dos dispositivos. Cita-se como exemplo o MR. Para ele foi necessário utilizar um vertedor com altura de soleira elevada, aumentando o volume armazenado. Estes resultados também foram encontrados por Tassi (2002). A autora observou em algumas simulações a necessidade de usar diâmetros pequenos na saída dos MR com objetivo de atingir pequenas vazões. No entanto, conforme já discutido, isso proporciona maiores volumes de controle e, conseqüentemente, maiores custos.

As simulações serviram para (Quadro 4.1): (i) analisar os dispositivos e ações que podem ser empregadas em escala de lote urbano para o controle sustentável do escoamento pluvial em desenvolvimentos consolidados e novos; e (ii) avaliar hidrológicamente em escala de lote: as modificações causadas pelo desenvolvimento urbano; a atual legislação de controle do escoamento pluvial de Porto Alegre; e os controles em desenvolvimentos consolidados e novos. A partir das simulações foram obtidos os custos dos dispositivos e investigados os incentivos econômicos, conforme etapa metodológica a seguir.

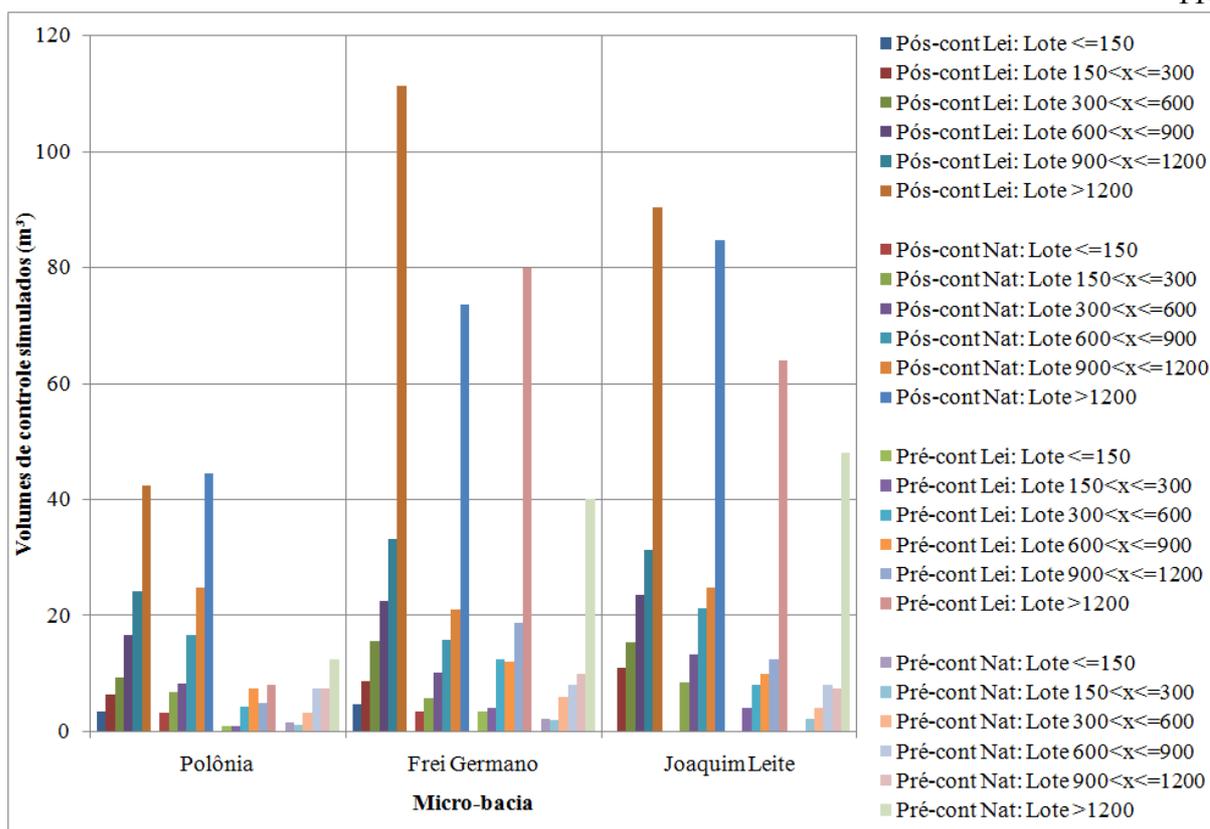


Figura 5.23. Volumes de controle do escoamento pluvial simulados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.12 no Anexo 7).

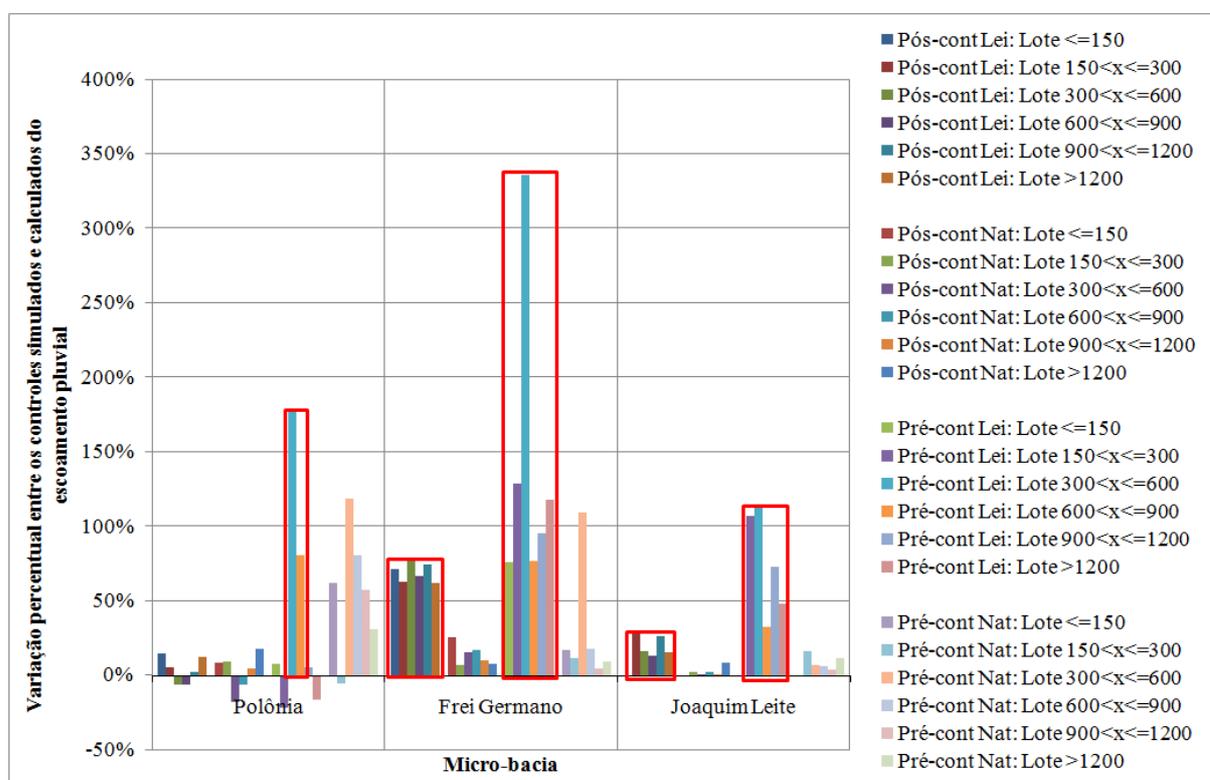


Figura 5.24. Variação percentual entre os controles simulados e calculados do escoamento pluvial para os Pré e Pós-controle, de acordo com os estratos dos lotes nas micro-bacias (Tabela 8.13 no Anexo 7).

5.2 Determinação dos incentivos econômicos

5.2.1 Incentivo econômico ao controle quantitativo do escoamento pluvial

Cobrança pelo escoamento

Conforme Parikh *et al.* (2005), o preço a ser pago deve ser superior ao custo marginal médio dos dispositivos de controle do escoamento pluvial na fonte para a redução do nível desejado de escoamento. Deste modo, o valor da cobrança incentivará o uso do controle na fonte, pois será mais vantajoso para o proprietário controlar que pagar a cobrança. As figuras a seguir (Figura 5.25, Figura 5.26, Figura 5.27 e Figura 5.28) apresentam as equações de custos obtidas para cada dispositivo, que podem ser utilizadas para fazer uma estimativa dos custos em função dos volumes controlados. Os custos médios, mínimos e máximos são mostrados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12. Custos por metro cúbico dos dispositivos de controle do escoamento pluvial.

Dispositivo	Média (R\$/m ³)	Mínimo (R\$/m ³)	Máximo (R\$/m ³)	Desvio Padrão (R\$/m ³)	Coefficiente de variação (D.Pad./Média)
MR-E.Man.*	167,17	76,07	304,59	54,59	32,66%
MR-E.Mec.**	149,85	61,69	282,90	52,95	35,34%
PAV-E.Man.*	577,67	394,93	768,61	88,17	15,26%
PAV-E.Mec.**	535,89	357,81	722,13	85,91	16,03%
TRI-E.Man.*	228,75	208,02	255,89	13,99	6,12%
TRI-E.Mec.**	197,38	176,64	224,52	13,99	7,09%
BIO-E.Man.*	364,44	204,10	800,56	161,38	44,28%
BIO-E.Mec.**	301,12	160,69	701,80	148,92	49,46%
Todos Dispositivos - E. Man.*	275,14	76,07	479,56	103,25	37,52%
Todos Dispositivos - E. Mec.**	249,62	61,69	443,69	96,84	38,79%

* E.Man – Escavação Manual;

** E.Mes. – Escavação Mecânica.

O Microrreservatório (MR) foi o dispositivo que apresentou o menor custo por metro cúbico controlado. No presente trabalho os valores médios ficaram em patamares de R\$ 150,00 e R\$ 170,00 por m³, com valores máximos atingindo R\$ 305,00 por m³ (Tabela 5.12). No trabalho de Tassi (2002) os custos dos MR variaram de R\$ 145,00 a R\$ 175,00 por m³ controlado. Atualizando estes valores, a partir do CUB (CUB médio 2002 = R\$ 596,66 e CUB médio 2009 = R\$ 1077,59; SINDUSCON-RS, 2010), chega-se a variação entre R\$ 260,00 e R\$ 315,00 por m³. Moura *et al.* (2009) cita o valor médio de U\$ 95,87 por m³, obtido a partir de amplo levantamento bibliográfico. Usando a cotação do dólar americano de setembro 2009

(cerca de R\$ 1,80), mês de consulta da base de dados do SINAPI, chega-se a um valor de R\$ 172,00 por m³. Assim, admite-se que os valores encontrados no presente trabalho sejam aceitáveis.

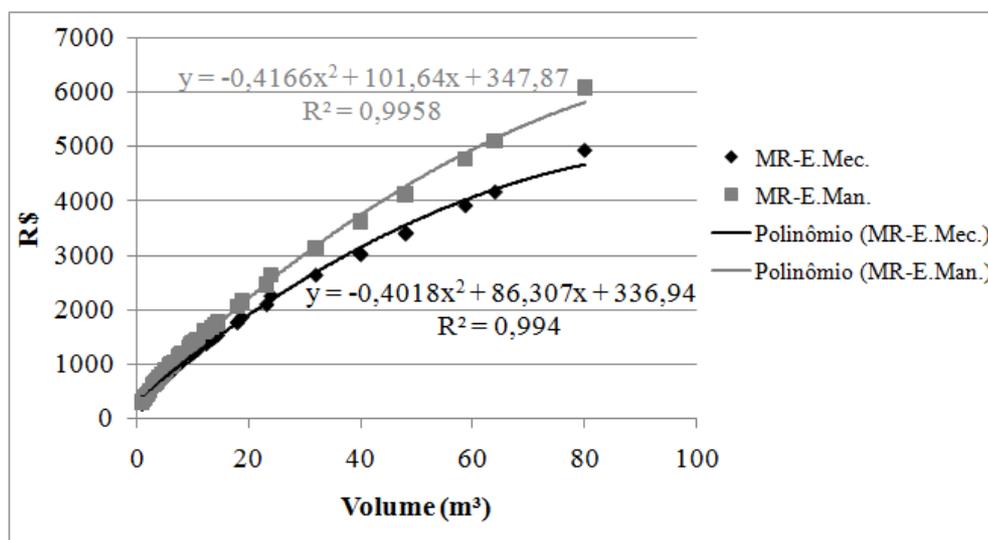


Figura 5.25. Gráfico da variação dos custos totais dos microrreservatórios por volume controlado.

O pavimento permeável foi o dispositivo que apresentou maior custo, com valores médios da ordem de R\$ 550,00 por m³ controlado. Com a finalidade de comparar o custo do pavimento com os demais autores, foi construída a Tabela 5.13, onde são mostrados os custos por metro quadrado, base de cálculo normalmente empregada. Na referida tabela são mostrados os custos para os estratos dos lotes, de acordo com as micro-bacias e simulações que usaram este dispositivo de controle do escoamento pluvial. Os maiores custos foram obtidos com aumento da área do pavimento, e conseqüente aumento da camada de blocos vazados, enquanto a profundidade máxima foi atingida. Os custos médios foram de R\$ 85,00 e R\$ 92,00 por metro quadrado para a escavação mecânica e manual, respectivamente. Atualizando os resultados obtidos por Acioli (2005) para o pavimento permeável de blocos vazados, também utilizando a variação do CUB, chega-se à um valor médio de aproximadamente R\$ 150,00 por metro quadrado (CUB médio 2002 = R\$ 853,55 e CUB médio 2009 = R\$ 1077,59). Percebeu-se uma grande diferença nos custos de assentamento da brita graduada e dos blocos de concreto. Acioli (2005) usou o custo de assentamento de R\$ 65,57 por m³ de brita e de R\$ 40,00 por m² de bloco vazado. Valores admitidos como sendo elevados e que contribuíram para a diferença apresentada. Por sua vez, Moura *et al.* (2009) cita valores da ordem de U\$ 26,56 por metro quadrado, aproximadamente R\$ 50,00 por metro

quadrado. Ou seja, são valores variáveis, contudo, os obtidos no presente estudo encontram-se dentro desta variação.

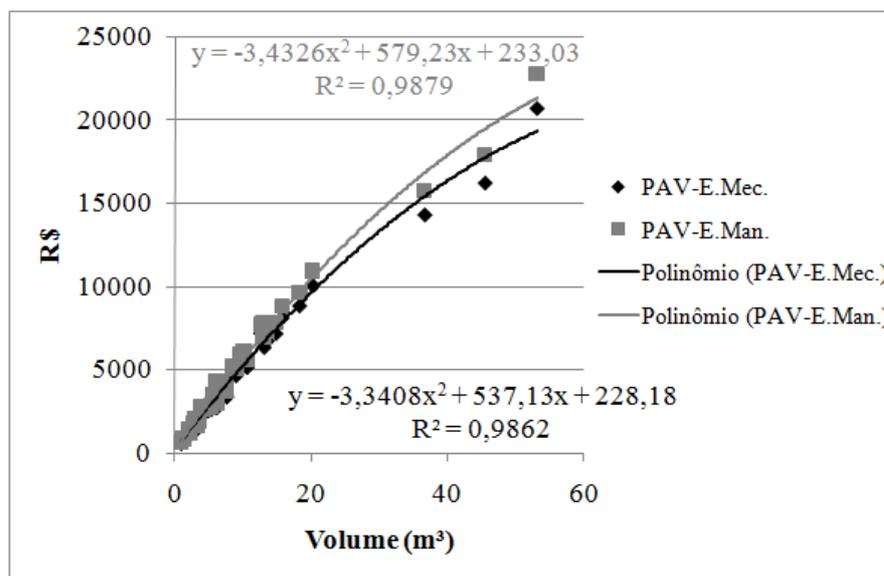


Figura 5.26. Gráfico da variação dos custos totais dos pavimentos permeáveis por volume controlado.

Tabela 5.13. Custos por metro quadrado (R\$/m²) do pavimento permeável de acordo com os lotes, micro-bacias e controles admitidos.

Lote	Micro-bacia	Escavação Manual			Escavação Mecânica		
		Envelope	Pós-cont Lei	Pós-cont Nat	Envelope	Pós-cont Lei	Pós-cont Nat
<=150	Polônia	84,79	85,56	86,22	79,39	80,17	80,82
	Frei Germano	87,61	88,07	83,01	81,71	82,17	77,99
	Joaquim Leite	-	-	-	-	-	-
150<x<=300	Polônia	88,05	88,47	88,47	82,03	82,44	82,44
	Frei Germano	95,17	95,69	96,74	88,02	88,54	89,58
	Joaquim Leite	91,85	92,01	92,48	85,20	85,35	85,83
300<x<=600	Polônia	82,36	82,73	83,08	77,09	77,46	77,81
	Frei Germano	99,79	95,69	96,74	91,76	92,07	93,48
	Joaquim Leite	87,22	87,22	87,36	81,20	81,20	81,34
600<x<=900	Polônia	86,72	87,04	87,04	80,70	81,01	81,01
	Frei Germano	93,23	93,43	93,87	86,07	86,27	86,72
	Joaquim Leite	87,13	87,30	87,42	80,98	81,15	81,27
900<x<=1200	Polônia	86,39	86,39	86,67	80,37	80,37	80,64
	Frei Germano	92,84	93,00	93,87	85,68	85,85	86,72
	Joaquim Leite	89,92	90,08	90,43	83,27	83,43	83,78
>1200	Polônia	91,18	91,51	91,51	84,27	84,61	84,61
	Frei Germano	104,68	104,91	105,59	95,39	95,63	96,30
	Joaquim Leite	112,16	113,00	113,00	101,62	102,46	102,46
Média		91,89			85,25		
Desvio Padrão		7,50			6,31		

Os custos por metro linear de trincheira (Tabela 5.14), base comumente utilizada, variaram de R\$ 70,00 a R\$ 120,00, dependendo do tipo de escavação. Os valores médios foram de cerca R\$ 80,00 e R\$ 92,00 por metro linear para a escavação mecânica e manual, respectivamente. Souza (2002) obteve um valor de R\$ 450,00 por uma trincheira com 10,00 metros de comprimento, 0,80 metros de largura e 1,00 metro de profundidade. Admitindo 40% de porosidade do reservatório de pedra britada, o custo foi de R\$ 140,63 por metro cúbico de água. Atualizando também estes valores, chega-se ao custo de R\$ 253,97 por metro cúbico (CUB médio 2002 = R\$ 596,66 e CUB médio 2009 = R\$ 1077,59). Moura *et al.* (2009) apresenta um valor de U\$ 40,31 por metro linear, ou R\$ 73,00 por metro linear. Passando o valor de Souza (2002) para esta base, chega-se a um custo atualizado de R\$ 81,27 por metro linear, ou seja, na variação média encontrada no presente estudo.

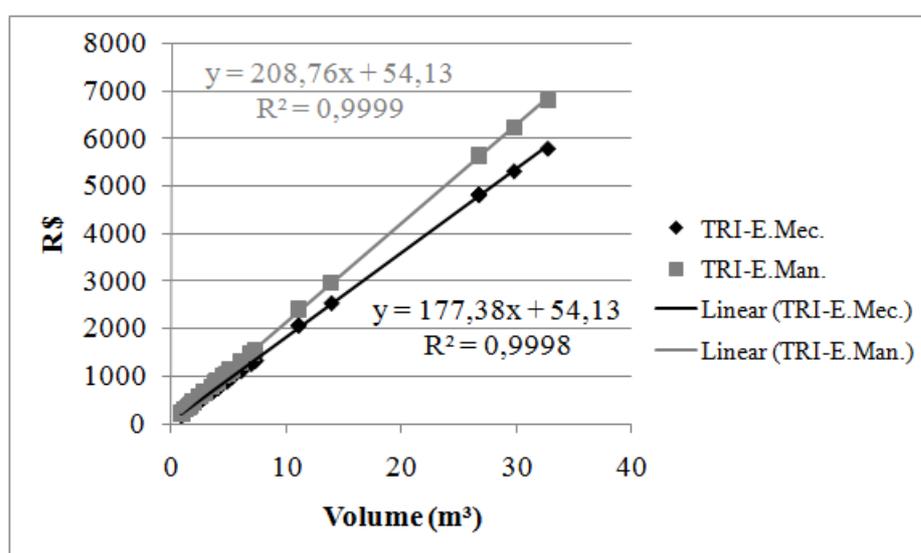


Figura 5.27. Gráfico da variação dos custos totais das trincheiras por volume controlado.

A bio-retenção apresentou grande variação nos custos, com coeficientes de variação de quase 50% (Tabela 5.12). Isso ocorreu devido aos investimentos fixos, que fizeram com que existissem no gráfico variações em degraus (Figura 5.28). Estes custos fixos são relacionados à vegetação, que sempre foi a mesma independente do tamanho do dispositivo (três tipos de árvores da região), e à camada de solo preparado, sempre com 0,75 m de profundidade. Os custos não foram comparados com outros trabalhos, pois ainda não existem estudos nacionais que estimaram isoladamente os custos deste dispositivo.

Tabela 5.14. Custos por metro linear (R\$/m) da trincheira de infiltração de acordo com os lotes, micro-bacias e controles admitidos.

Lote	Micro-bacia	Escavação Manual			Escavação Mecânica		
		Envelope	Pós-cont Lei	Pós-cont Nat	Envelope	Pós-cont Lei	Pós-cont Nat
<=150	Polônia	102,72	102,36	122,86	90,17	89,81	110,31
	Frei Germano	101,37	101,37	101,37	88,82	88,82	88,82
	Joaquim Leite	-	-	-	-	-	-
150<x<=300	Polônia	95,53	96,09	96,09	82,98	83,54	83,54
	Frei Germano	94,50	95,89	98,94	81,96	83,34	86,39
	Joaquim Leite	93,78	95,00	95,00	81,23	82,45	82,45
300<x<=600	Polônia	92,07	98,28	98,28	79,52	85,73	85,73
	Frei Germano	89,36	89,36	93,04	76,81	76,81	80,49
	Joaquim Leite	91,50	93,04	93,04	78,96	80,49	80,49
600<x<=900	Polônia	88,61	91,28	91,28	76,06	78,73	78,73
	Frei Germano	87,07	88,37	92,94	74,52	75,82	80,39
	Joaquim Leite	87,07	88,37	88,37	74,52	75,82	75,82
900<x<=1200	Polônia	85,54	91,47	86,89	72,99	78,92	74,34
	Frei Germano	85,87	86,89	89,43	73,32	74,34	76,88
	Joaquim Leite	85,90	86,89	87,98	73,35	74,34	75,43
>1200	Polônia	85,59	87,69	87,69	73,04	75,14	75,14
	Frei Germano	83,21	84,61	84,61	70,66	72,06	72,06
	Joaquim Leite	83,82	84,61	84,61	71,27	72,06	72,06
Média		91,91			79,36		
Desvio Padrão		6,97			6,16		

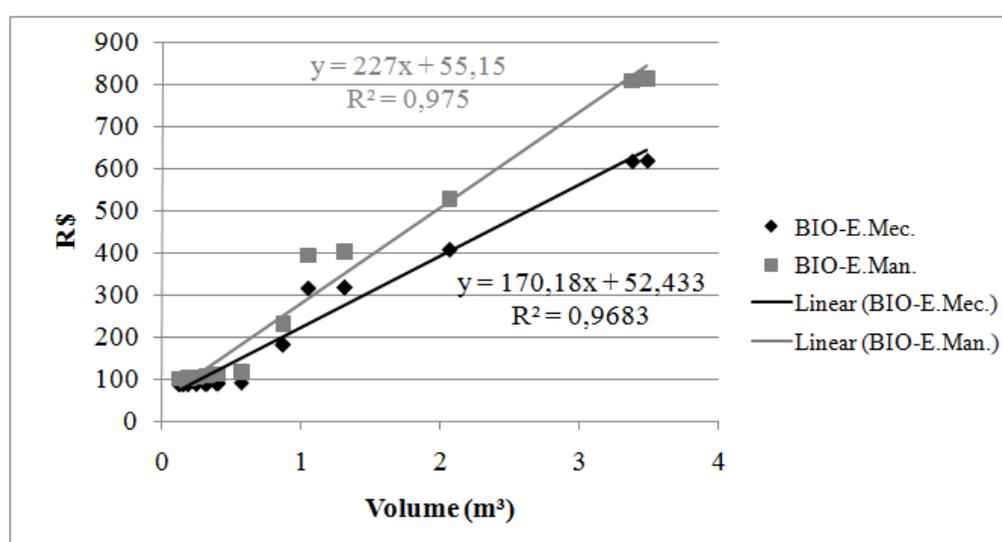


Figura 5.28. Gráfico da variação dos custos totais das bio-retenções por volume controlado.

Os custos de controle do escoamento pluvial considerando todos os dispositivos são mostrados na Figura 5.29. As curvas apresentaram boa relação com o volume de controle. A Tabela 5.15 e a Tabela 5.16 apresentam os custos totais dos controles. Os valores em negrito nestas tabelas são os máximos em cada estrato, comparando as micro-bacias. Os valores mais elevados foram encontrados nas micro-bacias Frei Germano e Joaquim Leite, onde foram calculados os maiores volumes de controle calculados e simulados (Figura 5.21 e Figura 5.23). As cobranças destes valores ao ano são elevados, entretanto, com certeza induziriam o investimento no controle do escoamento pluvial por parte dos proprietários.

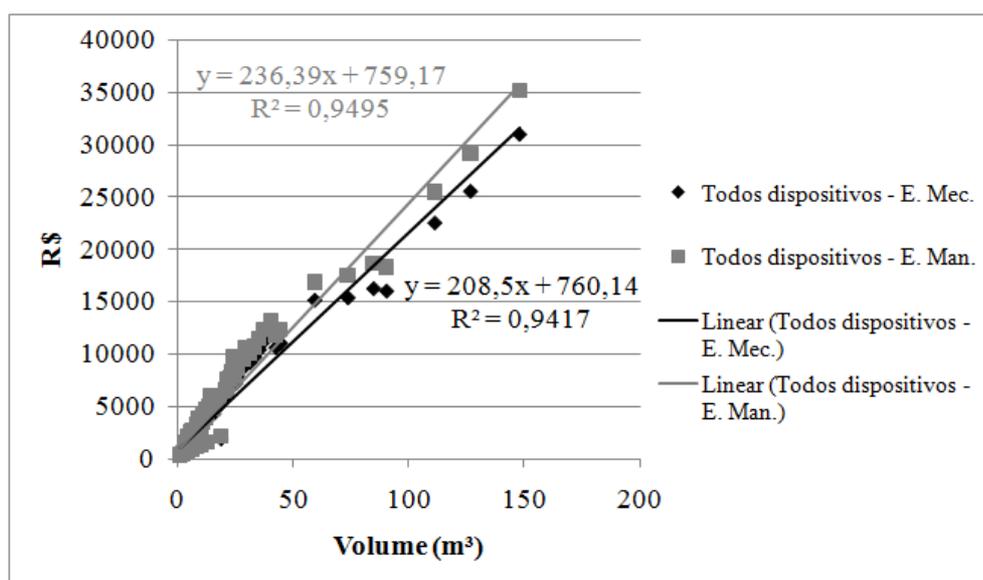


Figura 5.29. Gráfico da variação dos custos de todos os dispositivos por volume controlado.

Tabela 5.15. Custos totais dos controles (R\$) utilizando a escavação manual nos lotes das micro-bacias de acordo com as simulações realizadas.

Micro-bacia	Lote	Curva Envelope	Pós-cont Lei	Pós-cont Nat	Pré-cont Lei	Pré-cont Nat
Polônia	<=150	2.095,74	1.451,39	1.384,10	304,59	409,31
	150<x<=300	3.764,91	2.614,44	2.719,16	304,59	342,12
	300<x<=600	5.988,15	3.926,87	3.267,69	770,84	658,61
	600<x<=900	8.584,37	5.840,51	5.840,51	1.153,00	1.153,00
	900<x<=1200	11.501,42	9.813,46	8.217,56	887,36	1.153,00
	>1200	16.901,14	11.796,28	12.324,14	1.188,80	1.600,59
Frei Germano	<=150	2.596,13	1.976,42	1.513,63	667,69	508,77
	150<x<=300	4.090,79	2.988,13	2.068,98	754,28	467,17
	300<x<=600	5.631,09	4.756,64	3.057,61	1.600,59	971,54
	600<x<=900	9.552,88	7.678,03	5.617,70	1.623,32	1.188,80
	900<x<=1200	13.235,55	10.716,21	6.532,74	2.160,08	1.376,79
	>1200	35.145,30	25.498,16	17.545,38	6.085,93	3.625,66
Joaquim Leite	<=150	-	-	-	-	-
	150<x<=300	4.679,47	3.948,42	3.014,02	754,28	508,77
	300<x<=600	5.931,57	5.752,90	5.033,49	1.188,80	754,28
	600<x<=900	10.577,40	8.315,16	7.540,87	1.382,29	1.188,80
	900<x<=1200	12.376,12	10.110,09	7.942,78	1.600,59	1.153,00
	>1200	29.116,17	18.309,15	18.626,42	5.101,82	4.117,71
Média		10.128,47	7.473,89	6.218,75	1.538,62	1.196,17
Mínimo		2.095,74	1.451,39	1.384,10	304,59	342,12
Máximo		35.145,30	25.498,16	18.626,42	6.085,93	4.117,71
Desvio Padrão		8.777,88	6.103,98	5.041,04	1.513,12	1.011,10

Tabela 5.16. Custos totais dos controles (R\$) utilizando a escavação mecânica nos lotes das micro-bacias de acordo com as simulações realizadas.

Micro-bacia	Lote	Curva Envelope	Pós-cont Lei	Pós-cont Nat	Pré-cont Lei	Pré-cont Nat
Polônia	<=150	1.938,98	1.342,07	1.275,90	282,90	378,59
	150<x<=300	3.460,55	2.406,53	2.495,47	282,90	316,67
	300<x<=600	5.510,71	3.625,93	3.001,08	695,75	597,59
	600<x<=900	7.818,78	5.335,88	5.335,88	1.024,92	1.024,92
	900<x<=1200	10.423,40	9.021,05	7.434,82	797,91	1.024,92
	>1200	15.159,84	10.616,01	11.023,25	1.055,18	1.399,33
Frei Germano	<=150	2.397,41	1.826,05	1.395,43	606,04	465,25
	150<x<=300	3.738,58	2.729,96	1.887,83	681,39	428,91
	300<x<=600	5.091,08	4.302,61	2.759,40	1.399,33	868,28
	600<x<=900	8.665,01	6.989,74	5.101,93	1.428,96	1.055,18
	900<x<=1200	11.970,63	9.725,87	5.873,67	1.867,33	1.212,13
	>1200	31.048,77	22.559,84	15.393,48	4.934,84	3.027,98
Joaquim Leite	<=150	-	-	-	-	-
	150<x<=300	4.281,53	3.618,91	2.749,87	681,39	465,25
	300<x<=600	5.429,89	5.280,16	4.609,87	1.055,18	681,39
	600<x<=900	9.646,45	7.603,72	6.864,95	1.218,30	1.055,18
	900<x<=1200	11.208,97	9.188,52	7.165,28	1.399,33	1.024,92
	>1200	25.593,08	16.031,16	16.266,46	4.172,09	3.409,35
Média		9.107,43	6.743,60	5.579,14	1.321,84	1.043,77
Mínimo		1.938,98	1.342,07	1.275,90	282,90	316,67
Máximo		31.048,77	22.559,84	16.266,46	4.934,84	3.409,35
Desvio Padrão		7.714,09	5.377,49	4.404,58	1.214,21	828,10

Análises importantes de serem feitas são as comparações de custos entre: (i) respeitar a legislação e obter o hidrograma natural; e (ii) realizar o pós-controle e o pré-controle. Conforme discussão do item anterior, é mais oneroso respeitar a legislação do que obter o hidrograma natural nos lotes do município de Porto Alegre (Tabela 5.17). Agora, comparando o pós e pré-controle, chega-se a reduções de até 11 vezes nos custos. Cruz (2004) aponta que considerando o uso de bacias de detenção na macrodrenagem é possível reduzir em 6,4 vezes os investimentos com o pré-controle. A redução média encontrada foi semelhante a este valor (Tabela 5.18).

Tabela 5.17. Comparação dos custos para respeitar a legislação de Porto Alegre e obter o hidrograma natural nos lotes das micro-bacias do estudo.

Micro-bacia	Lote	Escavação Manual		Escavação Mecânica	
		Lei/Nat: Pós	Lei/Nat: Pré	Lei/Nat: Pós	Lei/Nat: Pré
Polônia	<=150	1,05	0,74	1,05	0,75
	150<x<=300	0,96	0,89	0,96	0,89
	300<x<=600	1,20	1,17	1,21	1,16
	600<x<=900	1,00	1,00	1,00	1,00
	900<x<=1200	1,19	0,77	1,21	0,78
	>1200	0,96	0,74	0,96	0,75
Frei Germano	<=150	1,31	1,31	1,31	1,30
	150<x<=300	1,44	1,61	1,45	1,59
	300<x<=600	1,56	1,65	1,56	1,61
	600<x<=900	1,37	1,37	1,37	1,35
	900<x<=1200	1,64	1,57	1,66	1,54
	>1200	1,45	1,68	1,47	1,63
Joaquim Leite	<=150	-	-	-	-
	150<x<=300	1,31	1,48	1,32	1,46
	300<x<=600	1,14	1,58	1,15	1,55
	600<x<=900	1,10	1,16	1,11	1,15
	900<x<=1200	1,27	1,39	1,28	1,37
	>1200	0,98	1,24	0,99	1,22
Média		1,23	1,26	1,24	1,24
Mínimo		0,96	0,74	0,96	0,75
Máximo		1,64	1,68	1,66	1,63
Desvio Padrão		0,21	0,33	0,21	0,31

Os valores de cobrança mostrados nestas tabelas são elevados, todavia, induziriam o controle do escoamento pluvial nos lotes caso fossem adotados (Parikh et al., 2005). Para estimar os valores de cobrança em função de características de quaisquer lotes podem-se determinar inicialmente os volumes de controle pelas equações para o pós e pré-controles (Figura 5.30) e, em seguida, com as equações dos dispositivos mostradas nas figuras anteriores (Figura 5.25, Figura 5.26, Figura 5.27 e Figura 5.28), determinar os custos. Por exemplo, admitindo que a prefeitura decida cobrar em função dos custos de construção de um MR escavado mecanicamente (o dispositivo mais acessível financeiramente), teremos, para um lote com 100 m² de AIT: um volume de controle de 3,73 m³ e a cobrança de R\$ 653,27 ao ano. Já para um lote planejado segundo orientações do LID, também com 100 m² de AIT, o volume será de 2,24 m³ e a cobrança de R\$ 528,25 ao ano.

Tabela 5.18. Comparação dos custos entre o pré e pós-controle nos lotes das micro-bacias do estudo.

Micro-bacia	Lote	Escavação Manual		Escavação Mecânica	
		Pós/Pré: Lei	Pós/Pré: Nat	Pós/Pré: Lei	Pós/Pré: Nat
Polônia	<=150	4,77	3,38	4,74	3,37
	150<x<=300	8,58	7,95	8,51	7,88
	300<x<=600	5,09	4,96	5,21	5,02
	600<x<=900	5,07	5,07	5,21	5,21
	900<x<=1200	11,06	7,13	11,31	7,25
	>1200	9,92	7,70	10,06	7,88
Frei Germano	<=150	2,96	2,98	3,01	3,00
	150<x<=300	3,96	4,43	4,01	4,40
	300<x<=600	2,97	3,15	3,07	3,18
	600<x<=900	4,73	4,73	4,89	4,84
	900<x<=1200	4,96	4,74	5,21	4,85
	>1200	4,19	4,84	4,57	5,08
Joaquim Leite	<=150	-	-	-	-
	150<x<=300	5,23	5,92	5,31	5,91
	300<x<=600	4,84	6,67	5,00	6,77
	600<x<=900	6,02	6,34	6,24	6,51
	900<x<=1200	6,32	6,89	6,57	6,99
	>1200	3,59	4,52	3,84	4,77
Média		5,54	5,38	5,69	5,46
Mínimo		2,96	2,98	3,01	3,00
Máximo		11,06	7,95	11,31	7,88
Desvio Padrão		2,29	1,54	2,29	1,55

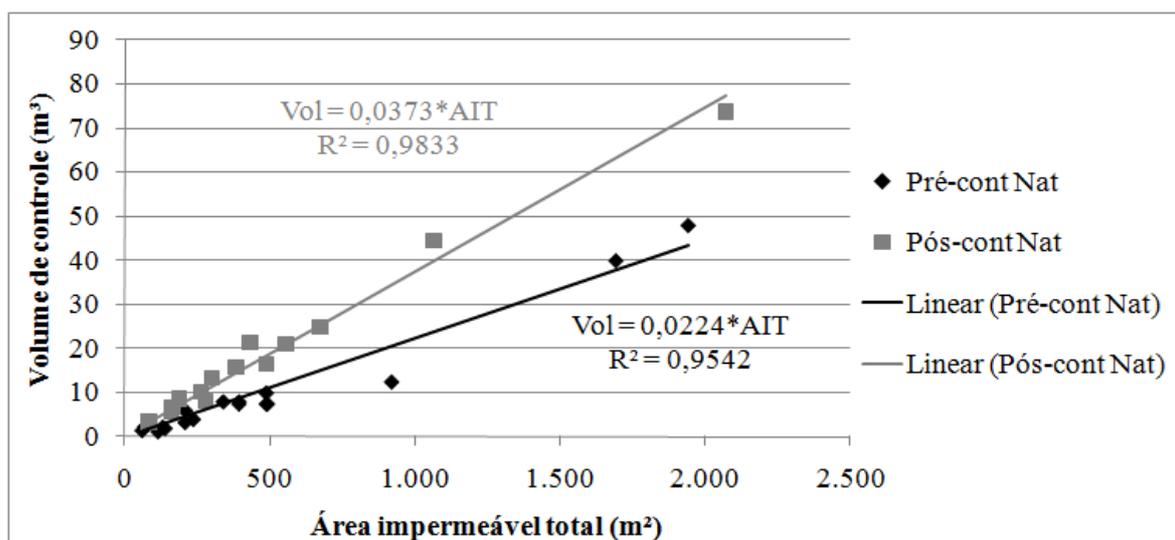


Figura 5.30. Volumes de controle do escoamento pluvial versus área impermeável total para o pós e pré-controles simulados.

Taxa pelo uso do sistema de drenagem

A taxa pelo uso do sistema de drenagem foi determinada a partir do rateio dos custos anuais dos projetos desenvolvidos pela prefeitura de Porto Alegre nas micro-bacias consideradas na pesquisa. Foram retirados os custos dos projetos referentes aos volumes escoados nas áreas públicas das micro-bacias, utilizando a relação de áreas ponderadas pelo CN, conforme a Tabela 5.19. Os valores obtidos, já acrescidos com os custos de manutenção (5%), são mostrados na Tabela 5.20.

Tabela 5.19. Estimativa da influência das áreas dos lotes na formação de escoamento nas micro-bacias do estudo.

Micro-bacia	CN médio lotes	Área lotes (m ²)	Área lotes ponderada	CN áreas públicas	Áreas públicas (m ²)	Áreas públicas ponderadas	Área total bacia ponderada	Alotes /Abacia ponderado
Polônia	91,50	391.298,25	35.803.789,88	95,00	102.385,19	9.726.593,30	45.530.383,17	78,64%
Frei Germano	92,01	401.158,37	36.910.581,62	95,00	56.989,63	5.414.015,20	42.324.596,82	87,21%
Joaquim Leite	89,81	470.097,11	42.219.421,45	95,00	122.805,95	11.666.565,34	53.885.986,79	78,35%

Tabela 5.20. Custo anual dos projetos da prefeitura de Porto Alegre.

Micro-bacia	Custo do projeto	Custo do projeto referente ao controle do escoamento proveniente dos lotes	Custo anual do projeto referente ao controle do escoamento proveniente dos lotes	Custo anual do projeto referente ao controle do escoamento proveniente dos lotes (c/ manutenção)
Polônia	R\$ 1.237.892,42	R\$ 973.442,80	R\$ 94.751,37	R\$ 143.423,51
Frei Germano	R\$ 3.402.000,00	R\$ 2.966.827,77	R\$ 288.780,19	R\$ 437.121,58
Joaquim Leite	R\$ 1.254.450,40	R\$ 982.855,85	R\$ 95.667,60	R\$ 144.810,39

Nestes valores destaca-se o elevado custo do projeto da micro-bacia Frei Germano, cerca de 3 vezes superior aos demais, pois é baseado na ampliação de rede de macrodrenagem existente. As quantificações dos critérios de rateio são apresentadas na Tabela 5.21. Para a quantificação foram determinadas as áreas impermeáveis totais, as áreas impermeáveis efetivas (PoA e Shuster), as alterações no volume e pico de vazão produzidos com relação à condição natural. Foram considerados os controles simulados para atingir o hidrograma natural nos lotes.

Tabela 5.21. Quantitativos dos critérios para a definição da taxa pelo uso do sistema de drenagem segundo os lotes e micro-bacias.

Cenário	Estrato	Polônia					Frei Germano					Joaquim Leite				
		AIT (m ²)	AIE - PoA (m ²)	AIE - Shuster (m ²)	Vol. (m ³)	Pico (L/s)	AIT (m ²)	AIE - PoA (m ²)	AIE - Shuster (m ²)	Vol. (m ³)	Pico (L/s)	AIT (m ²)	AIE - PoA (m ²)	AIE - Shuster (m ²)	Vol. (m ³)	Pico (L/s)
Atual	<=150	90,11	70,78	41,77	3,03	3,57	90,43	72,98	46,80	2,71	4,84	-	-	-	-	-
	150<x<=300	183,97	143,23	82,12	6,16	7,24	173,12	134,93	77,66	5,39	9,70	207,36	163,08	96,67	8,42	12,37
	300<x<=600	305,07	237,03	134,96	9,98	12,05	277,73	208,45	104,53	8,76	15,42	325,92	257,11	153,90	13,31	19,69
	600<x<=900	531,83	401,39	205,74	17,65	20,56	426,23	327,31	178,93	13,54	23,78	491,85	387,34	230,58	20,84	29,77
	900<x<=1200	733,24	548,38	271,08	23,73	23,43	597,09	454,06	239,51	19,10	30,69	583,04	443,57	234,37	24,84	37,23
	>1200	1.145,15	827,71	351,54	37,98	32,37	2.151,74	1.531,77	601,83	68,72	106,52	1.750,21	1.209,76	399,08	78,33	99,83
Pós-controle natural	<=150	82,61	40,19	2,00	0,00	0,00	80,43	40,53	2,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
	150<x<=300	163,97	72,49	2,50	0,00	0,00	161,12	78,75	2,00	0,00	0,00	187,36	88,81	2,50	0,00	0,00
	300<x<=600	280,07	131,48	3,00	0,00	0,00	261,73	115,17	2,50	0,00	0,00	299,06	148,02	2,50	0,00	0,00
	600<x<=900	486,83	203,46	4,00	0,00	0,00	384,23	165,39	4,00	0,00	0,00	431,85	192,84	4,00	0,00	0,00
	900<x<=1200	673,24	273,51	5,00	0,00	0,00	555,09	248,02	5,00	0,00	0,00	527,04	220,11	5,00	0,00	0,00
	>1200	1.065,15	390,26	7,50	0,00	0,00	2.071,74	791,81	7,50	0,00	0,00	1.670,21	549,31	7,50	0,00	0,00
LID	<=150	61,97	12,39	0,00	0,93	1,03	70,05	14,01	0,00	1,92	3,36	-	-	-	-	-
	150<x<=300	116,46	23,29	0,00	1,29	1,42	140,90	28,18	0,00	1,75	3,46	132,32	26,46	0,00	1,94	2,65
	300<x<=600	209,76	41,95	0,00	1,51	1,94	210,75	42,15	0,00	2,87	4,90	237,54	47,51	0,00	3,74	6,18
	600<x<=900	394,92	78,98	0,00	4,17	4,73	341,16	68,23	0,00	6,79	9,60	394,92	78,98	0,00	7,55	11,11
	900<x<=1200	489,12	97,82	0,00	4,77	4,91	488,62	97,72	0,00	9,61	14,57	492,88	98,58	0,00	7,23	10,13
	>1200	919,66	183,93	0,00	9,59	9,39	1.691,11	338,22	0,00	36,78	44,03	1.939,86	387,97	0,00	43,19	40,41
Pré-controle natural (LID com MR)	<=150	61,97	12,39	0,00	0,00	0,00	70,05	14,01	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
	150<x<=300	116,46	23,29	0,00	0,00	0,00	140,90	28,18	0,00	0,00	0,00	132,32	26,46	0,00	0,00	0,00
	300<x<=600	209,76	41,95	0,00	0,00	0,00	210,75	42,15	0,00	0,00	0,00	237,54	47,51	0,00	0,00	0,00
	600<x<=900	394,92	78,98	0,00	0,00	0,00	341,16	68,23	0,00	0,00	0,00	394,92	78,98	0,00	0,00	0,00
	900<x<=1200	489,12	97,82	0,00	0,00	0,00	488,62	97,72	0,00	0,00	0,00	492,88	98,58	0,00	0,00	0,00
	>1200	919,66	183,93	0,00	0,00	0,00	1.691,11	338,22	0,00	0,00	0,00	1.939,86	387,97	0,00	0,00	0,00

Com os objetivos de comparar os planejamentos e analisar os diferentes critérios utilizados foi admitida a situação hipotética de que percentuais dos lotes em cada micro-bacia foram planejados de formas diferentes. Em cada micro-bacia, 25% dos seus lotes permaneceram como estavam (estado atual), 25% fizeram o pós-controle, 25% fizeram o planejamento com o LID e os 25% restantes fizeram o planejamento segundo o LID e ainda utilizaram o MR (pré-controle). Admitindo esta configuração os totais dos critérios de rateio e os valores unitários anuais para as micro-bacias são apresentados na Tabela 5.22. Aplicando os valores unitários aos quantitativos apresentados na Tabela 5.21 chegou-se às taxas para as micro-bacias (Tabela 5.23, Tabela 5.24 e Tabela 5.25).

Tabela 5.22. Totais dos critérios e taxas unitárias anuais para a determinação das taxas pelo uso do sistema de drenagem segundo as micro-bacias.

Critério		Polônia	Frei Germano	Joaquim Leite
Total do critério em cada micro-bacia	AIT (m²)	233.843,00	139.291,68	262.352,99
	AIE - PoA (m²)	101.332,98	58.905,46	108.217,15
	AIE - Shuster (m²)	29.074,97	15.660,40	29.030,35
	Volume (m³)	2.760,92	1.738,61	4.208,00
	Pico (L/s)	3.115,61	2.932,15	5.780,72
Taxa unitária anual segundo o critério em cada micro-bacia	AIT (R\$/m²)	0,61	3,14	0,55
	AIE - PoA (R\$/m²)	1,42	7,42	1,34
	AIE - Shuster (R\$/m²)	4,93	27,91	4,99
	Volume (R\$/m³)	51,95	251,42	34,41
	Pico (R\$/L/s)	46,03	149,08	25,05

Tabela 5.23. Taxas anuais por lote segundo os critérios adotados para o rateio do projeto de drenagem na micro-bacia Polônia.

Estrato	Cenário	AIT (R\$/ano)	AIE - PoA (R\$/ano)	AIE - Shuster (R\$/ano)	Volume (R\$/ano)	Pico (R\$/ano)
<=150	<i>Atual</i>	55,27	100,18	206,05	157,61	164,23
	<i>Pós</i>	50,67	56,88	9,87	0,00	0,00
	<i>LID</i>	38,01	17,54	0,00	48,26	47,32
	<i>Pré (LID+MR)</i>	38,01	17,54	0,00	0,00	0,00
150<x<=300	<i>Atual</i>	112,83	202,72	405,07	319,74	333,51
	<i>Pós</i>	100,57	102,59	12,33	0,00	0,00
	<i>LID</i>	71,43	32,97	0,00	66,86	65,15
	<i>Pré (LID+MR)</i>	71,43	32,97	0,00	0,00	0,00
300<x<=600	<i>Atual</i>	187,11	335,48	665,73	518,39	554,92
	<i>Pós</i>	171,78	186,09	14,80	0,00	0,00
	<i>LID</i>	128,65	59,38	0,00	78,54	89,50
	<i>Pré (LID+MR)</i>	128,65	59,38	0,00	0,00	0,00
600<x<=900	<i>Atual</i>	326,19	568,12	1.014,88	916,67	946,36
	<i>Pós</i>	298,59	287,97	19,73	0,00	0,00
	<i>LID</i>	242,22	111,79	0,00	216,41	217,83
	<i>Pré (LID+MR)</i>	242,22	111,79	0,00	0,00	0,00
900<x<=1200	<i>Atual</i>	449,72	776,16	1.337,20	1.232,51	1.078,71
	<i>Pós</i>	412,92	387,12	24,66	0,00	0,00
	<i>LID</i>	299,99	138,46	0,00	247,53	225,96
	<i>Pré (LID+MR)</i>	299,99	138,46	0,00	0,00	0,00
>1200	<i>Atual</i>	702,36	1.171,51	1.734,09	1.973,13	1.490,17
	<i>Pós</i>	653,29	552,36	37,00	0,00	0,00
	<i>LID</i>	564,06	260,33	0,00	497,97	432,26
	<i>Pré (LID+MR)</i>	564,06	260,33	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.24. Taxas anuais por lote segundo os critérios adotados para o rateio do projeto de drenagem na micro-bacia Frei Germano.

Estrato	Cenário	AIT (R\$/ano)	AIE - PoA (R\$/ano)	AIE - Shuster (R\$/ano)	Volume (R\$/ano)	Pico (R\$/ano)
<=150	Atual	283,79	541,57	1.306,35	680,34	721,93
	Pós	252,41	300,75	55,83	0,00	0,00
	LID	219,84	103,97	0,00	483,23	501,16
	Pré (LID+MR)	219,84	103,97	0,00	0,00	0,00
150<x<=300	Atual	543,28	1.001,31	2.167,61	1.353,90	1.445,57
	Pós	505,62	584,38	55,83	0,00	0,00
	LID	442,18	209,12	0,00	439,73	515,59
	Pré (LID+MR)	442,18	209,12	0,00	0,00	0,00
300<x<=600	Atual	871,56	1.546,83	2.917,59	2.201,19	2.299,14
	Pós	821,35	854,62	69,78	0,00	0,00
	LID	661,35	312,78	0,00	721,83	730,11
	Pré (LID+MR)	661,35	312,78	0,00	0,00	0,00
600<x<=900	Atual	1.337,57	2.428,87	4.994,42	3.404,23	3.545,12
	Pós	1.205,77	1.227,32	111,65	0,00	0,00
	LID	1.070,62	506,33	0,00	1.706,14	1.431,51
	Pré (LID+MR)	1.070,62	506,33	0,00	0,00	0,00
900<x<=1200	Atual	1.873,77	3.369,43	6.685,27	4.801,12	4.575,75
	Pós	1.741,96	1.840,52	139,56	0,00	0,00
	LID	1.533,37	725,18	0,00	2.415,90	2.172,41
	Pré (LID+MR)	1.533,37	725,18	0,00	0,00	0,00
>1200	Atual	6.752,53	11.366,88	16.798,51	17.278,11	15.879,33
	Pós	6.501,48	5.875,80	209,34	0,00	0,00
	LID	5.307,00	2.509,85	0,00	9.245,98	6.564,59
	Pré (LID+MR)	5.307,00	2.509,85	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.25. Taxas anuais por lote segundo os critérios adotados para o rateio do projeto de drenagem na micro-bacia Joaquim Leite.

Estrato	Cenário	AIT (R\$/ano)	AIE - PoA (R\$/ano)	AIE - Shuster (R\$/ano)	Volume (R\$/ano)	Pico (R\$/ano)
<=150	Atual	-	-	-	-	-
	Pós	-	-	-	-	-
	LID	-	-	-	-	-
	Pré (LID+MR)	-	-	-	-	-
150<x<=300	Atual	114,46	218,23	482,19	289,72	309,95
	Pós	103,42	118,83	12,47	0,00	0,00
	LID	73,04	35,41	0,00	66,66	66,47
	Pré (LID+MR)	73,04	35,41	0,00	0,00	0,00
300<x<=600	Atual	179,89	344,05	767,71	458,07	493,22
	Pós	165,07	198,07	12,47	0,00	0,00
	LID	131,11	63,57	0,00	128,84	154,73
	Pré (LID+MR)	131,11	63,57	0,00	0,00	0,00
600<x<=900	Atual	271,48	518,32	1.150,20	717,24	745,86
	Pós	238,37	258,04	19,95	0,00	0,00
	LID	217,98	105,69	0,00	259,68	278,32
	Pré (LID+MR)	217,98	105,69	0,00	0,00	0,00
900<x<=1200	Atual	321,82	593,57	1.169,10	854,68	932,73
	Pós	290,91	294,53	24,94	0,00	0,00
	LID	272,05	131,91	0,00	248,88	253,85
	Pré (LID+MR)	272,05	131,91	0,00	0,00	0,00
>1200	Atual	966,06	1.618,84	1.990,71	2.695,58	2.500,73
	Pós	921,90	735,05	37,41	0,00	0,00
	LID	1.070,74	519,16	0,00	1.486,27	1.012,19
	Pré (LID+MR)	1.070,74	519,16	0,00	0,00	0,00

Admitindo como exemplo o lote com área inferior a 150 m² na micro-bacia Polônia (em itálico na Tabela 5.23), construiu-se a Figura 5.31, que mostra as taxas anuais segundo os critérios estudados para este lote. A cobrança de acordo com a AIT não incentiva a adoção de mecanismos ou técnicas de amortecimento da vazão, pois cobra praticamente igual para os diferentes lotes e não o que cada um realmente produz de alteração nas características naturais de escoamento. Mesmo os lotes que utilizam o controle do escoamento pluvial pagariam aproximadamente o mesmo valor que o lote no estado atual. A AIT do lote dimensionado por LID apresentou uma pequena redução devido ao privilégio da utilização de áreas verdes em comparação com os outros lotes.

O cálculo da AIE, segundo o Decreto nº 15.371/2006 de Porto Alegre, representou uma variação grande entre os lotes. Porém, a determinação da AIE segundo Shuster *et al.*

(2005) proporciona uma variação ainda maior, com cobrança igual a zero para o lote planejado segundo o LID. Shuster *et al.* (2005) admitem que toda área impermeável que drena para um dispositivo que permite a infiltração é uma área permeável (para um evento de chuva adotado para o dimensionamento deste dispositivo). Estes resultados apontam as diferenças na definição e forma de determinar a AIE. O ideal seria compreender e estimar a redução no escoamento devido ao uso dos dispositivos que recebem o fluxo das áreas impermeáveis.

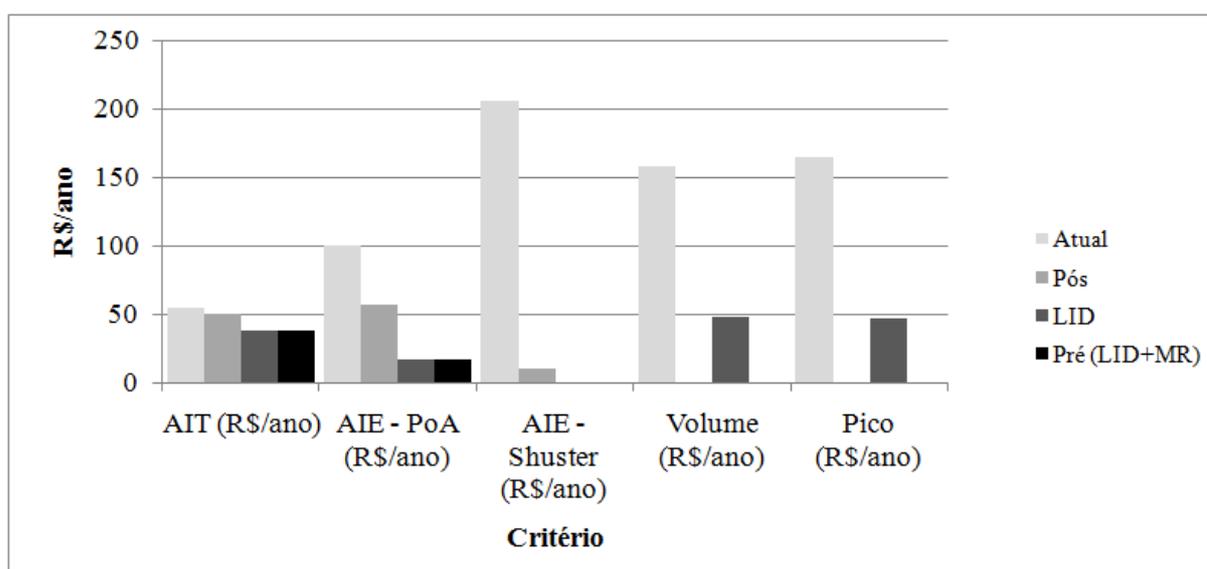


Figura 5.31. Cobranças anuais de acordo com os critérios adotados para os lotes com área menor que 150m² na micro-bacia Polônia, nos diferentes cenários de planejamento.

A cobrança no cenário de alteração na vazão máxima (pico) incentiva tanto o pós-controle quanto o pré-controle. Um aspecto importante ao se considerar a vazão máxima está relacionado na redução dos custos da rede devido à utilização de tubulações de menor diâmetro. O planejamento do lote pela técnica de LID associado ao MR proporciona uma cobrança inferior em todos os cenários. Demonstrando que se trata de uma técnica de planejamento que apresenta maiores benefícios hidrológicos, além de ter um menor custo que o pós-controle.

Estes resultados apontam a necessidade de analisar a efetiva produção do escoamento pelos lotes e ratificam os resultados obtidos por Freni e Olivieri (2005). Os autores analisaram ações para a minimização da inundação (desconexão de áreas impermeáveis, estruturas de retenção, estruturas de detenção e estruturas de infiltração) e concluíram que a desconexão de áreas impermeáveis, ou seja, encaminhar o escoamento das áreas impermeáveis para estruturas permeáveis, é a medida mais eficaz para a redução da inundação na bacia de Mondello, na Itália. Assim, duas áreas que apresentem a mesma extensão ou percentual de

área impermeável, mas, com uma delas com desconexões, irá produzir um menor volume de escoamento superficial, a mesma situação obtida no presente estudo.

As propostas de Tucci (2002) e Cançado *et al.* (2006) ao utilizar a AIT como critério de rateio para a taxa não consideram a desconexão das áreas impermeáveis tampouco dispositivos para a manutenção do hidrograma de pré-desenvolvimento, como por exemplo, dispositivos das técnicas de BMPs ou LID. Para Rocky Mount (2007) o mais equitativo método de pagamento do uso do serviço de drenagem é aquele que estima o impacto relativo de cada propriedade sobre o sistema de drenagem.

Ainda, admitindo como exemplo o lote com área inferior a 150 m² na micro-bacia Polônia. Caso o proprietário não invista no controle do escoamento pluvial, mantendo o lote atual, a taxa seria de no máximo R\$ 206,05/ano, por 30 anos. Isto representa cerca de R\$ 6.180,00. O investimento total neste lote, considerando a escavação manual (maior valor), foi de R\$ 1.451,39 (Pós-controle lei na Tabela 5.15). Fazendo a análise de viabilidade econômica deste investimento, contando ainda com os 5% ao ano de manutenção, chega-se a uma TIR de 8% ao não pagar a taxa de R\$ 206,05 em 30 anos, usando uma taxa mínima de atratividade de 6%. Este resultado indica que o investimento do proprietário no controle do escoamento no seu lote é economicamente viável e assim a taxa induzirá a mudança de comportamento do proprietário.

Considerando os menores valores, tanto de taxa quanto de investimento no controle do escoamento pluvial, chega-se a mesma conclusão. A menor taxa para um proprietário com um lote menor de 150 m² na micro-bacia Polônia é de R\$ 55,27/ano. O menor investimento é usando um MR, com custo médio de R\$ 149,45 por m³ (Tabela 5.12). Neste lote, devem ser controlados 3,03 m³, Tabela 5.21, totalizando R\$ 452,83 de investimento inicial e R\$ 22,64 de investimento ao ano com manutenção. Com estes valores a TIR é de 6,44%, adotando também a taxa mínima de atratividade de 6%, logo, o investimento é viável.

As taxas aqui estudadas foram determinadas com o principal objetivo de analisar os critérios de rateio para o incentivo do controle do escoamento pluvial nos lotes. Os resultados de taxa encontrados utilizando a AIT como critério de rateio foram semelhantes aos encontrados em Tucci (2002) e Cançado *et al.* (2006). Tucci (2002) apresenta valores entre R\$ 100,00 e R\$ 400,00 ao ano, dependendo da área impermeável, para um lote de 300,00 m² considerando os custos de instalação e manutenção de obras de macrodrenagem em uma bacia urbana. Em Cançado *et al.* (2006) os custos anuais para um lote de 485,00 m² variaram entre

R\$ 247,00 e R\$ 1.208,00, também dependendo da impermeabilização do lote. Um fator determinante para a determinação da grandeza destes valores são os custos totais dos projetos rateados. Por exemplo, a diferença dos custos dos projetos nas três micro-bacias do presente estudo influenciaram as taxas para os seus lotes.

Incentivo positivo: ação voluntária com subsídio ou redução fiscal

O incentivo positivo ao controle quantitativo do escoamento pluvial foi estudado admitindo que a prefeitura concedesse percentuais de 25, 50, 75 e 100% dos valores dos dispositivos aos proprietários. Para fazer esta análise foram considerados os cenários simulados para respeitar a legislação municipal e atingir o hidrograma natural em todos os lotes das micro-bacias. As figuras a seguir comparam os custos dos projetos da prefeitura de Porto Alegre com os incentivos estabelecidos.

Analisando a Figura 5.32 e a Figura 5.33 percebe-se que para alguns cenários é mais vantajoso para a prefeitura financiar os controles do escoamento pluvial nos lotes do que as obras planejadas. Na micro-bacia Frei Germano em todos os cenários simulados o custo do projeto da prefeitura foi superior às somas dos custos dos controles do escoamento pluvial nos lotes. Nas outras micro-bacias é possível financiar 25% dos pós-controles para obter os hidrogramas naturais em cada lote. A vantagem fica mais evidente quando se compara os volumes controlados nos lotes e os volumes dos controles planejados pela prefeitura (Figura 5.34). Na bacia Joaquim Leite somente no cenário de 25% do volume de controle do escoamento pluvial dos lotes é inferior ao volume do projeto municipal.

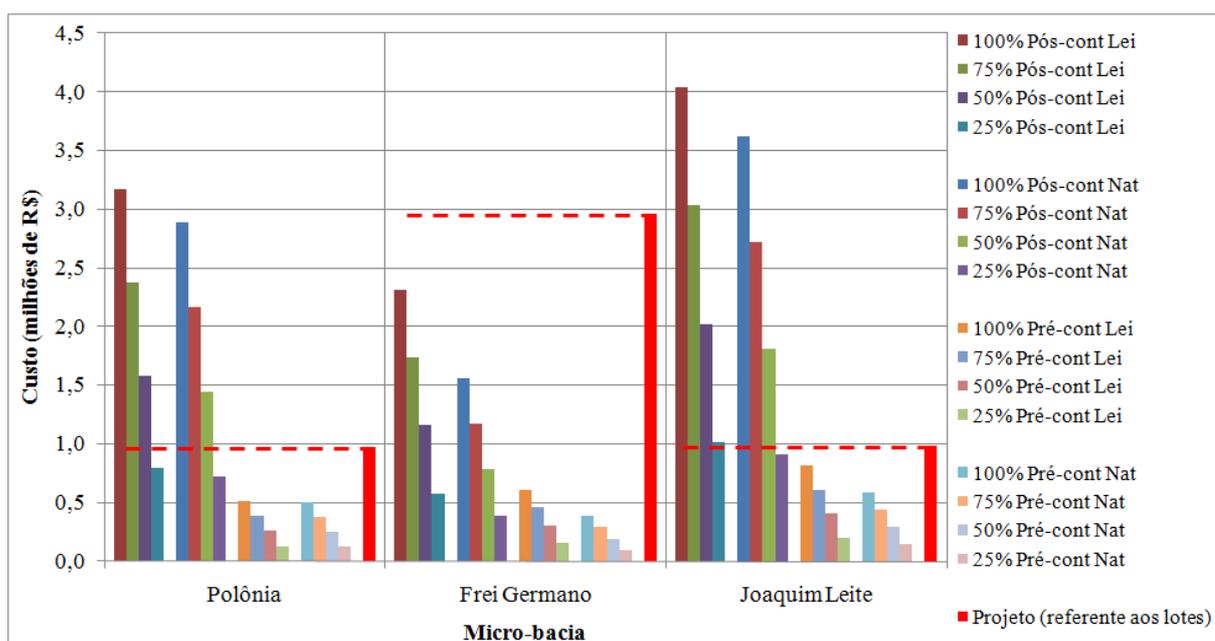


Figura 5.32. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando os custos com escavação mecânica.

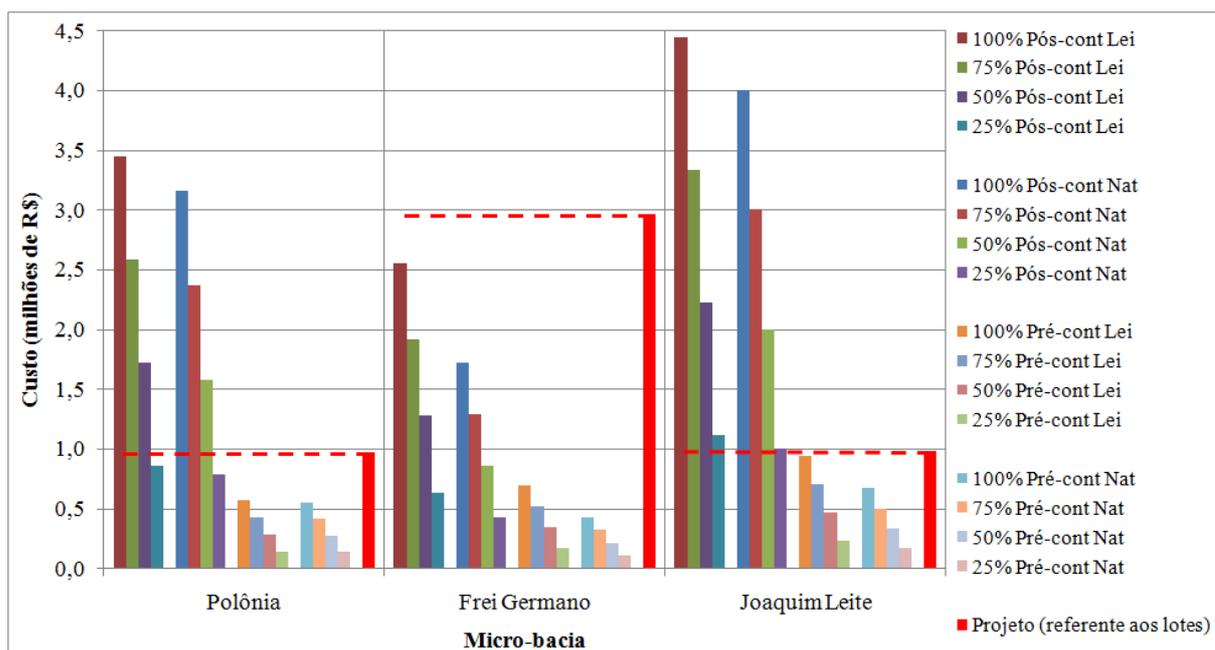


Figura 5.33. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando os custos com escavação manual.

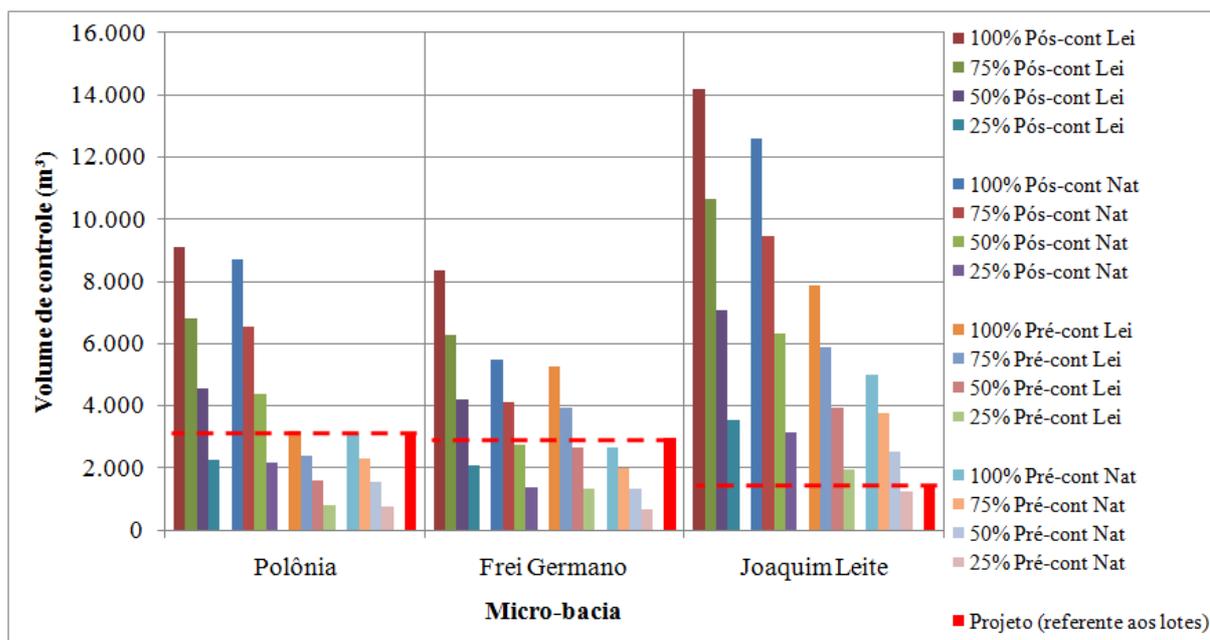


Figura 5.34. Volumes de controle do escoamento pluvial nos lotes e nos projetos da prefeitura.

A Figura 5.35 apresenta os custos unitários (R\$/m³) dos projetos da prefeitura e dos controles do escoamento pluvial nos lotes. A análise dos custos unitários revela a vantagem do uso dos microrreservatórios nos lotes (simulações de Pré-controle) quando comparados com os projetos da prefeitura. O custo médio do MR com escavação manual é de R\$ 167,17 por metro cúbico e construído por escavação mecânica R\$ 149,85 por metro cúbico, muito inferiores ao custo unitário dos projetos da prefeitura, de R\$ 300,00 a R\$ 1.000,00 por metro cúbico controlado. Carmona (2008) cita um valor médio de R\$ 273,60 por metro cúbico considerando todos os reservatórios de amortecimento construídos em Porto Alegre, com desvio padrão de R\$ 270,21. Os valores máximos podem chegar a R\$ 800,00 por metro cúbico, para o caso de reservatórios fechados em concreto.

Na micro-bacia Polônia o seu projeto apresenta um custo unitário mais vantajoso que os pós-controles para respeitar a Legislação e para obter os hidrogramas naturais nos lotes. Por outro lado, nas outras micro-bacias é evidente a vantagem ao se financiar os controles nos lotes. Na micro-bacia Joaquim Leite o custo é elevado em função do projeto ser de um reservatório subterrâneo. Já na micro-bacia Frei Germano a estimativa do volume equivalente controlado indicou a desvantagem econômica da ampliação da rede de drenagem. Além disso, por mais que esta alternativa resolva localmente o problema, o volume é transferido para outro ponto da rede de drenagem. O volume estimado (Anexo 2), para o tempo de retorno

adotado no projeto de ampliação da galeria existente (10 anos), corresponde ao volume que atualmente não é escoado em eventos que geram vazões superiores à 2.700,00 L/s, capacidade da galeria atual. Este volume é o que fica armazenado nas ruas, ou seja, o volume que provoca os alagamentos nesta micro-bacia.

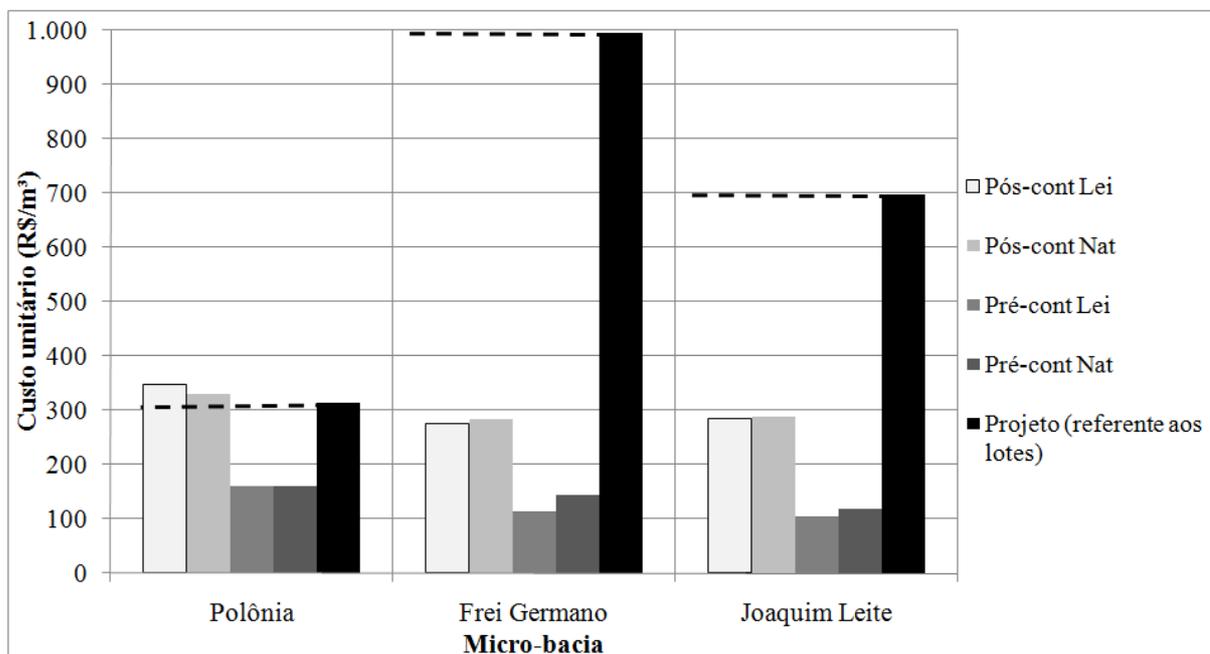


Figura 5.35. Custo por metro cúbico de controle do escoamento pluvial por escavação mecânica comparando com os projetos da prefeitura.

Caso a prefeitura decida incentivar o controle do escoamento pluvial mais acessível financeiramente, o MR, é possível financiar todos os controles dos lotes na micro-bacia Frei Germano e pelo menos 75% dos Pós-controles na micro-bacia Polônia, e 50% dos Pós-controles na micro-bacia Joaquim Leite (Figura 5.36 e Figura 5.37). No item 5.3.2 é apresentada a estimativa de quais valores os proprietários estão dispostos a receber nos incentivos positivos (subsídios ou reduções fiscais) e assim será possível analisar a possibilidade de adotar este tipo de incentivo.

Estes percentuais concedidos pela prefeitura aos proprietários de lotes com disposição a controlar o escoamento produzido na sua propriedade seria estabelecido via subsídio direto ou redução do IPTU. Em ambos os casos, o pagamento direto ou a perda de arrecadação seria compensada pela economia da prefeitura ao não investir em projetos na macrodrenagem, que normalmente apresentam custos mais elevados que o controle do escoamento pluvial na fonte. Os gráficos anteriores confirmam este fato.

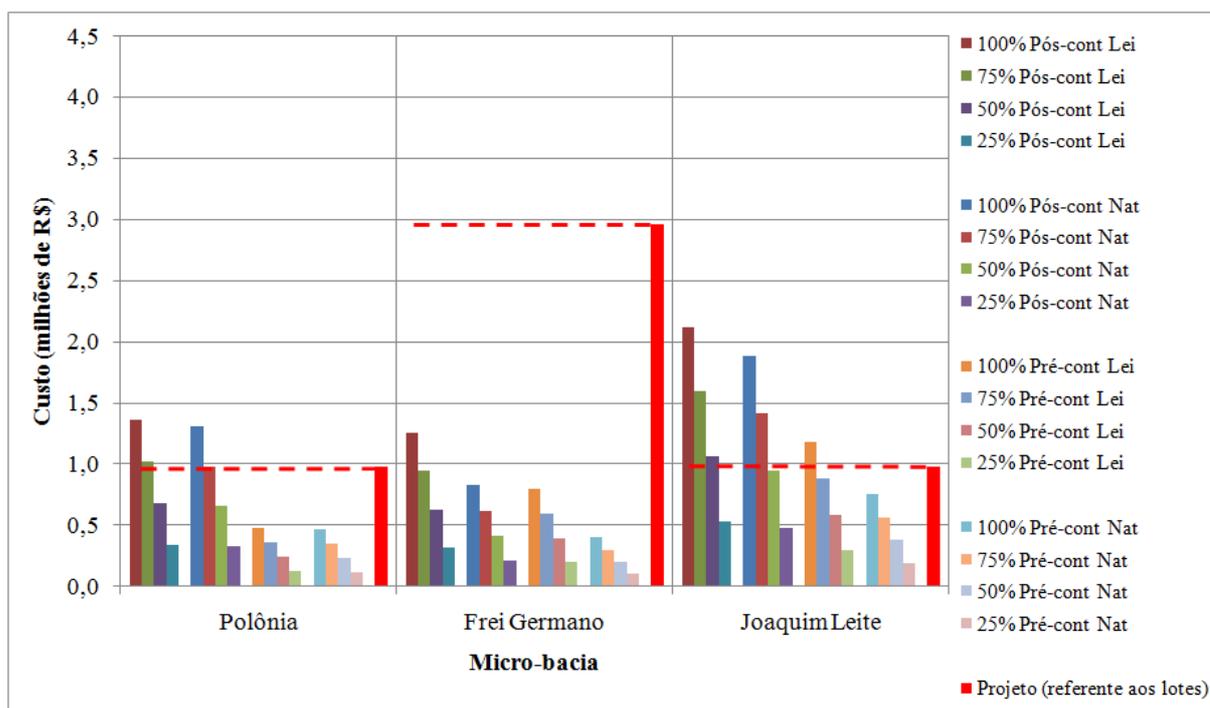


Figura 5.36. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando o custo do MR com escavação mecânica.

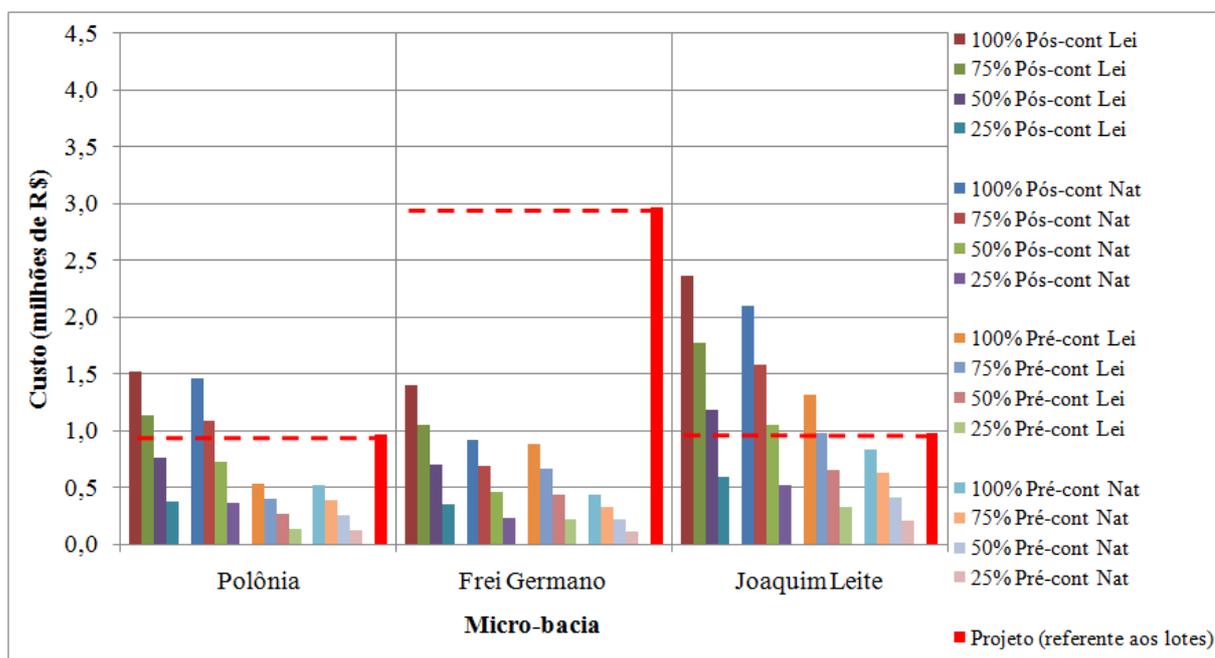


Figura 5.37. Incentivos positivos aos proprietários de acordo com as simulações de controle do escoamento pluvial considerando o custo do MR com escavação manual.

Licenças comercializáveis por alterações quantitativas na drenagem urbana

As licenças comercializáveis na drenagem urbana podem ser criadas utilizando as diferentes disposições a pagar e a receber dos proprietários dos lotes. Para o estabelecimento deste mercado, foram pensadas duas hipóteses:

1. Proprietário de um lote (*Proprietário 1*) não tem condições de realizar o controle do escoamento pluvial (por falta de espaço disponível em seu lote ou por não ter pretensão de modificar seu imóvel) e decide pagar para outro proprietário (*Proprietário 2*) que possui condições ou predisposição de controlar o escoamento gerado no seu lote;

2. Proprietário localizado a jusante em uma bacia urbana (*Proprietário 1*) sofrendo com problemas de alagamentos decide pagar para um proprietário a montante (*Proprietário 2*) com objetivo de resolver seus problemas.

Para estas duas hipóteses podem ser feitas as perguntas: vale a pena para o *proprietário 1* pagar ao *proprietário 2* controlar seu escoamento? Ainda, qual a vantagem para o *proprietário 2*? Na verdade, o custo de controle do escoamento pluvial na fonte sempre será vantajoso para qualquer proprietário. Diversos estudos apontam esta realidade, em especial os relatórios desenvolvidos pelo Condado de Príncipe George, localizado no estado de Maryland, Estados Unidos (PGDER, 1999a).

Admitindo que o *proprietário 1* possua um lote com 450 m² e AIT de 60%. Utilizando a legislação de Porto Alegre, resultaria em um volume unitário de 255,00 m³/ha; gerando a necessidade de um reservatório com volume de 11,475 m³. Este reservatório construído com escavação mecânica possui um custo de aproximadamente R\$ 1.720,00. Admitindo que: (i) o *proprietário 1* pague ao *proprietário 2* 75% deste custo, R\$ 1.290,00; (ii) a taxa não paga pelo *proprietário 1* à prefeitura em função dele pagar ao *proprietário 2* realizar o controle do escoamento pluvial seja de R\$ 250 ao ano; e (iii) o custo de manutenção pago pelo *proprietário 1* ao *proprietário 2* seja de 5% do custo do reservatório, R\$ 86,00 ao ano, é feita a análise de viabilidade econômica para o *proprietário 1* na tabela a seguir. Conforme se observa, em uma análise de onze anos é vantajoso para o *proprietário 1* pagar para o *proprietário 2* realizar o controle, menos que este tempo não é economicamente viável (TIR < TMA, com TMA admitida de 6%).

Esta operação de mercado é possível usando a disposição de controle que o *proprietário 2* possui. O *proprietário 2* ainda será responsável pelo controle do volume restante escoado a mais que o natural em seu lote. Então, qual a vantagem para o *proprietário 2*? Na verdade, a mesma do *proprietário 1*. Como é vantajoso em um determinado intervalo de tempo para o *proprietário 1* pagar para o *proprietário 2* fazer o controle, será vantajoso para o *proprietário 2* fazer o seu próprio controle do escoamento pluvial, evitando pagar uma taxa para a prefeitura.

Tabela 5.26. Exemplo de análise econômica do comércio de licenças por alterações quantitativas na drenagem urbana.

Custos Proprietário 1		Análise TIR	
Inicial	- R\$ 1290,00	VPL dos custos	- R\$1.814,12
Ano 2	- R\$ 86,00	Receita ano 2	R\$ 250,00
Ano 3	- R\$ 86,00	Receita ano 3	R\$ 250,00
Ano 4	- R\$ 86,00	Receita ano 4	R\$ 250,00
Ano 5	- R\$ 86,00	Receita ano 5	R\$ 250,00
Ano 6	- R\$ 86,00	Receita ano 6	R\$ 250,00
Ano 7	- R\$ 86,00	Receita ano 7	R\$ 250,00
Ano 8	- R\$ 86,00	Receita ano 8	R\$ 250,00
Ano 9	- R\$ 86,00	Receita ano 9	R\$ 250,00
Ano 10	- R\$ 86,00	Receita ano 10	R\$ 250,00
Ano 11	- R\$ 86,00	Receita ano 11	R\$ 250,00
		TIR	6,30%

5.2.2 Incentivo econômico ao controle qualitativo do escoamento pluvial

O incentivo ao controle qualitativo do escoamento pluvial foi estudado por meio da aplicação do questionário. Foram feitas quatro perguntas relacionadas ao tema, as duas primeiras referentes ao efluente doméstico, que foram:

- O esgoto gerado no seu imóvel é coletado e/ou tratado pela prefeitura de Porto Alegre? Ou seja, o(a) Sr.(a) paga uma taxa relacionada ao esgoto?

Caso a pessoa tenha respondido “Não” ou “Não sei” à pergunta anterior, indagava-se o seguinte:

- Admitindo que a prefeitura dê um incentivo financeiro para o(a) Sr.(a) ligar (conectar) o seu imóvel ao sistema municipal de coleta e tratamento dos efluentes domésticos, o(a) Sr.(a) faria tal ligação? Esse incentivo financeiro será na forma de redução da taxa de ligação e/ou redução da conta mensal.

A Tabela 5.27 mostra as respostas à primeira pergunta segundo as micro-bacias. A grande maioria dos imóveis sem coleta ou tratamento dos efluentes líquidos se concentra na micro-bacia Frei Germano. A Figura 5.38 apresenta os resultados totais das duas perguntas. Em termos percentuais, cerca de 62% dos proprietários (508 de 825 da amostra total) tem seu esgoto pelo menos coletado pela prefeitura. Porto Alegre é das capitais brasileiras com o menor percentual de esgoto tratado, em torno de 27%. Neste sentido, merece destaque o Programa Integrado Sócio-ambiental (PISA) de Porto Alegre, viabilizado em 2005, que pretende, dentre outros objetivos, retomar a balneabilidade do Lago Guaíba num prazo de 20

anos (PMPA/DEP, 2008). A previsão é que, com a execução do programa, até o ano de 2012 o tratamento de esgoto na capital gaúcha chegue a 77%.

Tabela 5.27. Percentuais de esgoto tratado ou coletado nas micro-bacias do estudo de acordo com a manifestação dos proprietários.

Resposta\Micro-bacia	Polônia	Frei Germano	Joaquim Leite	Total
Sim	77,14%	22,39%	82,47%	61,58%
Não	3,17%	35,14%	5,58%	13,94%
Não sei	19,68%	42,47%	11,95%	24,48%

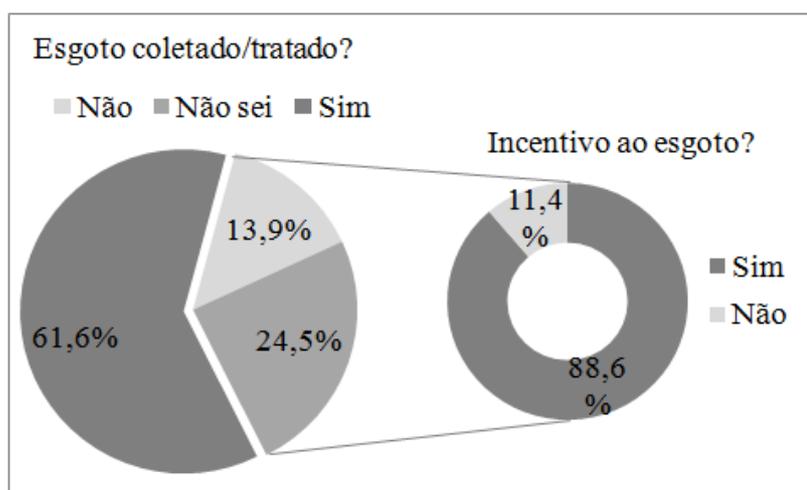


Figura 5.38. Incentivo econômico para o esgoto sanitário.

Dos 38,4% que não tem ou não sabem se tem seu esgoto coletado ou tratado a grande maioria (88,6%) aceitaria fazer a ligação do seu imóvel ao sistema de coleta e tratamento da prefeitura (Figura 5.38). Para isso a prefeitura deveria fornecer um incentivo financeiro. Neste contexto, merece destaque a iniciativa da Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN) nos municípios de Cachoeirinha e Gravataí. Nestes municípios a CORSAN investiu na rede e estações de tratamento de esgoto. No entanto, as residências não fizeram a ligação ao sistema implantado, mesmo que existam legislações que obriguem tal procedimento, como a Constituição Federal; a Lei Federal 10.406/2002; a Resolução CONAMA 357/2005; a Lei Federal 9.605/1998; a Constituição do Estado do Rio Grande do Sul de 16 de fevereiro de 2007; a Lei Estadual 11.520 (Código Estadual do Meio Ambiente); e a Lei Estadual 12.037 (Política Estadual de Saneamento), dentre outras.

Nesta iniciativa, que existiu por 10 anos, de 2001 a 2009, foi dado um subsídio às ligações das unidades familiares nos dois municípios. A taxa de ligação, que era de aproximadamente R\$ 300,00, passou a ser de R\$ 25,00, R\$ 50,00 e R\$ 60,00, dependendo das condições econômicas das famílias, que poderiam ainda ser parcelados. Além disso, quem

autorizasse a ligação no primeiro mês após a visita da CORSAN teve um prazo de seis meses para iniciar o pagamento da ligação e da taxa de esgoto, com valor calculado entre 45% e 55% do consumo de água (Agir Azul, 2010). Geralmente o percentual utilizado é de 80%. Estas ações garantiram que os investimentos nas infra-estruturas de saneamento realizados pela CORSAN tivessem os benefícios ambientais, sociais e econômicos atingidos.

Foram feitas mais duas perguntas referentes aos resíduos sólidos:

- O lixo produzido em seu imóvel é coletado pela prefeitura de Porto Alegre? Ou seja, o(a) Sr.(a) paga uma taxa relacionada ao lixo?

Caso a pessoa tenha respondido “Não” ou “Não sei” à pergunta anterior, indagava-se o seguinte:

- Admitindo que a prefeitura dê um incentivo financeiro para o(a) Sr.(a) usar o serviço de coleta municipal, o(a) Sr.(a) utilizaria? Esse incentivo financeiro será na forma de cestas básicas e/ou vales transportes e/ou redução da conta mensal.

A Tabela 5.28 mostra os percentuais de resíduos sólidos coletados de acordo com as micro-bacias. Novamente, a grande maioria dos imóveis sem coleta se concentra na micro-bacia Frei Germano. A Figura 5.39 apresenta os resultados totais das duas perguntas referentes aos resíduos sólidos. Em termos percentuais aproximadamente 91% dos proprietários (574 de 825 da amostra total) tem seu lixo coletado pela prefeitura. No caso do lixo, quase 100% dos proprietários que declararam não ter o lixo coletado, ou não saber, aceitariam usar o sistema de coleta municipal em troca de um incentivo financeiro. Estes resultados mostram o potencial de uma política pública baseada em investimentos baixos que trariam resultados significativos na redução de um dos principais problemas da drenagem urbana, a poluição.

Tabela 5.28. Percentuais de resíduo sólido coletado nas micro-bacias do estudo de acordo com a manifestação dos proprietários.

Resposta\Micro-bacia	Polônia	Frei Germano	Joaquim Leite	Total
Sim	99,37%	75,68%	97,61%	91,39%
Não	0,00%	6,18%	0,80%	2,18%
Não sei	0,63%	18,15%	1,59%	6,42%

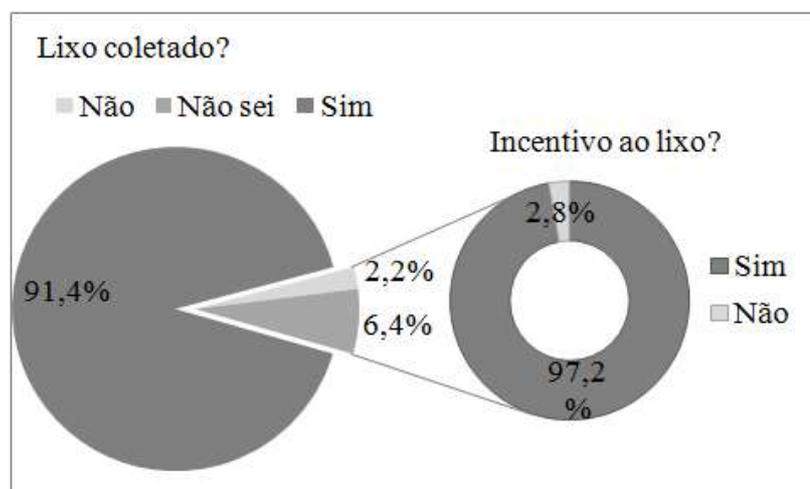


Figura 5.39. Incentivo econômico para os resíduos sólidos.

5.3 Validação dos incentivos econômicos

A validação dos incentivos econômicos foi realizada por meio da análise dos dados obtidos na aplicação de um questionário aos proprietários de imóveis nas micro-bacias do estudo de caso. Os questionários foram aplicados de duas formas, a primeira com a presença dos proprietários, conforme mostra a Figura 5.40. A outra forma encontrada para aplicação do questionário foi a entrega e posterior retorno (Figura 5.41). Esta estratégia foi adotada em função das freqüentes recusas para o preenchimento dos questionários. No retorno, quando ocorriam algumas dúvidas para a resposta, elas eram respondidas.

A aplicação do questionário se estendeu por seis meses e foi facilitada com a ajuda da União das Associações de Moradores de Porto Alegre (UAMPA), principalmente na Micro-bacia Frei Germano. A ajuda constituiu-se na indicação das associações de moradores existentes nos bairros São José e Partenon, notadamente: Associação de Moradores Fim da Linha do Alameda – Bairro São José; Comissão de Moradores da Rua da Represa – Bairro São José; Associação Clube de Mães Batista Xavier – Bairro Partenon; Associação de Moradores da Vila São Pedro – Bairro Partenon; Associação de Moradores Estrela Cristalina – Bairro Partenon; Associação de Moradores Paulino Azurenha – Bairro Partenon; e Associação Comunitária Murialdo – Bairro Partenon. Estes contatos possibilitaram o acesso mais fácil na comunidade para a aplicação dos questionários.



Figura 5.40. Aplicação do questionário na situação em que o entrevistado se disponibiliza a responder imediatamente à pesquisa.



Figura 5.41. Aplicação do questionário na situação em que o entrevistado se disponibiliza a responder a pesquisa em um momento posterior à entrega.

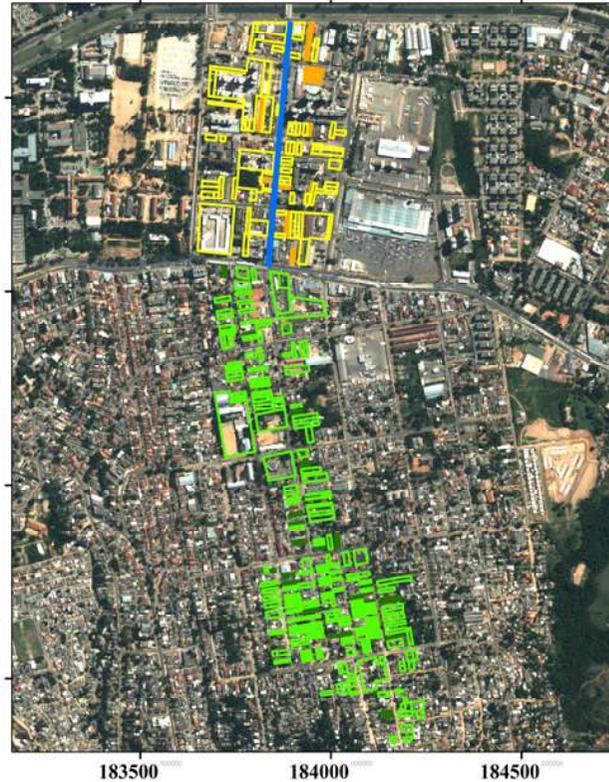
A Figura 5.42 mostra os lotes de montante e jusante utilizados para a aplicação do questionário piloto e o definitivo na pesquisa. Conforme salientado anteriormente, o questionário piloto serviu para determinar as amostras para as estimativas da DAP e DAR, obtidas a partir da aplicação do questionário definitivo. As características gerais da amostra definitiva são mostradas na Tabela 5.29.



- Legenda**
- Controle PMPA
 - Questionário Definitivo MB1 Jusante
 - Questionário Piloto MB1 Jusante
 - Questionário Definitivo MB1 Montante
 - Questionário Piloto MB1 Montante



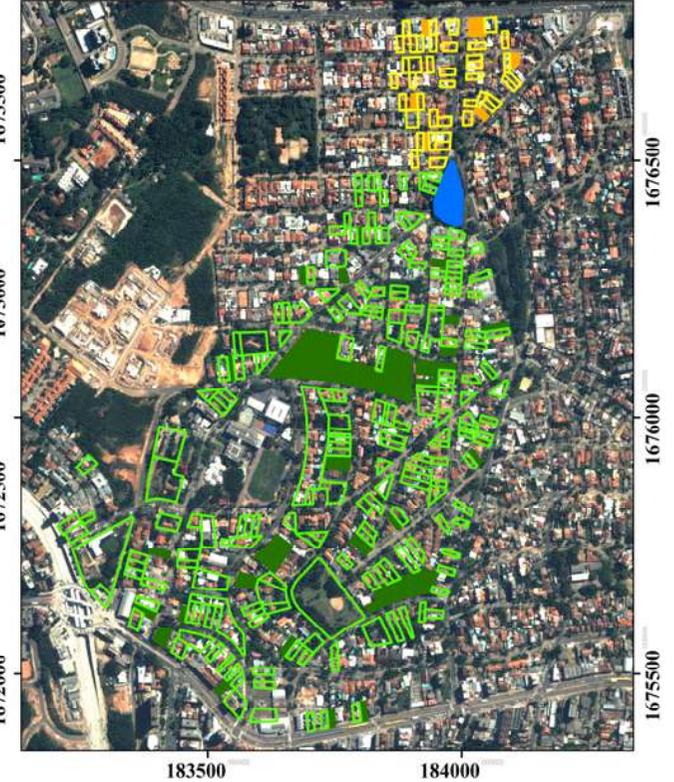
(a) Polônia



- Legenda**
- Controle PMPA
 - Questionário Definitivo MB2 Jusante
 - Questionário Piloto MB2 Jusante
 - Questionário Definitivo MB2 Montante
 - Questionário Piloto MB2 Montante



(b) Frei Germano



- Legenda**
- Controle PMPA
 - Questionário Definitivo MB3 Jusante
 - Questionário Piloto MB3 Jusante
 - Questionário Definitivo MB3 Montante
 - Questionário Piloto MB3 Montante



(c) Joaquim Leite

Figura 5.42. Lotes de montante e jusante para aplicação dos questionários piloto e definitivo nas micro-bacias.

Tabela 5.29. Características gerais das amostras definitivas para a estimativa da DAP e DAR.

Variável	n	%
Gênero		
Masculino	385	46,67%
Feminino	440	53,33%
Escolaridade		
Ensino Fundamental	150	18,18%
Ensino Médio	285	34,55%
Ensino Superior	390	47,27%
Renda		
Abaixo de R\$ 1.000	142	17,21%
Entre R\$ 1.000 e R\$ 2.500	154	18,67%
Entre R\$ 2.500 e R\$ 5.000	115	13,94%
Entre R\$ 5.000 e R\$ 7.500	237	28,73%
Acima de R\$ 7.500	177	21,45%
Idade (anos)		
21-30	98	11,88%
31-40	223	27,03%
41-50	176	21,33%
51-60	158	19,15%
61-70	105	12,73%
71-80	61	7,39%
81-90	4	0,48%
Conta de água e esgoto		
Abaixo de R\$ 10	69	8,36%
Entre R\$ 10 e R\$ 25	79	9,58%
Entre R\$ 25 e R\$ 50	133	16,12%
Entre R\$ 50 e R\$ 75	169	20,48%
Entre R\$ 75 e R\$ 125	78	9,45%
Entre R\$ 125 e R\$ 200	116	14,06%
Entre R\$ 200 e R\$ 300	92	11,15%
Acima de R\$ 300	89	10,79%
Posição		
Montante	670	81,21%
Jusante	155	18,79%
Total (para cada variável)	825	100,00%

5.3.1 Drenagem urbana e os proprietários dos lotes

As pessoas quando questionadas afirmaram possuir ao menos um grau médio de preocupação com o meio ambiente (Figura 5.43). Ainda mais, é elevado o percentual de proprietários que manifestaram alta ou muito alta preocupação com o meio ambiente (cerca de 70%). Com relação ao escoamento da água da chuva (Figura 5.44) esta preocupação se mostrou em grande parte ligada ao valor de existência (12,2%) e de opção e herança (36,5%)

Entretanto, parte dos proprietários que manifestaram preocupação com o meio ambiente são levados a ter esta posição por um valor de uso imediato (35%), associado ao prazer de uma vista agradável e/ou ter lucros econômicos em função da proximidade de sua propriedade a um ambiente preservado.

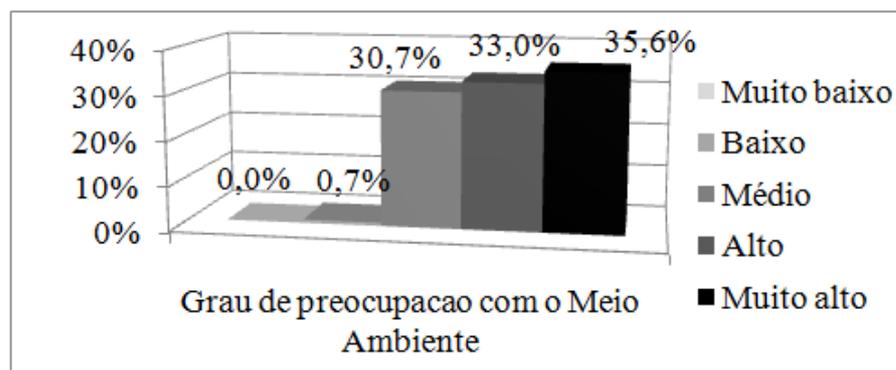


Figura 5.43. Grau de preocupação com o meio ambiente manifestada pelos proprietários dos lotes.

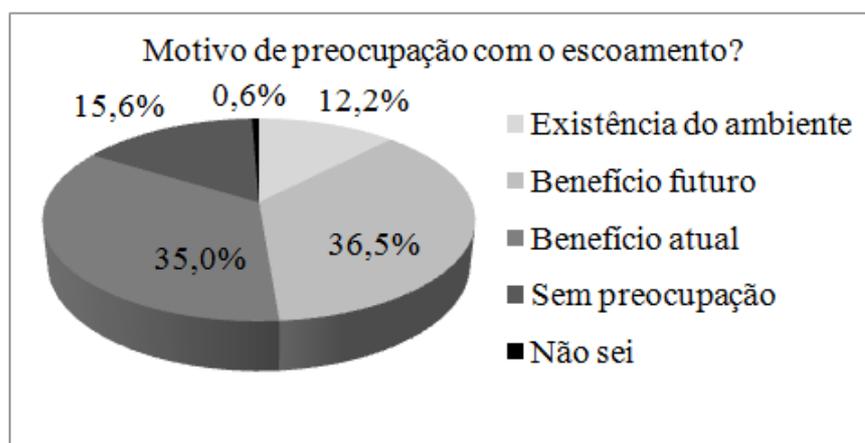


Figura 5.44. Motivo de preocupação com o escoamento da água da chuva manifestada pelos proprietários dos lotes.

A escolha das micro-bacias do estudo de caso foi motivada pelas diferenças quanto à realidade dos problemas relacionados à drenagem urbana, função das ações implantadas ou não pela Prefeitura de Porto Alegre. Em cerca de 80% dos casos os proprietários manifestaram a existência de alagamentos próximos aos seus imóveis (Figura 5.45). Os alagamentos solucionados, que ocorriam no passado, se concentraram na micro-bacia Polônia, onde existe o controle do escoamento pluvial implantado desde 1999. Os prejuízos devido aos alagamentos (Figura 5.46) tiveram um percentual menos expressivo, 28%. Contudo, destacasse o temor existente nos proprietários sobre a possibilidade de sofrer prejuízos (47,8%). Os locais onde mais ocorrem ou ocorreram prejuízos foram a jusante dos controles implantados ou planejados pela prefeitura. Conforme será analisado a seguir, a existência dos

alagamentos e prejuízos terá uma relação forte com a disposição a pagar ou receber dos proprietários para solucionar os problemas de drenagem urbana.

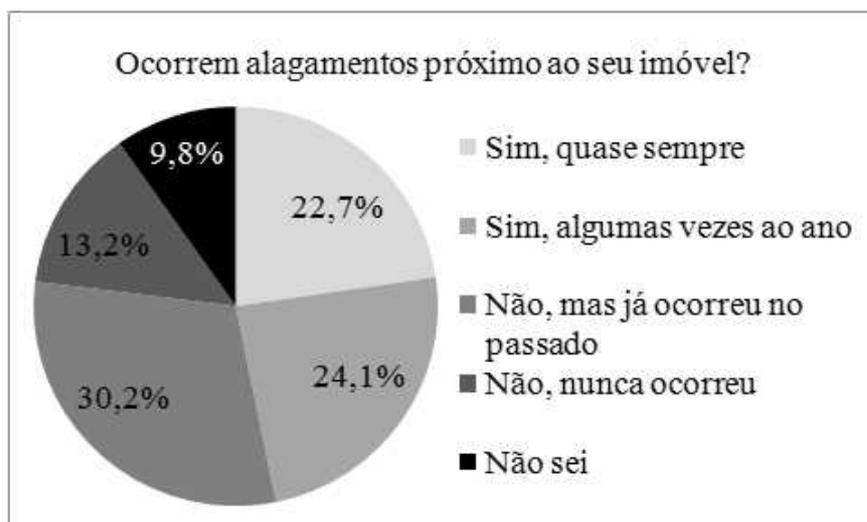


Figura 5.45. Ocorrência de alagamentos nas micro-bacias.

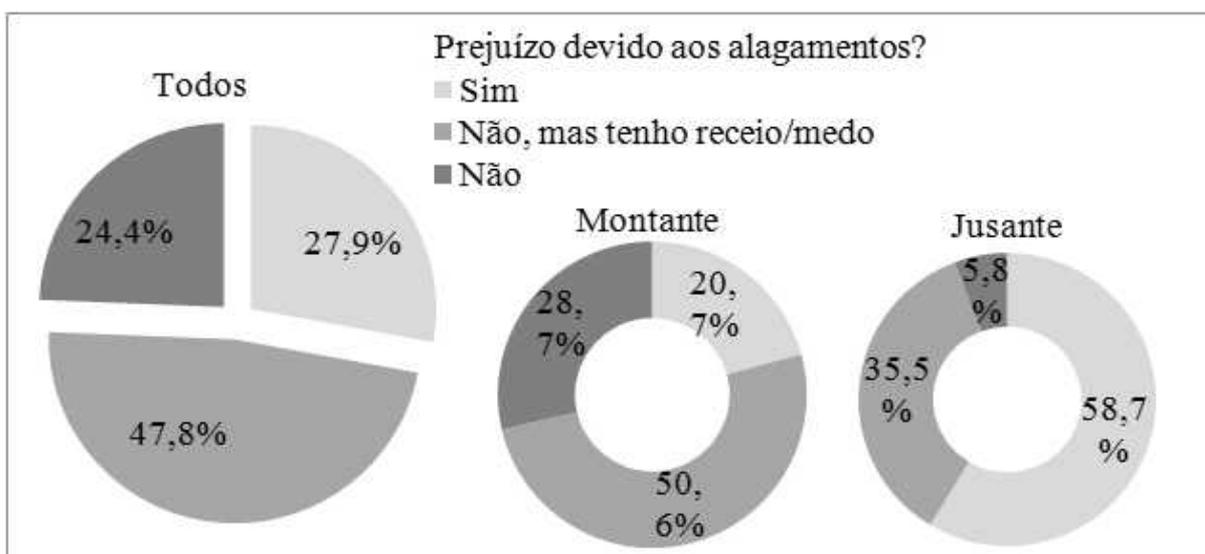


Figura 5.46. Prejuízos devido aos alagamentos nas micro-bacias.

Os principais prejuízos manifestados pelos proprietários foram gastos com limpeza das residências e de automóveis. Alguns proprietários, donos de estabelecimentos comerciais, relataram a perda de clientes em função dos alagamentos. A Figura 5.47 mostra situações de alagamentos enfrentados pelos proprietários na micro-bacia Joaquim Leite, na Avenida Teixeira Mendes, próximo ao local onde foram planejados os reservatórios de amortecimento no bairro. A fotografia da esquerda apresenta um veículo “enfrentando” a rua coberta de água e a da direita um restaurante que ficou cercado pela água, impossibilitando a entrada e saída de clientes.



Figura 5.47. Alagamentos na micro-bacia Joaquim Leite.

Alguns proprietários investiram em alterações de suas propriedades para conviver com os alagamentos. Um exemplo é mostrado na Figura 5.48. Nesta propriedade, onde funciona uma *Pet Shop*, a proprietária adaptou a entrada de seu estabelecimento com uma mureta e rampa, evitando, assim, que a água do escoamento da chuva alcançasse a porta de entrada, conforme é mostrado na Figura 5.48. Outros proprietários com poder aquisitivo mais elevado citaram que a escolha do seu automóvel foi influenciada pelos problemas de alagamentos existentes no bairro. A escolha se deve pela altura dos automóveis. Existem marcas que, inclusive, usam esta característica dos automóveis em suas campanhas publicitárias. A Figura 5.49 mostra os automóveis transitando pelas ruas alagadas.



Figura 5.48. Modificação empregada por um proprietário para conviver com os constantes alagamentos.



Figura 5.49. Diferença entre os carros que transitam nas ruas alagadas.

Atualmente, em alguns municípios brasileiros moradores que enfrentam problemas ou tiveram prejuízos com alagamentos ou enchentes podem ficar isentos do pagamento de IPTU e até mesmo taxas de água e esgoto. De acordo com JN (2010), Belo Horizonte, Atibaia (SP) e Santa Cruz do Sul (RS) são exemplos de cidades que não cobram o IPTU de moradores que foram vítimas de enchentes. A reportagem mostrou que em Belo Horizonte, a isenção vale para o imposto do ano em que ocorreu a enchente. Mas, dependendo do prejuízo, o dono do imóvel pode ficar livre também do IPTU do ano seguinte. Em Atibaia, interior de São Paulo, a isenção para casas atingidas por inundações acabou de virar lei e também não haverá cobrança de água, nem esgoto. Em Santa Cruz do Sul, há três anos, vítimas da cheia do Rio Pardinho tem o direito de não pagar o imposto predial.

O caso de um restaurante foi mostrado em detalhes pela reportagem. O dono relatou que sofreu o quinto alagamento em dois anos. Segundo JN (2010), o proprietário foi obrigado a permitir a saída de 120 pessoas sem pagar o consumo, pois muitos estavam em pânico com a elevação de nível da água na rua. Esta isenção tributária encontra respaldo jurídico, pois a prefeitura é a responsável pelo serviço de drenagem. Quando o serviço não é prestado

eficientemente os cidadãos devem ser indenizados de alguma forma. Entretanto, a ação não resolve os problemas, os alagamentos continuarão ocorrendo. Na reportagem foi salientado que é necessária uma política de prevenção.

Na micro-bacia Joaquim Leite ocorreram casos extremos com as mortes de quatro pessoas em eventos de grande intensidade. Em 09/03/1984 três pessoas de uma mesma família faleceram e em 06/07/1998 uma criança. Neste último caso, a prefeitura municipal foi responsabilizada judicialmente e condenada a pagar indenização para a família. Conforme TJRS (2009), o município durante 11 anos deverá pagar pensão mensal equivalente a 2/3 do salário mínimo regional. Também foi arbitrado pagamento de 500 salários mínimos regionais por dano moral. Ainda, deverão ser ressarcidas as despesas com caixão, coroa e remoção, bem como o aluguel do túmulo, além de aquisição de jazigo perpétuo no cemitério onde repousa a criança, arcando com a remoção do corpo. O magistrado responsável pelo caso determinou ainda que o Ministério Público recebesse cópia da decisão, para adoção de medidas cabíveis tendentes a punir os responsáveis e evitar ou minorar as conseqüências do próximo alagamento, “cujo sinistro e fatalidade é facilmente previsível, sem qualquer ação concreta e positiva pelos gestores da coisa pública”, segundo o Juiz responsável.

O Juiz assinalou que a questão é recorrente, quase causando a morte de outras pessoas em 17/6/2003, quando a água atingiu o capô de automóveis que trafegavam no local, e dois aposentados e sua neta foram retirados do carro mediante ajuda de voluntários (TJRS, 2009). Na mesma situação e no mesmo lugar, um automóvel escolar foi arrastado pela correnteza “mas corajosa e heroicamente as crianças e o motorista foram resgatados”, registrou, “sem falar no sem-número de inundações e danos materiais proporcionado pelas seguidas, anuais, sabidas e previsíveis enxurradas que ocorrem no local”.

De acordo com o magistrado, esses fatos são suficientes para condicionar o dever de reparar, sinalizando a omissão do ente municipal, único e exclusivo responsável pelo sistema viário, de esgoto e de canais da capital gaúcha. Dois laudos técnicos já emitidos evidenciaram o subdimensionamento da rede pluvial existente naquele lugar, erros de projetos pluviais, falta de sinalização adequada e ausência de melhoramentos, obras e, inclusive, limpeza permanente e constante.

Esta posição jurídica manifestada nos casos de perda material e humana devido aos alagamentos foi demonstrada também nos questionários. Uma das questões abordou o tema do direito dos cidadãos terem o serviço de drenagem urbana prestado eficientemente,

independente de pagarem ou receberem para tal. O argumento utilizado é que já são pagos impostos suficientes para a prefeitura municipal. A Figura 5.50 apresenta os resultados encontrados, indicando o destacado posicionamento dos proprietários entrevistados. Esta manifestação reflete um protesto contra a criação de uma nova taxa ou imposto relacionado ao serviço de drenagem urbana. Resultados semelhantes foram encontrados por Jorgensen e Syme (2000), que indicam que os protestos são sustentados pela crença de que cabe ao governo a gestão das águas pluviais e nos direitos individuais de um serviço prestado eficientemente.

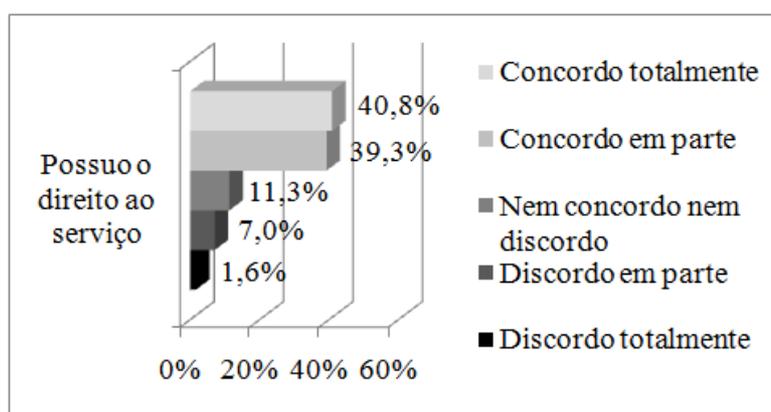


Figura 5.50. Posição dos proprietários referente ao direito pelo serviço de drenagem urbana.

Além do protesto anterior, foi estudado outro tipo de protesto, o desvio de dinheiro caso fosse criada uma taxa ou imposto para a drenagem urbana. O percentual das pessoas que concorda totalmente foi superior ao protesto anterior (49,2% contra 40,8%). No entanto, os que não concordam nem discordam e os que discordam de alguma forma tiveram percentuais semelhantes, em torno de 20%. A idéia de desvio de dinheiro é um atrativo para o não pagamento de taxas e impostos, além de haver, segundo Baquero *et al.* (2005), uma predisposição para isso. Os porto-alegrenses sabem que o pagamento dos seus impostos faz parte do contrato social para financiar a máquina do Estado, mas consideram que o Estado não tem cumprido seu papel na realização de bens ou serviços. Por um lado, os entrevistados da pesquisa acreditam que a maior parte da arrecadação seria desviada por corrupção (Figura 5.51), por outro, segundo Baquero *et al.* (2005) há forte descrença no processo de arrecadação, pois as pessoas afirmam que a maior parte da população sonega ou é corrupta, além de não pagar seus impostos em dia.

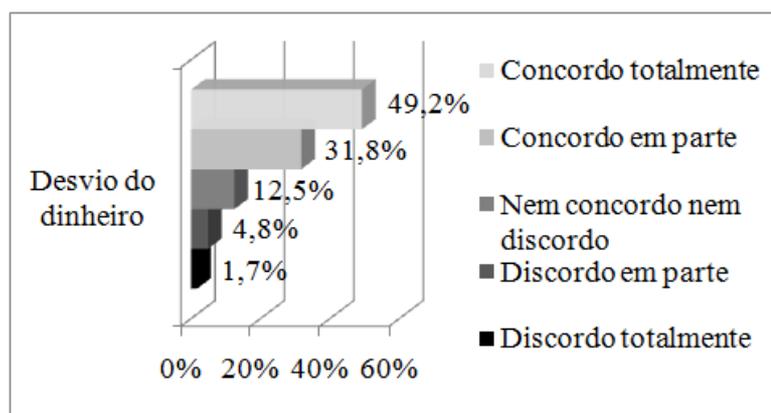


Figura 5.51. Posição dos proprietários referente à possibilidade de desvio do dinheiro recolhido com uma taxa ou imposto pelo serviço de drenagem urbana.

Baquero *et al.* (2005) estudaram a influência do Orçamento Participativo (OP) em Porto Alegre, onde existe há mais de duas décadas. O OP é um mecanismo governamental de democracia participativa que permite aos cidadãos influenciar ou decidir sobre os orçamentos públicos, geralmente o orçamento de investimentos de prefeituras municipais, por meio de processos de participação cidadã. Muitas prefeituras adotaram a participação popular, como é o caso de Saint-Denis (França), Rosário (Argentina), Montevideu (Uruguai), Barcelona (Espanha), Toronto (Canadá), Bruxelas (Bélgica), Belém (Pará), Santo André (SP), Aracaju (Sergipe), Blumenau (SC), Belo Horizonte (MG) e Atibaia (SP). Com diferentes metodologias em cada município em que o OP é executado, suas assembleias costumam ser realizadas em sub-regiões municipais, bairros ou distritos, em discussões temáticas e/ou territoriais, elegendo também delegados que representarão um tema ou território nas negociações com o governo.

A pesquisa de Baquero *et al.* (2005) mostra que o OP ganhou a simpatia da população da cidade de Porto Alegre, sendo valorizado por sua influência positiva sobre o governo. Mas, a participação popular se mostrou ineficiente para alterar a predisposição negativa dos entrevistados com relação aos impostos. Ainda que na dimensão da cultura política possa ter alguma incidência, esta não se coloca acima da avaliação de ineficácia do Estado. Este é um ponto que os autores enfatizaram: a ineficácia do Estado em resolver os problemas mesmo com capital econômico para tal via pagamento de impostos. Este quadro gera um círculo vicioso no qual a população sente-se desamparada e, assim, não concorda em se submeter às diversas regulamentações do Estado.

Os autores sugerem que a falta de legitimidade dos impostos, mais do que uma questão de competência cultural, é um problema de solução pragmática. Ou seja, caso não gere resultados práticos, a ausência de confiança irá sempre prevalecer. A investigação de Baquero *et al.* (2005) sobre Porto Alegre sugere, então, que, apesar dos avanços na direção de fomentar uma legitimidade por desempenho com o OP, isto não está consolidado, pois os cidadãos não vêm no Estado a resposta aos seus problemas materiais mais imediatos. No espaço reservado às opiniões diversas do questionário foi manifestada a indignação quanto à falta de alguns serviços da prefeitura, como poda de árvores, troca de lâmpadas queimadas e limpeza de ruas, dentro outros serviços de responsabilidade da prefeitura municipal.

Esta realidade é manifestada diretamente nas ações empreendidas pela prefeitura de Porto Alegre com objetivo de resolver os problemas de drenagem urbana. A presente pesquisa evidenciou que o uso de reservatórios de amortecimento é visto com desconfiança pela população. Opiniões negativas (Ruim ou Péssimo) são a maioria e cerca de 39% da população estudada não conhecem os reservatórios de amortecimento, destacadamente os proprietários localizados a montante dos projetos. A Figura 5.52 apresenta os resultados quanto ao conhecimento e a Figura 5.53 as opiniões referentes aos reservatórios de amortecimento.

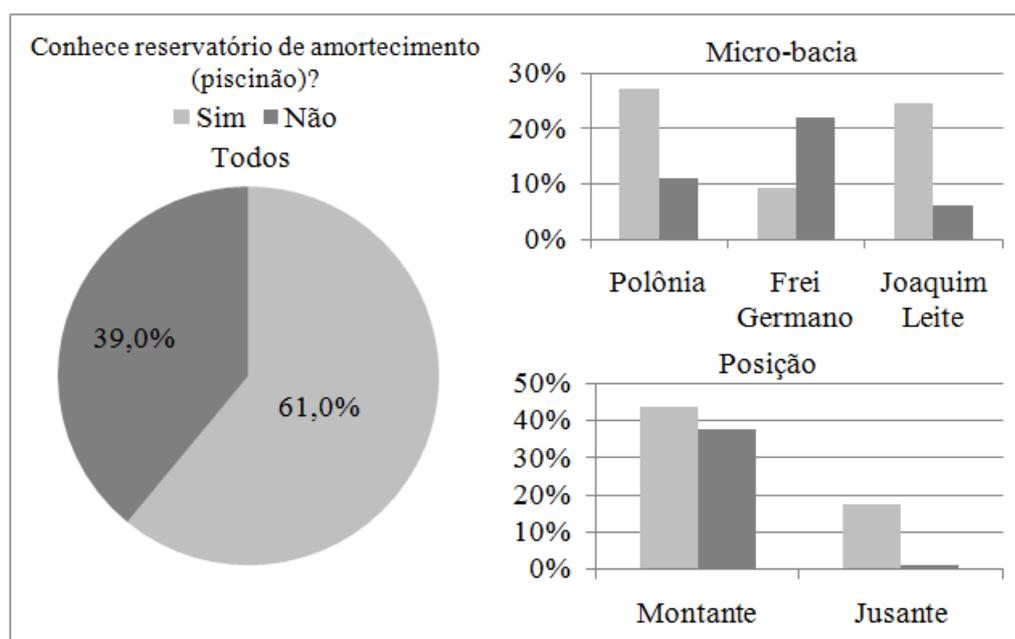


Figura 5.52. Conhecimento dos reservatórios de amortecimento nas micro-bacias.

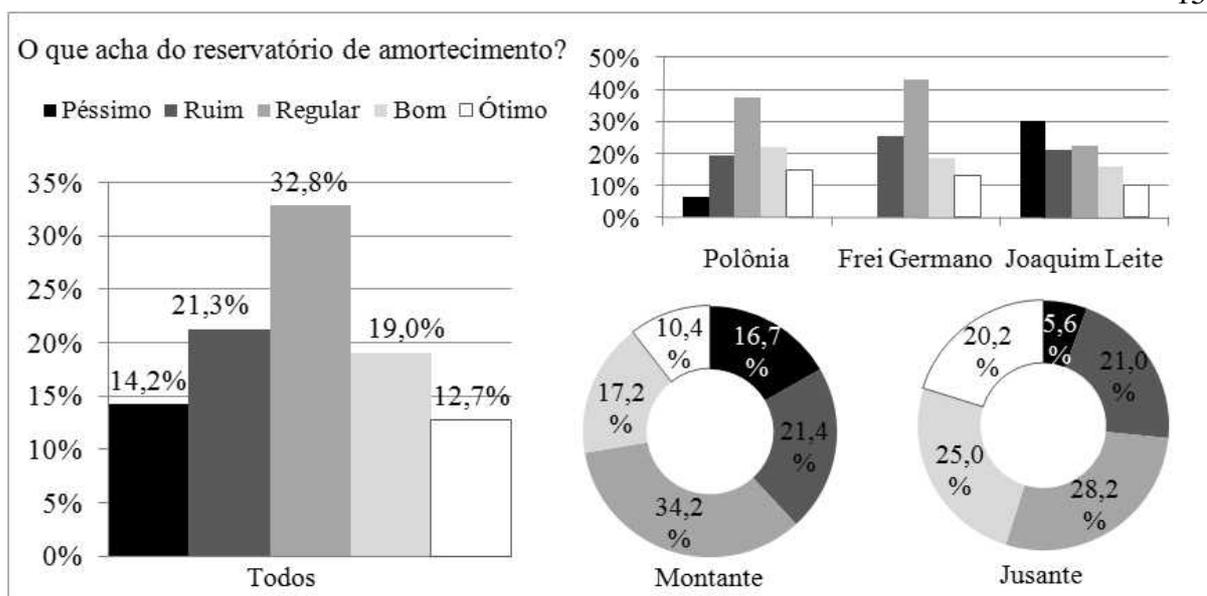


Figura 5.53. O que os proprietários acham dos reservatórios de amortecimento.

Conhecer o reservatório de amortecimento possui relação tanto com as micro-bacias como com as posições (Tabela 5.30 e Tabela 5.31). O Teste Qui-quadrado foi muito significativo ($p < 0,01$) em ambos os casos. O conhecimento é maior que o esperado nas micro-bacias Polônia, onde existe um reservatório há mais de uma década, e Joaquim Leite, onde outro está em construção. Em termos percentuais dentro de cada micro-bacia, destaca-se a Joaquim Leite, com 80,48% de conhecimento (202 dentre 251 respostas), função da recente discussão sobre o assunto para as construções dos reservatórios no local. A jusante, o conhecimento também é maior que o esperado, haja vista que é próximo aos proprietários de jusante que os reservatórios são construídos e onde os seus resultados se demonstram.

Tabela 5.30. Teste estatístico para analisar a dependência do conhecimento do reservatório de amortecimento com as variáveis micro-bacia e posição.

Conhece reservatório de amortecimento?		Posição		Micro-bacia			Total
		Montante	Jusante	Polônia	Frei Germano	Joaquim Leite	
Sim	Valor	377	126	224	77	202	503
	Valor esperado	408,50	94,50	192,10	157,90	153,00	503
	Resíduo ajustado	-5,75	5,75	4,70	-12,40	7,60	-
Não	Valor	293	29	91	182	49	322
	Valor esperado	261,50	60,50	122,90	101,10	98,00	322
	Resíduo ajustado	5,75	-5,75	-4,70	12,40	-7,60	-
Total	Valor	670	155	315	259	251	825
	Valor esperado	670	155	315	259	251	825

Tabela 5.31. Teste estatístico para analisar a dependência das opiniões referentes ao reservatório de amortecimento com as variáveis micro-bacia e posição.

O que acha do reservatório de amortecimento?		Posição		Micro-bacia			Total
		Montante	Jusante	Polônia	Frei Germano	Joaquim Leite	
Péssimo / Ruim	Valor	153	37	56	29	105	190
	Valor esperado	146,04	43,96	76,90	40,40	72,70	190
	Resíduo ajustado	1,49	-1,49	-3,80	-2,50	6	-
Regular	Valor	141	35	81	49	46	176
	Valor esperado	135,28	40,72	71,30	37,40	67,30	176
	Resíduo ajustado	1,25	-1,25	1,80	2,60	-4	-
Bom / Ótimo	Valor	118	52	80	36	54	170
	Valor esperado	130,67	39,33	68,80	36,20	65	170
	Resíduo ajustado	-2,79	2,79	2,10	0	-2,10	-
Total	Valor	412	124	217	114	205	536
	Valor esperado	412	124	217	114	205	536

No teste para analisar a dependência das opiniões referentes ao reservatório de amortecimento com as variáveis micro-bacia e posição, as opiniões negativas (Ruim e Péssimo) foram agrupadas, o mesmo para as opiniões positivas (Bom e Ótimo). Esse procedimento foi adotado para facilitar a análise do teste e possibilitar uma avaliação estatística mais robusta. Os resultados sugerem que a posição possui relação estatística significativa ($p=0,02$) para a definição das opiniões quanto ao reservatório de amortecimento. Especialmente as opiniões positivas diferenciaram-se muito significativamente entre as posições, pois seus resíduos ajustados foram superiores aos valores críticos para $\alpha = 0,01$ ($\pm 2,575$).

As micro-bacias apresentaram relação estatística muito significativa com as opiniões ($p<0,01$). Na micro-bacia Joaquim Leite os proprietários possuem uma opinião negativa sobre os reservatórios de amortecimento, cerca de 51% os acham péssimo ou ruim (105 dentre 205), com resíduo ajustado igual a 6. Na micro-bacia Polônia, onde já existe o reservatório de amortecimento e há o seu conhecimento, a opinião dos moradores é mais favorável. Assim, os resultados sugerem que o conhecimento e a convivência dos proprietários com o reservatório de amortecimento faz com que eles possuem uma melhor opinião. Pode-se imaginar que com o passar do tempo e o funcionamento do dispositivo, a opinião negativa das pessoas tende a mudar. Quem não o conhece apresentou uma opinião positiva quanto ao reservatório de amortecimento, achando que a alternativa pode ser eficiente para resolver os problemas, conforme resultados na micro-bacia Frei Germano. Estes resultados são semelhantes aos discutidos no parágrafo anterior, que demonstrou a opinião mais favorável os proprietários de

jusante, corroborando a afirmação de que quem convive com o reservatório de amortecimento tende a ter uma opinião mais positiva sobre ele.

Deve ser ressaltada a forte oposição enfrentada pela prefeitura para a construção dos três reservatórios planejados na micro-bacia Joaquim Leite. Diversas ações foram desenvolvidas pelos técnicos municipais junto aos moradores com objetivo de sanar as dúvidas existentes e modificar a atitude contrária. Contudo, parece que as ações não surtiram os efeitos planejados. Inclusive, os projetos foram modificados por solicitação dos moradores. A principal modificação foi passar os reservatórios abertos para subterrâneos, com lajes superiores servindo como áreas de lazer e esporte.

Em notícia do jornal Zero Hora, da edição de 14 de agosto de 2009, foram apresentadas outras posições negativas da comunidade da micro-bacia Joaquim Leite. Os moradores propuseram suspender a construção das outras duas bacias previstas para a região, nas praças Lopes Trovão e Joaquim Leite. Esta hipótese nem sequer foi cogitada pelos técnicos e pelo diretor do DEP. Nos projetos da prefeitura o conjunto das três bacias é imprescindível para resolver o problema das enchentes no bairro e evitar novas perdas econômicas e humanas. O principal temor dos moradores é que as obras tragam mau cheiro ao local. Esta posição dos moradores é no mínimo contraditória, pois são nas suas residências que são produzidos os esgotos sanitários e resíduos sólidos que chegam à rede de drenagem.

Os problemas de drenagem existentes na micro-bacia Joaquim Leite poderiam ser minimizados (ou até mesmo evitados) pelos proprietários dos lotes. Todavia, percebeu-se uma tendência dos proprietários em querer que a prefeitura resolva os problemas, independente de ações que eles pudessem tomar. Ou seja, eles não entendem sua posição como parte do problema. Quando questionados se eles conheciam o impacto do seu imóvel sobre o escoamento da água da chuva 40,7% disse não conhecer (Figura 5.54). Culturalmente, a sociedade se acostumou a ser subsidiada pelos governos. Neste contexto, surgiu o princípio da subsidiariedade, defendido por muitos autores e seguido, por exemplo, pela União Européia. O principal mérito deste princípio é a idéia de que não é justo transferir responsabilidades (Granja e Warner, 2006). Assim, a aplicação do princípio levaria a sociedade perceber seus problemas e procurar resolvê-los, “arregaçando as mangas”, e não mais esperando que o Governo faça tudo. Esta argumentação faz parte do sistema de gestão de recursos hídricos, baseado na resolução dos conflitos de uso e problemas com a participação dos usuários da água, na instância mais próxima das questões.

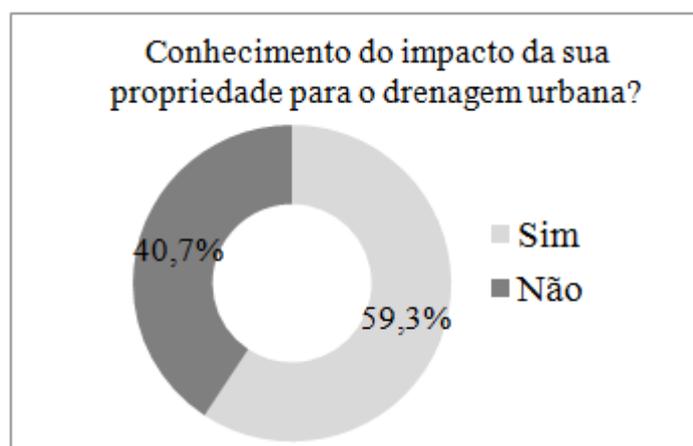


Figura 5.54. Conhecimento do impacto das propriedades particulares

Esta iniciativa parece utópica, pelo menos nas micro-bacias deste estudo. Poucos proprietários investiriam no controle da água da chuva no seu lote espontaneamente ou por pressão da comunidade (Figura 5.55). Nenhum proprietário investiria caso houvesse uma taxa. Um fator positivo é que a resposta “nunca investiria” também não foi escolhida. Destaca-se a importância da prefeitura no papel fiscalizador (21,9% investiria após uma notificação municipal) e dos responsáveis técnicos pelos projetos e/ou obras (16,4% investiria caso o responsável técnico proponha). Contudo, o maior destaque é o uso de um incentivo positivo. A grande maioria (54,9%) investiria caso ele existisse.

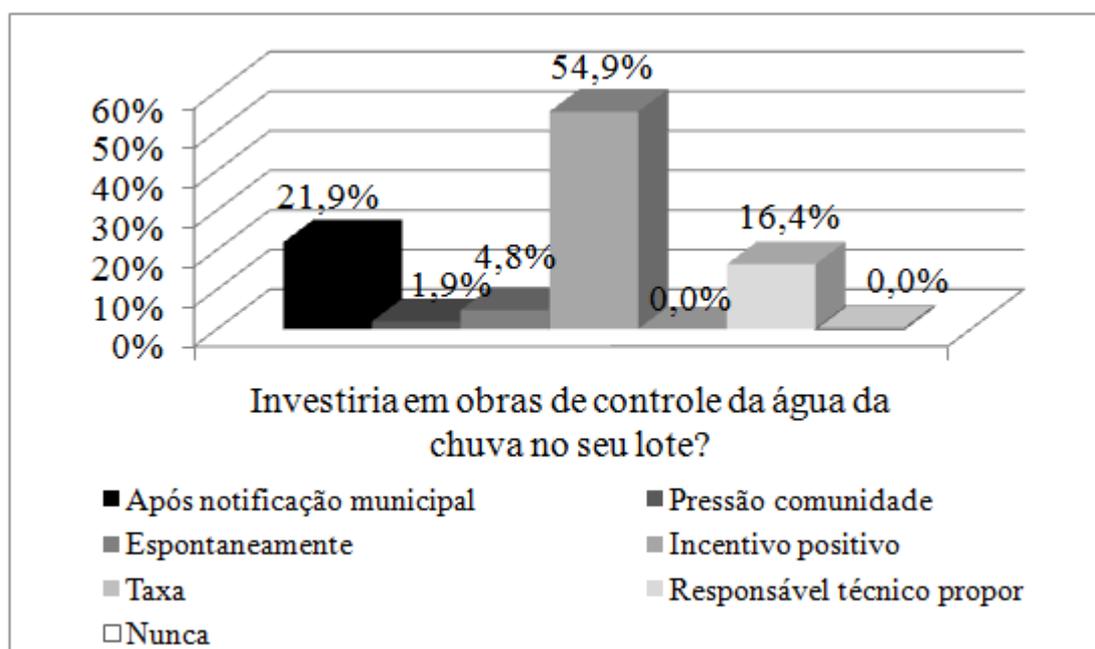


Figura 5.55. Respostas dos proprietários sobre a possibilidade de investir em obras de controle da água da chuva em seus lotes.

As opiniões manifestadas e mostradas na Figura 5.55 com relação aos responsáveis técnicos e a prefeitura refletem o atual quadro de omissão dos profissionais que deveriam agir

no controle do escoamento pluvial. Tucci (2008) analisa esta posição e aponta os entraves da sustentabilidade na drenagem urbana que foram corroborados na presente pesquisa:

- os proprietários não entendem seu papel na formação do escoamento;
- os engenheiros e os arquitetos falham no projeto, devido às lacunas na sua formação profissional e ausência de aperfeiçoamento;
- as prefeituras falham ao não fiscalizarem e promoverem ações de conscientização. Muitas vezes das próprias ações que desenvolvem. Um exemplo são os reservatórios de amortecimento que não são reconhecidos como tal pelos moradores próximos.

Algumas ações que poderiam ser adotadas para se atingir a sustentabilidade utilizando os incentivos econômicos:

- para os proprietários entenderem seu papel: é necessário um processo de educação, por meio de associações de moradores e por um mecanismo de incentivo econômico, de preferência positivo (redução do IPTU, por exemplo);
- engenheiros e arquitetos passem por cursos de atualização, função do Conselhos Regionais de Engenharia e Arquitetura (CREAs), prefeituras municipais, Sindicatos de Indústrias de Construção Civil (SIDUSCONs), universidades (cursos de graduação e extensão);
- prefeituras municipais promovam ações de fiscalização e conscientização, tanto de engenheiros/arquitetos quanto da população.

Em alguns casos existe uma clara posição anti-governo, mesmo que isso não se materialize em ações pró-ativas por parte dos proprietários para a resolução dos problemas de drenagem urbana. Novamente, esta posição é motivada pelo círculo vicioso, baseado na ausência de confiança devido à ineficácia do Estado. Baquero *et al.* (2005) enfatizam que existe um quadro preocupante em relação ao grau de confiança interpessoal e institucional dos cidadãos de Porto Alegre. As pessoas estão descontentes com os serviços prestados pelo Estado, pois consideram que a parte que cabe ao Estado no contrato social está sendo mal cumprida, ou simplesmente não está sendo realizada. A este quadro devem ser adicionadas a desconfiança na capacidade estatal de administrar a justiça e a segurança pública e a descrença quanto à eficácia da lei, que provoca a ausência de credibilidade das instituições públicas.

5.3.2 Disposição a pagar (DAP) e a receber (DAR) para resolver os problemas de drenagem urbana

As argumentações dos outros estudos foram observadas no presente estudo. A DAR é preferida em todas as micro-bacias (Figura 5.56). Portanto, os proprietários que possuem alguma disposição em resolver os problemas de drenagem preferem fazê-lo recebendo, ao invés de pagar. Novamente a questão do desamparo sentido pelos proprietários ajuda a explicar porque poucos tivessem disposição a pagar para a prefeitura. Além disso, existe outro aspecto discutido por Diamond (2005): a maioria dos contribuintes hesita em gastar dinheiro se não houver uma crise imediata. O autor enfatiza que se ou como tais problemas serão resolvidos dependerá das atitudes e valores dos seus moradores. A DAP variou de R\$ 1 a R\$ 30 por mês entre os proprietários, sendo que seu valor médio foi de R\$ 9,07 ao mês. A DAR variou de 41% a 100% do investimento de controle do escoamento pluvial nos lotes, com valor médio de 73,66%.

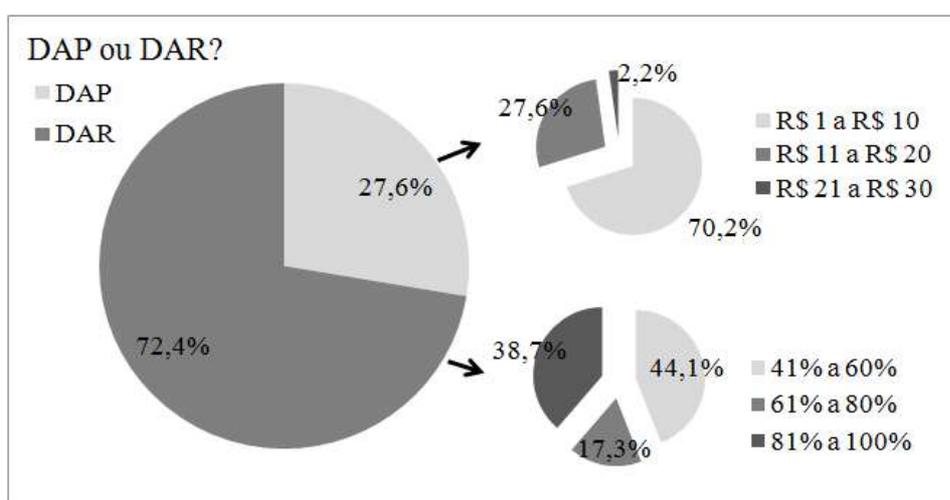


Figura 5.56. Disposições a pagar e a receber nas micro-bacias.

Na presente pesquisa, percebeu-se que tanto os proprietários que causam os problemas quanto os que sofrem com eles esperam que o Governo aprove leis e exija dos causadores um comportamento diferente. Existem outras pessoas que até fazem pressão positiva para o Governo tomar uma ação. Contudo, o que se espera é que haja um amadurecimento social e posicionamento pró-ativo da sociedade no sentido de perceber que a própria sociedade causa a maioria dos problemas ambientais existentes nas micro-bacias do estudo. A partir da análise das respostas dos proprietários, observou-se que eles diferem entre si em valores e objetivos, contudo, observa-se que eles possuem uma atitude racional frente a sua cidade: querem o melhor para o lugar onde habitam. O problema é que este querer não se torna em ações.

A Tabela 5.32 apresenta os resultados de testes estatísticos para analisar a dependência da DAP e DAR com as variáveis utilizadas na pesquisa. As variáveis quantitativas não foram inseridas nesta análise, pois foram utilizadas para a determinação de modelos de regressão. De forma idêntica à análise para os reservatórios de amortecimento, para a realização dos testes estatísticos para a DAP e DAR algumas classes de variáveis foram agrupadas, com objetivo de viabilizar a análise dos resultados. Os critérios utilizados para este agrupamento foram o significado da classe para a variável e o seu comportamento frente ao resultado preliminarmente analisado. Por exemplo, para a variável escolaridade, as classes “Ensino médio” e “Ensino superior” foram agrupadas por uma questão de hierarquia do nível escolar e, principalmente, devido aos resultados destas duas classes serem semelhantes e diferenciarem-se dos resultados da classe “Ensino fundamental”. Os agrupamentos das classes das variáveis “Ocorrência de alagamentos” e “Prejuízos” também foram com relação aos resultados preliminarmente analisados, porém, contou com uma análise acerca do significado das respostas na disposição dos indivíduos. Por exemplo, a ocorrência de alagamentos, mesmo que no passado, e o medo de ter prejuízos influenciou as disposições manifestadas. Sendo assim, foram agrupadas como casos positivos destas variáveis.

Na Tabela 5.32 são mostrados os resultados de dependência das variáveis separados quanto à existência de disposição; qual disposição; e os valores de DAP e DAR. Os resultados sugerem que diversas variáveis são significativas (valores em negrito) para a existência de DAP ou DAR; para a definição se é DAP ou DAR; e para quantificar a DAP e a DAR. Considerando o teste bilateral, quando os resíduos ajustados apresentam valores superiores aos limites críticos para $\alpha = 1\%$, $\pm 2,575$, e $\alpha = 5\%$, $\pm 1,96$, os resultados indicam dependência estatística significativa. Analisando estes resultados percebe-se:

- O tipo de disposição apresentou relação estatística significativa com o gênero. O gênero feminino possui mais DAR que o esperado, quando comparado com o gênero masculino, que possui mais DAP. Contudo, os homens que possuem DAP, manifestaram um valor de disposição menor que as mulheres. Já as mulheres tendem a receber um valor de DAR maior que os homens.

- Quanto maior a escolaridade, existe mais disposição para pagar, ou receber, com objetivo de resolver os problemas de drenagem. Além disso, os valores de DAP e DAR também são maiores para as maiores escolaridades.

- Analisando o grau de preocupação com o meio ambiente, percebe-se que ter preocupação não implica em ter disposição a cuidar da drenagem. Isso pode indicar que os proprietários não percebem a relação entre meio ambiente e o sistema de drenagem urbana. Ou ainda, não entendem o ambiente urbano como parte do meio ambiente, que deveria ser preservado.

- Quando existe o conhecimento do impacto das propriedades no escoamento da água da chuva, existe mais DAP ou DAR. Além disso, os proprietários que manifestaram conhecer o impacto da sua propriedade teriam mais disposição a pagar do que a receber. Todavia, não foi possível observar uma relação estatística clara quanto ao aumento das disposições com esta variável.

- Quem concorda com os protestos de possuir o direito de ter o serviço de drenagem prestado eficientemente e que o dinheiro pode ser desviado, acaba não tendo disposição nem de pagar ou receber para o controle do escoamento pluvial. Os que concordam com os protestos, mas, mesmo assim possuem DAP ou DAR, manifestaram mais disposição a receber. Ainda, estes proprietários que concordam possuem maior valor de DAR e menor de DAP.

- A posição, a ocorrência de alagamentos e de prejuízos possuem uma relação elevada, pois, normalmente, os proprietários que sofrem (ou já sofreram) com alagamentos e têm (ou tiveram) prejuízos estão localizados na posição a jusante. A existência de alagamentos e sofrer prejuízos influencia a existência das disposições e aumenta os valores de DAP e DAR. De modo geral a DAR é preferida nas duas posições, montante e jusante. Entretanto, quanto comparados os valores das variáveis, os proprietários de jusante possuem tanto DAP e DAR maiores que os de montante.

É possível deduzir que os proprietários que não manifestaram disposição a pagar ou receber são aqueles que: (i) acham que possuem o direito; (ii) acreditam que se o dinheiro fosse recolhido seria desviado; (iii) não sofrem ou sofreram com alagamentos e nem tiveram prejuízos. No entanto, alguns proprietários que manifestaram DAP e DAR também concordaram com os protestos. Logo, a principal diferença entre estes proprietários é o fato de os que manifestaram DAP ou DAR sofrerem com alagamentos e prejuízos. Sendo assim, as variáveis que mais influenciam a DAP e DAR são “sofrer com alagamentos” e “ter prejuízos”.

Tabela 5.32. Testes estatísticos para analisar a dependência das disposições a pagar e a receber com as variáveis analisadas na pesquisa.

Variável			Existe disposição?			Qual disposição?			DAP: quanto?				DAR: quanto?			
			NENHUMA	DAP ou DAR	P	DAP	DAR	P	R\$ 1 a R\$ 10	R\$ 11 a R\$ 20	R\$ 21 a R\$ 30	P	41% a 60%	61% a 80%	81% a 100%	P
Gênero	Masculino	Valor	46,0	385,0	0,251	173,0	212,0	<0,01	142,0	30,0	1,0	<0,01	115,0	30,0	67,0	<0,01
		Valor esperado	51,3	379,7		106,4	278,6		121,4	47,8	3,8		93,4	36,6	82,0	
		Resíduo ajustado	-1,1	1,1		10,4	-10,4		7,0	-6,2	-3,0		3,7	-1,5	-2,6	
	Feminino	Valor	51,0	440,0		55,0	385,0		18,0	33,0	4,0		148,0	73,0	164,0	
		Valor esperado	45,7	445,3		121,6	318,4		38,6	15,2	1,2		169,6	66,4	149,0	
		Resíduo ajustado	1,1	-1,1		-10,4	10,4		-7,0	6,2	3,0		-3,7	1,5	2,6	
Escolaridade	Ensino Fundamental	Valor	36,0	150,0	<0,01	22,0	128,0	<0,01	22,0*	0,0*	0,0*	0,006*	124,0	4,0	0,0	<0,01
		Valor esperado	21,7	164,3		41,5	108,5		15,4*	6,1*	0,5*		56,4	22,1	49,5	
		Resíduo ajustado	4,7	-4,7		-3,9	3,9		3,2*	-3,0*	-0,7*		13,6	-4,8	-10,1	
	Ensino Médio e Superior	Valor	61,0	675,0		206,0	469,0		138,0*	63,0*	5,0*		139,0	99,0	231,0	
		Valor esperado	75,3	660,7		186,5	488,5		144,6*	56,9*	4,5*		206,6	80,9	181,5	
		Resíduo ajustado	-4,7	4,7		3,9	-3,9		-3,2*	3,0*	0,7*		-13,6	4,8	10,1	
Grau de preocupação com o meio ambiente	Baixo e Médio	Valor	30,0	259,0	0,925	75,0	184,0	0,566	55,0	18,0	2,0	0,668	85,0	34,0	65,0	0,525
		Valor esperado	30,4	258,6		71,6	187,4		52,6	20,7	1,6		81,1	31,7	71,2	
		Resíduo ajustado	-0,1	0,1		0,6	-0,6		0,7	-0,9	0,3		0,7	0,5	-1,1	
	Alto e Muito alto	Valor	67,0	566,0		153,0	413,0		105,0	45,0	3,0		178,0	69,0	166,0	
		Valor esperado	66,6	566,4		156,4	409,6		107,4	42,3	3,4		181,9	71,3	159,8	
		Resíduo ajustado	0,1	-0,1		-0,6	0,6		-0,7	0,9	-0,3		-0,7	-0,5	1,1	
Conhecimento de impacto do imóvel no sistema de drenagem municipal	Sim	Valor	50,0	489,0	0,003	148,0	341,0	0,042	109,0	36,0	3,0	0,294	141,0	70,0	130,0	0,043
		Valor esperado	59,8	479,2		135,1	353,9		103,9	40,9	3,2		150,2	58,8	131,9	
		Resíduo ajustado	-3,0	3,0		2,0	-2,0		1,6	-1,5	-0,2		-1,5	2,4	-0,3	
	Não	Valor	47,0	336,0		80,0	256,0		51,0	27,0	2,0		122,0	33,0	101,0	
		Valor esperado	37,2	345,8		92,9	243,1		56,1	22,1	1,8		112,8	44,2	99,1	
		Resíduo ajustado	3,0	-3,0		-2,0	2,0		-1,6	1,5	0,2		1,5	-2,4	0,3	
Total (para cada variável)			97,0	825,0	-	228,0	597,0	-	160,0	63,0	5,0	-	263,0	103,0	231,0	-

* Teste Exato de Fisher. Nos demais casos, sem marcação, foi aplicado o teste Chi-Quadrado.

As variáveis quantitativas renda e conta de água e esgoto foram usadas para a determinação de modelos para a DAP e DAR. Para isso foram utilizados os valores médios das classes, conforme mostra a Tabela a seguir. Para os valores máximos de renda e conta de água e esgoto, foram utilizados os valores médios observados, arredondados.

A renda influencia diretamente o quanto a pessoa gasta com a água e na sua DAP. Porém, existiram proprietários com rendas elevadas, contas de água baixas e manifestaram DAPs baixas. E outros também com rendas elevadas, contas elevadas e manifestaram DAPs mais elevadas. Ou seja, constatou-se que a conta de água e esgoto apresenta um poder explicativo maior que a renda. A provável explicação é que se a pessoa já gasta mais na sua conta, ela apresenta uma tendência a ter uma maior DAP pela drenagem. Portanto, os resultados sugerem que se o proprietário já possui um gasto mais elevado na conta de água e esgoto, terá uma maior disponibilidade em pagar para controlar o escoamento da água da chuva. A DAP apresentou os modelos apresentados na Tabela 5.34.

Tabela 5.33. Valores médios das variáveis renda e conta de água e esgoto utilizadas para a determinação dos modelos de regressão da DAP e DAR.

Variável	Classe	Valor médio
Renda	Abaixo de R\$ 1.000,00;	R\$ 500,0
	De R\$ 1.000,00 à R\$ 2.500,00;	R\$ 1.750,0
	De R\$ 2.500,00 à R\$ 5.000,00;	R\$ 3.750,0
	De R\$ 5.000,00 à R\$ 7.500,00;	R\$ 6.250,0
	Acima de R\$ 7.500,00.	R\$ 10.000,0
Conta de água e esgoto	Abaixo de R\$ 10,00;	R\$ 5,0
	De R\$ 10,00 à R\$ 25,00;	R\$ 17,5
	De R\$ 25,00 à R\$ 50,00;	R\$ 37,5
	De R\$ 50,00 à R\$ 75,00;	R\$ 62,5
	De R\$ 75,00 à R\$ 125,00;	R\$ 100,0
	De R\$ 125,00 à R\$ 200,00;	R\$ 162,5
	De R\$ 200,00 à R\$ 300,00;	R\$ 250,0
Acima de R\$ 300,00.	R\$ 375,0	

Tabela 5.34. Modelos de regressão para a DAP.

Modelo	Variáveis	Coefficiente	t	R	R ²	R ² Ajustado	Mudança no R ²	Durbin-Watson
1	Constante	3,907	10,186	0,760	0,577	0,575	0,577	1,867
	Conta de água e esgoto	0,07035	17,569					
2	Constante	2,626	4,708	0,771	0,595	0,591	0,017	1,797
	Conta de água e esgoto	0,06153	12,696					
	Renda	0,0003915	3,111					

O modelo 1 foi desenvolvido somente com a variável conta de água e esgoto, e o modelo 2 foi adicionada a variável renda. O poder explicativo do modelo 1 foi de aproximadamente 58%. O ganho com a introdução da variável renda no modelo 2 foi de menos de 2%, não justificando o seu uso. Para avaliar o modelo 1 foram utilizadas três análises, o gráfico da probabilidade acumulada esperada caso a distribuição fosse normal *versus* a probabilidade acumulada observada dos erros no modelo 1 (Figura 5.57), o gráfico dos resíduos da regressão *versus* os valores estimados pelo modelo 1 (Figura 5.58) e a comparação do valor calculado da estatística de Durbin-Watson com os seus valores críticos, conforme sugere Callegari-Jacques (2003).

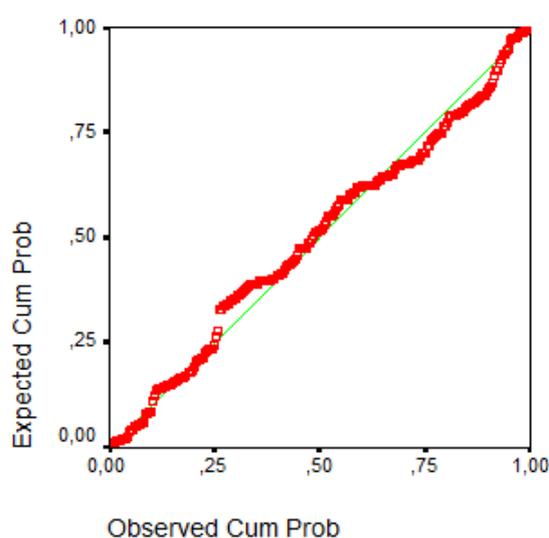


Figura 5.57. Gráfico obtido no SPSS da probabilidade acumulada esperada *versus* a probabilidade acumulada observada no modelo da DAP.

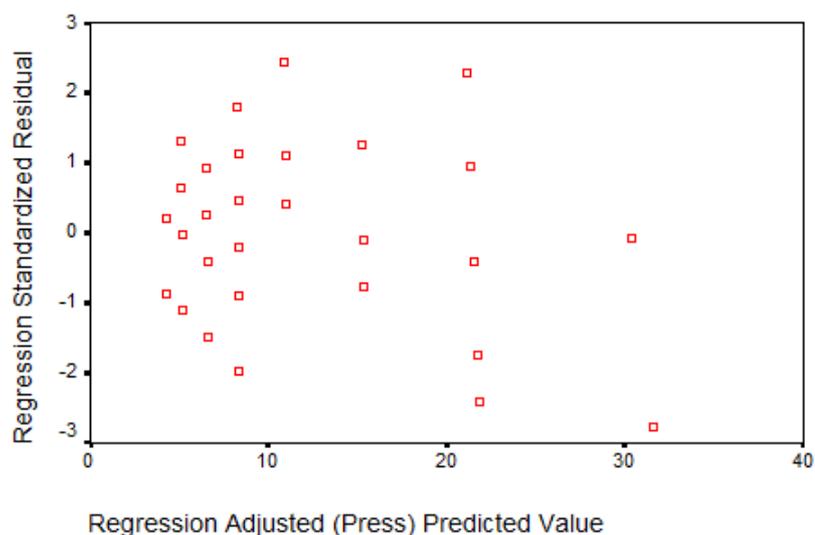


Figura 5.58. Gráfico obtido no SPSS dos resíduos da regressão *versus* a DAP prevista com modelo de regressão ajustado.

Analisando os referidos gráficos, percebe-se que o modelo da DAP está satisfatório, pois na Figura 5.57 a nuvem de pontos apresentou uma inclinação de aproximadamente 45° , indicando que a variável segue a distribuição normal, e na Figura 5.58 os resíduos estão distribuídos de forma aleatória, indicando que os erros são independentes, de média nula e de variância constante. Confirmando este último resultado, observou-se que o valor calculado da estatística de Durbin-Watson está entre os valores críticos de aceitação da independência entre os resíduos (Tabela 5.35), ou seja, a magnitude de um resíduo não influencia a magnitude do resíduo seguinte. Neste caso, a correlação entre resíduos sucessivos é nula.

Tabela 5.35. Teste de Durbin-Watson para o modelo da DAP.

Limite inferior de aceitação de independência = d_u^*	Durbin-Watson Calculado	Limite superior de aceitação de independência = $4-d_u^*$
1,78	1,867	2,22

*Valor obtido na tabela de Durbin-Watson para $n = 228$, $k = 1$ e $\alpha = 0,05$.

Os modelos da DAR são mostrados na Tabela 5.36. Percebe-se que o poder explicativo das variáveis foi inferior aos modelos da DAP. Da mesma forma que o modelo 1 da DAP foram construídos os gráficos: (i) da probabilidade acumulada esperada *versus* a probabilidade acumulada observada dos erros no modelo 1 (Figura 5.59); (ii) e o dos resíduos da regressão *versus* os valores estimados pelo modelo 1 (Figura 5.60). Diferentemente dos gráficos para a regressão da DAP as figuras mostram que os valores experimentais não se ajustaram bem aos valores previstos pelo modelo e que os resíduos não tiveram uma distribuição aleatória. Assim, por meio da análise gráfica, pode-se dizer que esta regressão linear não pode ser utilizada para a estimativa de disposições a receber pelos proprietários dos imóveis nas micro-bacias do estudo de caso. A análise do teste de Durbin-Watson confirma a análise gráfica, conforme Tabela 5.37, onde o valor calculado é inferior ao valor crítico de d_l .

Tabela 5.36. Modelos de regressão para a DAR.

Modelo	Variáveis	Coefficiente	t	R	R ²	R ² Ajustado	Mudança no R ²	Durbin-Watson
1	Constante	34,852	26,474	0,50	0,34	0,34	0,34	1,470
	Conta de água e esgoto	8,067	32,549					
2	Constante	32,482	25,568	0,525	0,381	0,38	0,041	1,428
	Conta de água e esgoto	5,085	12,263					
	Renda	5,482	8,701					

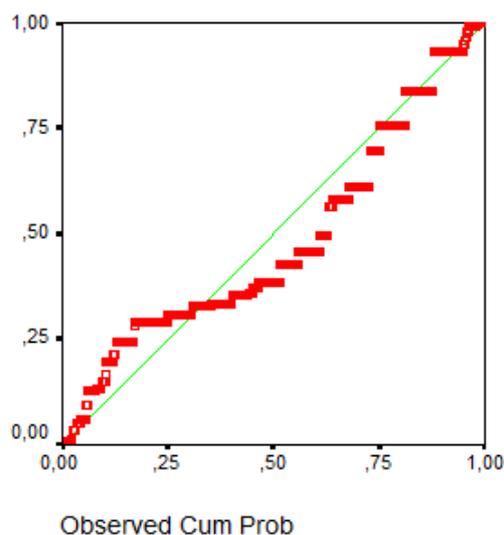


Figura 5.59. Gráfico obtido no SPSS da probabilidade acumulada esperada *versus* a probabilidade acumulada observada no modelo da DAR.

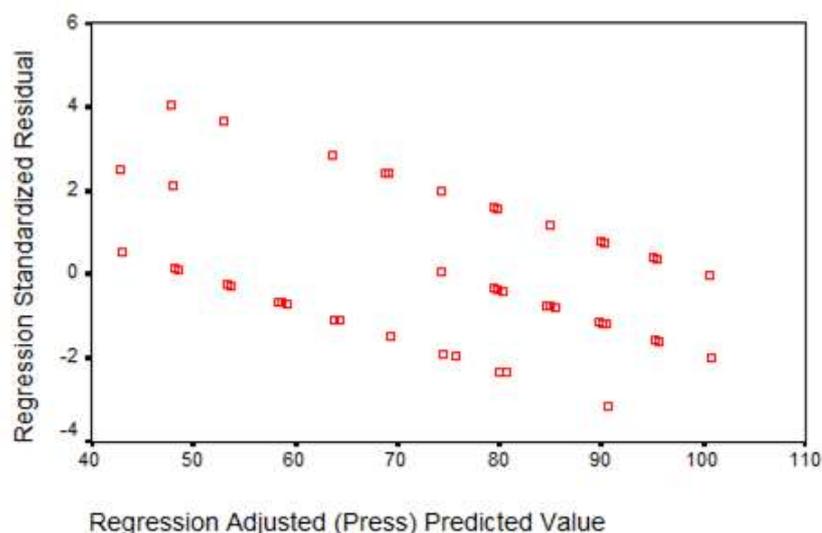


Figura 5.60. Gráfico obtido no SPSS dos resíduos da regressão *versus* DAR prevista com modelo de regressão ajustado.

Tabela 5.37. Teste de Durbin-Watson para o modelo da DAR.

Valor crítico de d_l para a estatística de Durbin-Watson*	Durbin-Watson Calculado	Valor crítico de d_u para a estatística de Durbin-Watson*
1,76	1,47	1,78

*Valores obtidos na tabela de Durbin-Watson para $n = 597$, $k = 1$ e $\alpha = 0,05$.

Usando o modelo da variável DAP é possível fazer uma estimativa de cobrança mensal para um determinado proprietário a partir do seu gasto com a conta de água e esgoto. Por exemplo, um proprietário com uma conta entre R\$ 50,00 e R\$ 75,00, ou seja, um valor médio de R\$ 62,50, teria uma DAP de aproximadamente R\$ 8,30 ao mês, 13,29% da sua conta de água e esgoto, representando R\$ 99,60 ao ano.

Fazendo uma análise total com a DAP média, de R\$ 9,07 ao mês ou R\$ 108,84 ao ano por lote, foi estabelecida a Tabela 5.38 com uma estimativa de arrecadação para cada micro-bacia. Na tabela são mostrados os custos anuais dos projetos, determinados para o estudo da “Taxa pelo uso do sistema de drenagem”, apresentados na Tabela 5.20. Usando a DAP média não é possível arrecadar recursos financeiros suficientes para cobrir os custos anuais dos projetos da Prefeitura (máximo de 58,4% na micro-bacia Polônia).

Tabela 5.38. Estimativa de arrecadação com a DAP média nas micro-bacias.

Micro-bacia	Lotes de montante	Arrecadação com DAP média	Custo anual projeto Prefeitura	<u>Arrecadação</u> Custo anual projeto Prefeitura
Polônia	770	R\$ 83.806,8	R\$ 143.423,5	58,4%
Frei Germano	567	R\$ 61.712,3	R\$ 437.121,6	14,1%
Joaquim Leite	618	R\$ 67.263,1	R\$ 144.810,4	46,4%

A DAR média foi de 73,66%. Admitindo este valor a ser pago pela prefeitura para os proprietários realizarem o controle do escoamento pluvial de seus lotes utilizando um MR, construído com escavação mecânica, foi construída a Figura 5.61. Percebe-se que o investimento que a prefeitura deveria fazer pagando a DAR média aos proprietários é inferior ao seu projeto em quase todos os cenários simulados para as micro-bacias. Somente na micro-bacia Joaquim Leite alguns cenários simulados apresentaram custos mais elevados que o projeto da prefeitura. Desta forma, a prefeitura municipal financiaria parte do controle na fonte dos lotes urbanos, dividindo a responsabilidade e os custos com os proprietários.

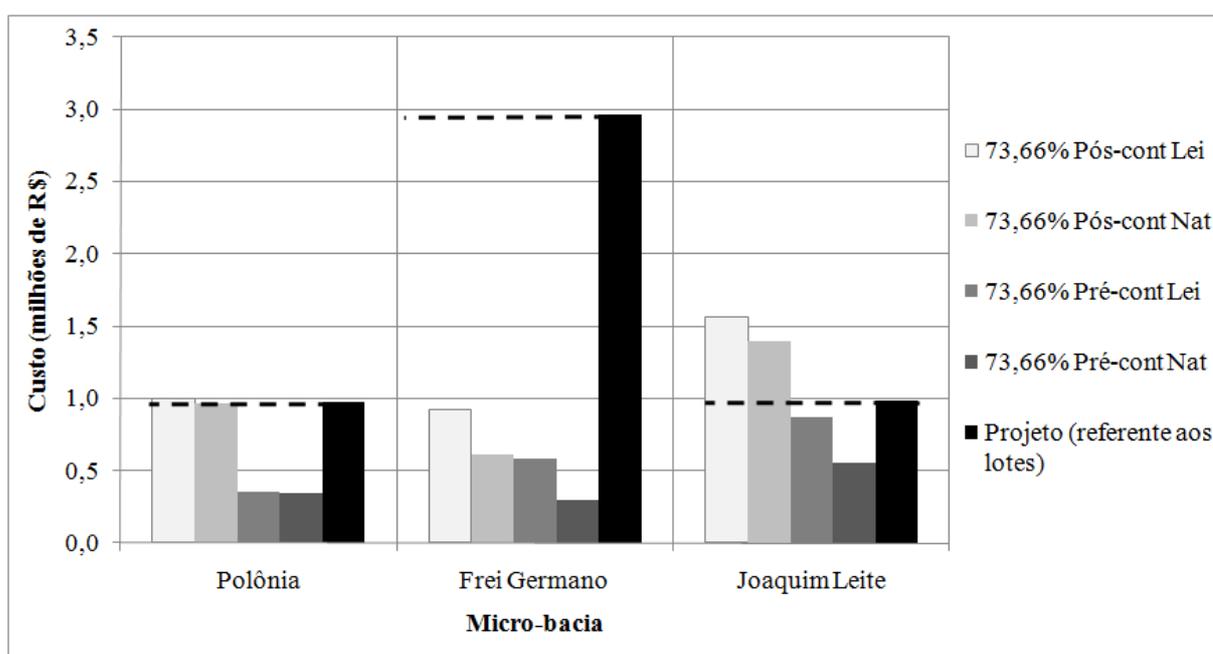


Figura 5.61. Investimento da prefeitura admitindo a DAR média.

Em Porto Alegre, as receitas acumuladas no ano de 2008 são aproximadamente R\$ 2.000,00 por habitante (SMF/PMPA, 2009). Utilizando como exemplo a micro-bacia Polônia, aonde existe uma estimativa de população residente (6.250 habitantes – atualizado de Carmona, 2008), o subsídio ou diminuição de arrecadação do IPTU no cenário de Pós-controle do escoamento pluvial é de cerca de R\$ 160,00 por habitante ($R\$ 1.000.000,00/6.250$ hab), para obter os hidrogramas naturais dos lotes. Com isso, o gasto percentual da prefeitura com relação a sua arrecadação seria perto de 8% por habitante, um valor possível de ser assimilado.

Além disso, este gasto é compensado pela economia da prefeitura ao não investir em obras de drenagem. Como também, ela ocorreria somente no ano em que o proprietário construísse o controle do escoamento pluvial no seu lote. A prefeitura de Porto Alegre já promove isenções de IPTU numa política tributária de estímulo ao desenvolvimento econômico da capital e à regularização imobiliária (SMF/PMPA, 2009). A redução proposta seria implementada em locais com problemas de drenagem, aonde seriam necessárias intervenções estruturais, como os reservatórios de amortecimento que apresentam alto custo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa desenvolvida decorreu da seguinte verificação: no Brasil não é comum o uso de técnicas sustentáveis para o controle do escoamento pluvial em escala de lote urbano. A partir disto foi elaborado o problema analisado: o uso destas técnicas pode ser incentivado? A hipótese da pesquisa foi que incentivos econômicos podem induzir o controle sustentável do escoamento pluvial. Pôde-se concluir que é possível usar incentivos econômicos para induzir este controle no Brasil.

As contribuições do estudo podem ser separadas quanto: (i) aos dispositivos de controle do escoamento pluvial e ações que podem ser empregadas em escala de lote; (ii) aos aspectos hidrológicos da legislação de controle do escoamento pluvial no Brasil; (iii) aos tipos de incentivos econômicos que podem ser empregados; (iv) às estimativas das disposições a pagar e a receber dos proprietários dos imóveis para resolver problemas de drenagem urbana; (v) às relações de variáveis associadas aos proprietários dos lotes urbanos com a determinação de um incentivo econômico ao controle do escoamento pluvial.

O planejamento sustentável da drenagem urbana em escala de lote é factível, devendo ter fiscalização por parte das prefeituras e educação dos proprietários e dos responsáveis técnicos das obras. Das simulações hidrológicas, percebe-se a importância de trabalhar com as características do local aonde vai se desenvolver o projeto. Em uma mesma cidade, caso de Porto Alegre, existem diferenças quanto aos solos, intensidade de chuva e tipo de vegetação, que afetam significativamente a produção de escoamento. Não observar estas características proporciona projetos mal concebidos, podendo ser subdimensionados ou superdimensionados.

A legislação de controle do escoamento pluvial existente em Porto Alegre é uma das mais avançadas do país. Todavia, o uso de uma vazão de restrição baixa pode inviabilizar o uso de dispositivos de controle do escoamento pluvial no lote em função do aumento dos custos. Destaca-se a necessidade de analisar o efeito do projeto implantado ou em implantação, comparando com o comportamento hidrológico de pré-desenvolvimento. Do mesmo modo, destaca-se a diminuição dos custos de controle do escoamento pluvial ao se planejar previamente o lote. Os custos de reposição foram inferiores aos custos de mitigação, principalmente, pois aquele é baseado na preservação de áreas naturais.

É possível que incentivos econômicos aplicados à drenagem urbana levem ao uso mais racional do solo urbano, ou uma maior consciência do impacto daquela propriedade (e da

forma como foi construída) nos custos envolvidos no sistema de drenagem para o município. A busca de soluções técnicas viáveis por meio do planejamento por LID, para novos e antigos empreendimentos, objetiva minimizar o impacto da urbanização sobre o ciclo hidrológico e, ainda, reduzir os custos de implantação do sistema de drenagem.

O controle do escoamento pluvial na fonte, financiado pelo proprietário, reduz a necessidade de investimentos por sua parte e por parte do Poder Público (município), uma vez que o sistema de drenagem irá funcionar com uma vazão afluyente reduzida. Os incentivos positivos aplicados para induzir o uso de medidas mitigadores dos efeitos negativos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (LID) atuam como instrumentos de gestão e não apenas como um instrumento arrecadatário.

A pesquisa evidenciou a forte reação contrária ao pagamento de uma nova taxa e a predisposição imediata à concessão de subsídios ou diminuição de impostos, em especial ao IPTU. A ineficácia dos governos em resolver os problemas imediatos da população proporciona uma oposição ao pagamento de taxas e o surgimento de dúvidas quanto aos seus projetos. Pagar impostos ou taxas e não ter os serviços prestados faz a população não concordar em se submeter às diversas regulamentações públicas, por exemplo, leis de zoneamento urbano, a lei da reserva legal urbana, e provavelmente, o controle do escoamento no lote. A corrupção cada vez mais na mídia contribui com esta posição. A clareza na aplicação dos recursos produziria um efeito positivo na disposição das pessoas.

Os resultados sugerem que as pessoas se preocupam com o meio ambiente, e a maioria sabe que sua propriedade ajuda a produzir o escoamento que a prefeitura deve controlar. Contudo, não fazem ações para preservação da vegetação e para o controle do escoamento no seu lote. As pessoas não se vêem como causadores do problema, acham que quem deve resolver é o governo. Muitos pagam a taxa de lixo e de esgoto, mas, não sabem que o fazem. Provavelmente, será o mesmo que acontecerá caso seja criada a taxa de drenagem. Cobrando pouco pela drenagem urbana as pessoas vão pagar e provavelmente não vão saber que estão pagando e, desta forma, não serão induzidos a modificar suas propriedades.

A maioria dos proprietários conhece os reservatórios de amortecimento (piscinões) implantados na macrodrenagem. Quem conhece salienta os problemas com esgoto e lixo. Embora, algumas destas mesmas pessoas não sabem se seu esgoto e/ou lixo são coletados pela prefeitura.

Ao mesmo tempo, a maioria dos proprietários construiria o controle do escoamento pluvial se tivesse um incentivo positivo. O incentivo positivo médio foi de 73,66% do valor que o proprietário investiria em seu lote. Contudo, acredita-se que o incentivo de 50% seria suficiente para induzir o uso de um planejamento mais sustentável da drenagem urbana. Utilizar incentivos positivos por meio de redução do IPTU, por exemplo, parece ser a melhor solução para a Prefeitura. Com isso, o controle do escoamento pluvial seria efetivamente estimulado, pois os incentivos positivos são os mais aceitos pelos proprietários, e os custos envolvidos para a prefeitura seriam inferiores aos seus projetos.

Além disso, as isenções de IPTU já estão sendo feitas em alguns municípios brasileiros como forma de compensação por danos de alagamentos, na indução de preservação de áreas naturais em ambientes urbanos, o chamado IPTU-Ecológico e, em propostas acadêmicas, como o IPTU-Hidrológico. A cobrança de uma taxa é entendida como mais um imposto pela população, por mais que seja uma cobrança pela prestação do serviço, não tendo aceitação pública.

Mesmo assim, caso as municipalidades decidam criar uma taxa pela prestação do serviço da drenagem urbana, o ideal é que o seu valor seja ajustado igual ou superior ao custo marginal do controle da externalidade gerada. Para o controle quantitativo do escoamento pluvial na fonte, este custo representa os custos por metro cúbico dos dispositivos, por exemplo, os microrreservatórios. Assim, a taxa influenciaria o controle por parte dos proprietários de uma maneira custo-efetiva, ou seja, a meta de controle do escoamento pluvial seria incentivada com o menor custo (no lote).

O proprietário que sofre com os problemas possui maior disposição a receber para controlar, procurando fazer sua parte para resolver um problema que o afeta. A pesquisa sugere que quem não tem o problema não faria uma ação espontânea para o benefício de outras pessoas. Logo, não existe solidariedade entre os proprietários. Entretanto, caso o proprietário que cause o problema recebesse uma contrapartida, teria esta preocupação. Assim, a existência de problemas e já ter sofrido um prejuízo qualquer são as variáveis com maior relação direta com o aumento da DAP e DAR.

Uma possibilidade para as prefeituras é a criação de um mercado para o controle do escoamento pluvial, já que o mercado em bom funcionamento normalmente é um mecanismo eficiente para a alocação de recursos ambientais entre os usuários. Os proprietários de jusante pagariam taxas pelo uso do sistema de drenagem para a prefeitura. Deste modo, a prefeitura

teria recursos para pagar aos proprietários de montante realizarem o controle do escoamento proveniente de seu lote. Seria estabelecido um mercado mediado pela prefeitura, utilizando a elevada DAP dos proprietários de jusante e a DAR dos proprietários de montante.

A resposta da sociedade, sobretudo às perturbações perceptíveis, se mostra significativa para o sucesso ou fracasso de uma política de redução de impactos ambientais. Mesmo que a sociedade não possua valores culturais que a induzam a ter um comportamento ambientalmente adequado, as instituições podem fazê-lo. Como conclusão final, acredita-se que um incentivo econômico positivo serviria para um processo de educação ambiental na drenagem urbana com objetivo de formar cidadãos conscientes e atuantes na busca de um ambiente saudável e sustentável.

Recomendações

A mudança no planejamento da drenagem urbana, em especial, dos lotes urbanos, é uma tendência inevitável na busca de um desenvolvimento que procure minimizar os impactos ambientais. O uso de incentivos econômicos para acelerar este processo e com isso resolver os problemas enfrentados pelo setor se mostra como uma possibilidade concreta. Porém, ainda existem muitos aspectos que podem ser estudados com relação ao tema, dentre os quais se destacam:

1. Revisar a equação de controle do escoamento pluvial, em escala de lote urbano, de Porto Alegre;
2. Desenvolver ou trabalhar com uma metodologia automática de dimensionamento e simulação dos dispositivos de controle do escoamento pluvial em escala de lote;
3. Considerar o controle qualitativo no escoamento urbano para a determinação de um incentivo econômico;
4. Integrar o incentivo econômico para a drenagem urbana na Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em especial, com a cobrança pelo uso da água; e
5. Desenvolver um modelo de regressão logística para a disposição a pagar e a receber com objetivo de considerar as variáveis qualitativas dos proprietários dos imóveis.

7 REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L.A. (2005). **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 145 p.
- AGIR AZUL (2010). **A Recuperação do Gravataí**, por Renato Ferreira, secretário executivo do Pró-Guaíba. Disponível em: <<http://www.agirazul.com.br/artigos/rf.htm>>. Acesso em: 24/03/2010.
- AGRA, S.G. (2001). **Estudo experimental de microreservatórios para controle do escoamento superficial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 105 p.
- ALLASIA, D.; VILLANUEVA, A.O. (2007). Custo da incerteza na macrodrenagem urbana II: influência do erro na estimativa do CN sobre o custo de investimento da rede. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH**. Porto Alegre. Vol. 12, no. 1 (jan./mar. 2007), p. 79-90.
- ARAÚJO, P.R. (1999). **Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 137 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. (2007). **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: NBR-15527/nov - 2007**. Rio de Janeiro: ABNT.
- BAPTISTA M.B.; NASCIMENTO, N. O. (2002). Aspectos institucionais e de financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.1, p.29-49.
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO N., BARRAUD, S. (2005). **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 266 p.
- BAQUERO, M., SCHNEIDER, A. LINHARES, B., ALVES, D.S., PEREIRA, T.I. (2005). Bases de um novo contrato social? Impostos e Orçamento Participativo em Porto Alegre. **Opinião Pública**, Campinas, Vol. XI, nº 1, Março, 2005, p. 94-127

- BERTHELOT, R. **Curso de Hidrologia Sintética**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1970.
- BOOTH, D.B. AND C.R. JACKSON, 1997. Urbanization of Aquatic Systems-Degradation Thresholds, Stormwater Detention, and Limits of Mitigation. **Journal of American Water Resources Association** 33(5):1077-1090.
- BRASIL (1997) Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, 1997.
- BRASIL (2006a). **Ministério das Cidades: Programa Drenagem Urbana Sustentável**. Manual para apresentação de propostas. 23 p.
- BRASIL (2006b). **Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento** / Ministério da Cidades. – Brasília: MCidades, 2006. 152 p. : il. Bibliografia: p. 147
- BRASIL (2007). **Programa Cisternas**. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. Disponível em: <<http://www.mds.gov.br/programas>>. Acesso em: 23/05/2007.
- BURKHARD, R., DELETIC, A., CRAIG, A. (2000). Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and their integration in planning. **Urban Water 2** (2000) 197-221.
- CAIRNCROSS, F. (1992). **Meio ambiente: custos e benefícios**. São Paulo: Nobel. 268 p.
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. (2003). **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 255.
- CAMERON, J., CINCAR, C., TRUDEAU, M., MARSALEK, J., SCHAEFER, K. (1999). User pay financing of stormwater management: A case-study in Ottawa-Carleton, Ontario, **Journal of Environmental Management**. Volume 57, Issue 4, , December 1999, Pages 253-265.
- CANÇADO, V., NASCIMENTO, N. de O., CABRAL, J. R. (2006). Cobrança pela Drenagem Urbana de águas pluviais: bases conceituais e princípios microeconômicos. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.11, n.2, p.15-25.
- CÁNEPA, E.M., TAVARES, V. E., LANNA, A. E. e PEREIRA, J. S. (1998). **Perspectivas de utilização de instrumentos econômicos na política e gestão ambiental: o caso dos recursos hídricos**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE

- RECURSOS HÍDRICOS, Gramado, RS. Disponível em: <<http://jaildo.chez-alice.fr/singreh4.pdf>>. Acesso em: 20/09/2007.
- CARMONA, M. V. C (2008). **Gestão da Drenagem Urbana em Porto Alegre – RS**. Monografia de Conclusão de Curso de Especialização, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102 p.
- CARRERA-FERNANDEZ, J., GARRIDO, R. J. (2003). **Economia dos Recursos Hídricos**. Salvador/BA: Edufba, 458 p. 1ª Edição, 2ª Tiragem.
- CASTRO, A. S. E GOLDENFUM, J. A. (2007). **Uso de telhados verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. VIII Encontro Nacional de Águas Urbanas e e VI Encontro Franco-Brasileiro em Hidrologia Urbana Rio de Janeiro, RJ. 10 a 14/11/2008.
- COSTA JUNIOR, L.L. da; BARBASSA, A.P. (2006). Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, Mar. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 24/04/2009. doi: 10.1590/S1413-41522006000100007.
- COSTANZA, R. (2003). Social Goals and the Valuation of Natural Capital. **Environmental Monitoring and Assessment** 86, 19-28.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., GROOT, R. DE, FARBER, S, GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R. G., SUTTON, P., BELT, M. VAN DEN (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387, 253-260.
- CREA-RS (2009). **Conselho em Revista**. Revista do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Rio Grande do Sul. Ano V, n° 64, Dezembro de 2009.
- CRUZ, M. A. S. (2004). **Otimização do Controle da Drenagem em Macro-bacias Urbanas**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 217 p.

- CRUZ, M. A. S., ARAÚJO, P. R., AGRA, S. G., SOUZA, V. C. B. de, COLLISCHONN W. (2001). Valorização da água no meio urbano: um desafio possível. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**.
- CRUZ, M. A. S.; AGRA, S. G. (2003). **Análise comparativa de métodos de dimensionamento de microrreservatórios de retenção frente a eventos reais de chuva**. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba - PR. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F., TUCCI, C.E.M (2007). **Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP. CD-ROM.
- CUNHA, A.R.; MENDIONDO, E.M. 2004. **Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL)**. Proc. FAPESP: 03/06580-7. Disponível em: <<http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes%5C31%5CAra-FAPESP-2004-Relat-final.pdf>>. Acesso em: 15/09/2008.
- DALAL-CLAYTON B, BASS S. (2002). **Sustainable Development Strategies: A Resource Book**. 388pp. National Strategies For Sustainable Development (NSSD). Disponível em: <http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=bbWCHRN4h_sC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Dalal-Clayton+Bass+2002+Sustainable+Development+Strategies&ots=p0iOVvwGr&sig=JeqA-9f2PO-VTeWilUBeaKYUhn8>. Acesso em: 09/12/2008.
- DIAMOND, J. M. (2005). **Colapso**. Jared Diamond; tradução de Alexandre Raposo. Rio de Janeiro: Record.
- DOLL, A., SCODARI, P.F., LINDSEY, G., (1999). **Credits as economic incentives for on-site stormwater management: issues and examples**. In: Proceedings of the U.S. Environmental Protection Agency National Conference on Retrofit Opportunities for Water Resource Protection in Urban Environments, Chicago, IL, February 9–12, 1998, EPA/625/R-99/002, July 1999, pp. 13–117.
- DOPOA (2003). Decreto nº 14.265, de 11 de Agosto de 2003. **Regulamenta o inciso XIV do artigo 70 da Lei Complementar 7/73, conforme alteração constante no inciso V do art. 1º da Lei Complementar nº 482/02, no que tange a concessão de incentivos para a**

preservação ambiental no município. Fonte: Diário Oficial de Porto Alegre, 14.08.2003, p. 2.

ELLIOTT, A.H., TROWSDALE, S.A. (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. **Environmental Modelling & Software** 22 (2007) 394-405.

EMERTON, L. (ed), 2005, **Values and Rewards: Counting and Capturing Ecosystem Water Services for Sustainable Development.** IUCN Water, Nature and Economics Technical Paper No. 1, IUCN — The World Conservation Union, Ecosystems and Livelihoods Group Asia.

EMERTON, L., BOS, E. (2004). **Value: Counting Ecosystems as an Economic Part of Water Infrastructure.** IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 88 pp.

ETHUR, A. B. M.; JACOBI, L. F.; ZANINI, R. R. (2002). **Estatística: caderno didático.** Santa Maria: UFSM, CCNE, Departamento de Estatística. 56 p.

FARBER, S, COSTANZA, R. AND WOODWARD, R. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. **Ecological Economics** 41, 375-392.

FORGIARINI, F. R., SILVEIRA, G. L., CRUZ, J. C. (2008a). Modelagem da Cobrança pelo uso da Água Bruta na Bacia do Rio Santa Maria/RS: I – Estratégia Metodológica e Adaptação à Bacia. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, n.2, p.65-77, 2008.

FORGIARINI, F. R., SILVEIRA, G. L., CRUZ, J. C. (2008b). Modelagem da Cobrança pelo uso da Água Bruta na Bacia do Rio Santa Maria/RS: II – Aplicação em Escala Real e Validação. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, n.2, p.79-89, 2008.

FORGIARINI, F. R., SOUZA, C. F., SILVEIRA, A. L. L., SILVEIRA, G. L., TUCCI, C. E. M. (2007). **Avaliação de Cenários de Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo.

FRENI, G., OLIVERI, E. (2005). Mitigation of urban flooding: a simplified approach for distributed stormwater management practices selection and planning. **Urban Water Journal**, vol. 2, n° 4, 215-226.

GOLDENFUM J. A., SOUZA V. C. B. (2001). **Infiltration trenches in urban runoff control: an experimental study.** In: NOVATECH 2001: Fourth International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage. Lyon: v2, pp. 1039-1046.

- GOMBOSO, J.; MORRISON, M. (1996). **Integrating the water cycle:** economic and environmental benefits. In: Water Conference promoting Technology, Science and Business in the Water Industry. The Centre, Darling Harbour, Sydney (AU). Date:27-28 May 1996. p 225-232. Tables. 31 Ref. Summary (En).
- GRANJA, S.I.B.; WARNER, J. (2006). A hidropolítica e o federalismo: possibilidades de construção da subsidiariedade na gestão das águas no Brasil?. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 6, Dec. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122006000600009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 26/03/2010.
- GUILLETTE, A. (2007a). **Achieving Sustainable Site Design through Low Impact Development Practices.** US National Institute of Building Sciences. Whole Building Design Guide. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/resources/lidsitedesign.php>>, Acesso em: 15/09/2008.
- GUILLETTE, A. (2007b). **Low Impact Development Technologies.** US National Institute of Building Sciences. Whole Building Design Guide. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/resources/lidtech.php>>, Acesso em: 17/03/2008.
- HARDIN, G. (1968). The tragedy of the commons. **Science**, vol. 162, n. 3859, p. 1243-1248. Disponível em: <<http://dieoff.org/page95.htm>>. Acesso em: 23/07/2007.
- HARTWELL, R., AYLWARD, B. (2007). **Auctions and the Reallocation of Water Rights in Central Oregon.** Deschutes River Conservancy - River Paper Series No. 1. Disponível em: <<http://www.deschutesriver.org/Default.aspx>>. Acesso em: 17/07/2008.
- IBGE (2007). **Contagem da População 2007.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em: 03/11/2008.
- IDHEA (2008). **Telhado Verde.** IDHEA – Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. Disponível em: <www.idhea.com.br>. Acesso em: 22/09/2008
- ISERNHAGEN, I., BOURLEGAT, J.M.G.LE, CARBONI, M. (2009). Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana: REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.4, n.2, p.117-138, 2009.

- JN (2010). **Reportagem do Jornal Nacional: Quem sofre com enchentes pode não pagar IPTU.** Edição do Jornal Nacional de 19/01/2010. Disponível em: <<http://jornalnacional.globo.com/Telejornais/JN/0,,MUL1454712-10406,00-QUEM+SOFRE+COM+ENCHENTES+PODE+NAO+PAGAR+IPTU.html>>. Acesso em: 21/01/2010.
- JORGENSEN B.S., SYME, G.J. (2000). Protest responses and willingness to pay: attitude toward paying for stormwater pollution abatement. **Ecological Economics** 33 (2000) 251±265.
- KATHURIA, V. (2006) Controlling water pollution in developing and transition countries—lessons from three successful cases. **Journal of Environmental Management** 78 (2006) 405–426
- KORSGAARD, L. (2006). **Environmental Flows in Integrated Water Resources Management: Linking Flows, Services and Values.** Ph.D. Thesis, December 2006. Institute of Environment & Resources Technical University of Denmark. Disponível em: <<http://www.fiva.dk/doc/thesis/louise.pdf>>. Acesso em: 15/09/2008.
- LAKESUPERIORSTREAMS (2005). **Lake Superior Streams: Community Partnerships For Understanding Water Quality and Stormwater Impacts at the Head of the Great Lakes** (<http://lakesuperiorstreams.org>). University of Minnesota-Duluth, Duluth, MN 55812.
- LANNA, A. E. (2001) **Instrumentos econômicos de gestão das águas: aplicações no Brasil.** Relatório de Consultoria Contratada pelo Ministério do Meio Ambiente. 2001.
- LEVITT, S.D., DUBNER, S.J. (2007). **Freakonomics: o lado oculto e inesperado de tudo que nos cerca.** Editora: Campus. Edição revista e ampliada. 360 p.
- LID CENTER (2005). **Low impact development for big box retailers.** Prepared By: The Low Impact Development Center, Inc. Disponível em: <www.lowimpactdevelopment.org>. Acesso em: 27/01/2007.
- MARSALEK, J. (2005). **The current state of sustainable urban stormwater management: an international perspective.** Japan and Taiwan International Workshop on Urban Regeneration 2005 - Air and Water. Disponível em: <http://www.env.t.u-tokyo.ac.jp/furumailab/crest/workshop05/june9pm_1.pdf>. Acesso em: 05/02/2007.
- MAZZANTI, M. E ZOBOLI, R. (2006). Economic instruments and induced innovation: The European policies on end-of-life vehicles. **Ecological Economics** 58 (2006) 318– 337

- MEDEIROS, R.C.; CASADO, E.A.da S. (2009). **IPTU hidrológico: alternativa à impermeabilização crescente nas cidades**. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP – Brasil. 5 a 8 de outubro de 2009. Disponível em: < <http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-018.pdf> >. Acesso em: 16/04/2010.
- MENDES, H.C., VERÇOSA, M.M.D., MATSUNAGA, S.P.E., MENDIONDO, E.M. (2004). **Hidro-solidariedade como mecanismo de gestão em políticas públicas para a prevenção de riscos hidrológicos**. I Seminário Latinoamericano de Políticas Públicas em Recursos Hídricos, 23-25 Set 2004, Brasília, DF, ABRH.
- MENDIONDO, E.M. (2005). **Carta Aberta para Inclusão do Impacto Ambiental na Discussão da Planta Genérica de Valores do Município de São Carlos**. Disponível em: <<http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes/31/CARTA-ABERTA-PARA-INCLUSAO-DO-IMPACTO-AMBIENTAL-NA-DISCUSS.pdf>>. Acesso em: 18/06/2007.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2003). **Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment Synthesis**. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.aspx>>. Acesso em: 11/06/2008.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). **Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis**. World Resources Institute, Washington, DC.
- MONTIBELLER, Fº (2004). **O mito do desenvolvimento sustentável: Meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. 2 ed. Ver. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2004. 306 p.
- MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. (2009). Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. **REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina** – Vol. 6, no. 1, p. 31-42, jan./jun. 2009
- NASCIMENTO, N. de O., CANÇADO, V., CABRAL, J. R. (2006). Estudo da cobrança pela Drenagem Urbana por meio de uma taxa de drenagem. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.11, n.2, p.135-147.
- NEVES, M.G.F.P. das, TASSI, R., VILLANUEVA, A. (2001). **Estudo de um Reservatório de Detenção Através de Modelagem Hidrodinâmica**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2001, Aracaju. ABRH. v. 1, p. 1-442.

- NOGUEIRA, J.M., MEDEIROS, M.A.A. de; ARRUDA, F.S.T. de. (2000). **Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo?** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.17, n.2, p.81-115, maio/ago. 2000
- NRDC [NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL] (2004). **Stormwater Community responses to runoff pollution. 2004.** Disponível em: <<http://www.nrdc.org>> Acesso em: 30/06/2006.
- NUMATA, D. (2005). **Economic Analysis of Deposit-Refund Systems with Measures for Mitigating Negative Impacts on Suppliers.** European Summer School of Environmental and Resource Economics 2005, Venice International University(Italy) 2005/7/7. Disponível em: <<http://www.feem-web.it/ess05/files/Numata050611.pdf>>. Acesso em: 15/09/2008.
- NZBCSD [NEW ZEALAND BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT] (2003). **Creating Economic Incentives for Sustainable Development.** A report to the New Zealand Business Council for Sustainable Development by Jim Sinner and Guy Salmon. Disponível em: <www.nzbcscd.org.nz/economicincentives/Incentives-for-SD.pdf>. Acesso em: 17/04/2008.
- PAGIOLA, S, RITTER, K. VON, AND BISHOP, J. (2004). **Assessing the Economic Value of Conservation.** Environmental Department Paper, 101, The World Bank, Washington D.C., USA.
- PANAYOTOU, T. (1994). **Mercados Verdes: A Economia do Desenvolvimento Alternativo.** Apresentação de Oscar Arias. Rio de Janeiro: Ed. Nórdica Ltda, 1994.
- PARIKH, P., TAYLOR, M.A., HOAGLAND, T., THURSTON, H., SHUSTER, W. (2005). Application of market mechanisms and incentives to reduce stormwater runoff: an integrated hydrologic, economic and legal approach. **Environmental Science & Policy.** Volume 8, Issue 2, Pages 133-144.
- PEARCE D., ATKINSON, G., MOURATO, S. (2006). **Cost-Benefit Analysis and the Environment. Recent Developments.** OECD Publishing,
- PEARCE, D.W., TURNER, R.K. (1990). **Economics of Natural Resources and the Environment.** Harvester Wheatsheaf.
- PGDER [PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources]. (1999a). **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach.**

Maryland. 150p. Disponível em: <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>>. Acesso em: 28/01/2007.

PGDER [PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources]. (1999b). **Low-Impact Development Hydrologic Analysis**. Maryland, 1999b. 45p. Disponível em: <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>> Acesso em: 14/06/2006.

PGDER [PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources]. (2001). **Bioretention Design Specifications and Criteria**. 60 p. Disponível em: <http://www.usgbcsc.org/site/wp-content/uploads/2009/05/bioretention_design_manual.pdf>. Acesso em: 24/07/2009.

PMPA/DEP (2002). **Plano diretor de drenagem urbana: Fundamentos do plano – Volume I**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS.

PMPA/DEP (2004). **Bacia de retenção Praça Joaquim Leite: Reservatório Fechado**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Hidrosul, Saneamento e Hidrologia Ltda.

PMPA/DEP (2005). **Plano diretor de drenagem urbana: Manual de Drenagem Urbana – Volume VI**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS.

PMPA/DEP (2008). **Programa Integrado Socioambiental**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=38>. Acesso em: 22/05/2008.

PMPA/DEP (2009a). **Bacias combaterão alagamentos em dois bairros**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cs/default.php?reg=108181&p_secao=3&di=2009-05-28>. Acesso em: 28/05/2009.

PMPA/DEP (2009b). **Estrutura do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) de Porto Alegre**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=14>. Acesso em: 04/08/2009.

- PMPA/DEP (2009c). **Projeto básico de drenagem urbana da Rua Frei Germano**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais. Divisão de Obras e Projetos (DOP). Consulta local.
- PMPA/SMMA (2008). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Coordenado por Heinrich Hasenack. 84 p.
- PMPA/SPM (1999). **LEI COMPLEMENTAR Nº 434: dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Secretaria de Planejamento Municipal.
- POMPÊO, C.A. (2000). Drenagem Urbana Sustentável. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.15-23.
- POMPEU, C. T. (1997). **Fundamentos jurídicos do anteprojeto de cobrança pela utilização das águas do domínio do Estado de São Paulo**. In: Audiência pública sobre o anteprojeto de lei de cobrança pelo uso da água. São Paulo, agosto.
- PORTLAND BUREAU OF ENVIRONMENTAL SERVICES (2002). **Stormwater Management Manual**. 2.ed. Portland. Disponível em: <<http://www.cleanrivers-pdx.org>>. Acesso em: 28/01/2007.
- PORTO, M. L. & MENEGAT, R. (1998). **Mapa da vegetação natural potencial**. In: MENEGAT, R. PORTO, M. L.; CARRARO, C.C. & FERNANDES, L. A. D. (orgs). Atlas Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre. Ed.Universidade/ UFRGS. pg 51.
- POSTEL, S.L. (2008). The Forgotten Infrastructure: Safeguarding Freshwater Ecosystems. **Journal of International Affairs**, Spring/Summer 2008, vol. 61, no. 2. 75-90.
- PRINTES, R. C. (2000). **IPTU ecológico: Incentivos fiscais à preservação da natureza e a demanda reprimida por moradia em Porto Alegre**. Disponível no sítio da AgirAzul na Rede, oferecido pela PANGEA - Associação Ambientalista Internacional: <<http://www.agirazul.com.br/artigos/iptu.htm>>. Acesso em 18/06/2007.
- PSAT & WSU [PUGET SOUND ACTION TEAM & WASHINGTON STATE UNIVERSITY] (2005). **Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound**. Disponível em: <http://www.psat.wa.gov/Publications/LID_tech_manual05/lid_index.htm>. Acesso em: 09/02/2007.

- QDAIS, H. A. A., NASSAY, H. I. al. (2001). Effect of pricing policy on water conservation: a case study. **Water Policy**, vol. 3, n. 3, p. 207–214.
- RAUCH, W., SEGELKE, K., BROWN, R., KREBS, P. (2005). Integrated Approaches in Urban Storm Drainage: Where Do We Stand? **Environmental Management**. Vol. 35, No. 4, pp. 396–409.
- RIBEIRO, M.M.R. (2000). **Alternativas para a Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso**. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre/RS.
- RIZZI, P. (2006). **Valuing Ecosystem Services: A Work in Progress**. Senior Principal, SRA International. Presentation on Brownfields, Australia, in November 15, 2006. Disponível em: <<http://www.brownfields2008.org/proxy/SessionDocument.1769.aspx>>. Acesso em: 15/09/2008.
- ROCKY MOUNT (2007). **Public Works – Stormwater Management**. Disponível em: <<http://www.rockymountnc.gov/publicworks/stormwater.html>>. Acesso em 05/06/2007.
- SANTOS, M.O.R.M. (2002). **O Impacto da Cobrança pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. (2006). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH**. Volume 10, n.4. 13 p.
- SCHUELER, T., 1994. **The Importance of Imperviousness**. Watershed Protection Techniques 1(3):100-111.
- SEMASA (2007). **Taxa de manutenção do sistema de drenagem – Semasa/Santo André**. Disponível em: <<http://www.semasa.sp.gov.br/scripts/display.asp?idnot=197>>. Acesso em: 05/06/2007.
- SEROA DA MOTTA, R. (1998). **Utilização de Critérios Econômicos para a Valorização da Água no Brasil**. Texto para discussão nº 556, IPEA.
- SEROA DA MOTTA, R. (2006). **Economia ambiental**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 228 p.
- SEROA DA MOTA, R., RUITENBEEK, J., HUBER, R. (1996). **Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações**. Texto para discussão nº 440, IPEA.

- SHUSTER, W. D., BONTA, J., THURSTON, H., WARNEMUENDE, E., SMITH, D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review. **Urban Water Journal**, vol. 2, n° 4, 263-275.
- SILVA J. M. A., PRUSKI, F. F., SILVA, D., CECÍLIO, R. A. (2006). Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte I: desenvolvimento e avaliação. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.26, n.3, p.695-703.
- SILVEIRA, A L. (1997). Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.2 p. 93-108.
- SILVEIRA, A.L.L. da, GOLDENFUM, J.A. (2007). Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, p. 157-168.
- SINDUSCON-RS (2010). **Evolução do CUB/RS – (NBR 12721/1999)**. Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.sinduscon-rs.com.br/site/imagesdin/231_SERIE%20HISTORICA%20-%20VALOR%20R\\$.pdf](http://www.sinduscon-rs.com.br/site/imagesdin/231_SERIE%20HISTORICA%20-%20VALOR%20R$.pdf)>. Acesso em: 05/03/2010.
- SMF/PMPA (2009). **Balço das Finanças Públicas 2008 – Prefeitura de Porto Alegre**. Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/smf/>>. Acesso em: 22/10/2009.
- SMITH, M., DE GROOT, D., BERGKAMP, G. (2006). **Pay**: Establishing payments for watershed services. IUCN, Gland, Switzerland, 109 pp. Disponível em: <<http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2006-054.pdf>>. Acesso em: 15/09/2008.
- BRASIL (2005). **Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas**: Cooperação Brasil-Itália em Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor de Saneamento – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Brasília: Ministério das Cidades, 270 p.
- SOUZA, C. F. (2005). **Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. BR-RS, 193 p.
- SOUZA, T.F.de (2008). **Drenagem urbana sob cenários de longo prazo visando incentivos ambientais**. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração

em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SOUZA, V.C. (2002). **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Tese de Doutorado. 127 p. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

STAVINS, R. N. (2003). Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments. In: Mäler, K.G. and Vincent, J. **Handbook of Environmental Economics Volume 1: Environmental Degradation and Institutional Responses**. Capítulo 9. Disponível em: <http://www.feem.it/web/activ/_activ.html>. Acesso em: 15/03/2008.

TASSI, R. (2002). **Efeito dos microreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 156 p.

TASSI, R. (2005). **Comparação de duas metodologias para a determinação do volume de detenção em pequenas bacias urbanas: O caso de Porto Alegre/RS**. XX Congresso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hidricos del Cono Sur, 2005, Mendoza/Argentina. CPCNA.

TJRS (2009). **Decisão do Tribunal de Justiça do Estado do Rio Grande do Sul: município de POA terá de indenizar por morte causada por enxurrada**. Disponível em: <http://www4.tj.rs.gov.br/site_php/noticias/mostranoticia.php?assunto=1&categoria=1&item=18628>. Acesso em: 01/12/2009.

TUCCI, C. E. M. (1993). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade / UFRGS, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M. (1998). **Modelos Hidrológicos**. Primeira Edição. Editora da Universidade / UFRGS, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M. (2000). Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.61-68.

TUCCI, C. E. M. (2005). **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 194p. (4º vol).

- TUCCI, C. E. M. (2008). **Na busca da drenagem urbana sustentável**. Blog do Tucci. Disponível em <<http://blog.rhama.net/2008/07/12/na-busca-da-drenagem-urbana-sustentavel/>>. Acesso em 06/08/2008.
- TUCCI, C.E.M. (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.1, p.5-27.
- TUCCI, C.E.M., ZAMANILLO, E.A., PASINATO, H.D. (1989). **Sistema de Simulação Chuva-Vazão IPHS1**. Recursos Hídricos, Publicação 20. Ministério da Educação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas.
- TUCCI, C.E.M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T. L. de. (1995). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 428p.
- TURNER, R.K., PEARCE, D., BATEMAN, I. (1994). **Environmental economics: an elementary introduction**. New York: Harvester Wheatsheaf, 1994. 327 p.; 30cm.
- URBONAS, B., STAHRÉ, P. (1993). **Stormwater Best Management Practices and Detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.
- USEPA [UNITED STATES. Environmental Protection Agency] (1999). **Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices**. Washington, DC.
- USEPA [UNITED STATES. Environmental Protection Agency] (2001). **The United States Experience with Economic Incentives for Protecting the Environment**. EPA-240-R-01-001. January 2001. Disponível em: <[http://yosemite.epa.gov/ee/epa/ermfile.nsf/vwAN/EE-0216B-13.pdf/\\$File/EE-0216B-13.pdf](http://yosemite.epa.gov/ee/epa/ermfile.nsf/vwAN/EE-0216B-13.pdf/$File/EE-0216B-13.pdf)>. Acesso em: 15/09/2008.
- VILLANUEVA, A., ALLASIA, D.G., NEVES, M. DAS, TASSI, R., BERNHARDT, S. (2004). **Modelo de Simulação Hidrológica IPHS1 para Windows: Manual de Fundamentos**. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/iphs1/>>. Acesso em: 13/04/2010.
- WEISSTEIN, E. W. (2010). **Fisher's Exact Test**. From MathWorld-A Wolfram Web Resource. Disponível em: <<http://mathworld.wolfram.com/FishersExactTest.html>>. Acesso em: 03/10/2010.
- WESTPHAL, F.S. e LAMBERTS, R. (1999). **Estudo de viabilidade econômica de uma proposta de retrofit em um edifício comercial**. In: Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais. Fortaleza, 1997. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>. Acesso em: 20/03/2007.

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1: Método da Curva Envelope (Silveira e Goldenfum, 2007)

A metodologia é baseada no balanço de massa no mecanismo de controle (MC) a ser dimensionado. O volume de armazenamento é determinado pela máxima diferença entre os volumes acumulados de entrada e saída. Para efeito de cálculo, os volumes podem ser expressos em lâminas de água equivalentes sobre a área em planta do MC.

A curva afluenta é dada pela curva HDF (altura-duração-frequência das chuvas) afetada por coeficientes de escoamento e de relação de áreas enquanto que a curva efluente normalmente é uma reta, pois admite-se, por simplicidade, uma vazão de saída constante do dispositivo. Define-se inicialmente, as seguintes variáveis de massa (função do tempo):

HE = lâmina d'água de entrada acumulada medida sobre a área em planta da MC;

HS = lâmina d'água de saída acumulada, também medida sobre a área em planta da MC

A função HE é construída pela IDF multiplicada pelo tempo (o que vem a ser uma HDF) e por fatores de escoamento e relações de área. Parte-se de relações IDF com a expressão geral análoga a de Talbot:

$$i = \frac{aT^b}{t + c} \quad \text{Equação 8.1}$$

Sendo:

i = intensidade da chuva em mm/h

T = período de retorno em anos

t = duração em minutos

a, b, c, os parâmetros da equação

A expressão de Talbot permite solução explícita do volume máximo, conforme mostrado adiante. As equações i-d-f's do tipo Talbot utilizadas no estudo são apresentadas a seguir.

$$i = \frac{2634,906 Tr^{0,171}}{t + 16,9382} \quad \text{idf 8º Distrito INMET tipo Talbot} \quad \text{Equação 8.2}$$

$$i = \frac{2297,447 Tr^{0,143}}{t + 22,6054} \quad \text{idf Aeroporto tipo Talbot} \quad \text{Equação 8.3}$$

Desta forma, a expressão de HE, em mm, é dada por:

$$H_E = \beta \frac{aT^b}{t+c} \frac{t}{60} \quad \text{Equação 8.4}$$

Sendo:

β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo.

A função HS, em mm, é obtida pela multiplicação pelo tempo da vazão de saída constante, conforme segue:

$$H_S = \gamma H q_s \frac{t}{60} \quad \text{Equação 8.5}$$

Sendo:

q_s = vazão de saída constante do dispositivo, em mm/h

γ = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta

H = profundidade média, em mm, do volume de acumulação do dispositivo;

t = duração em minutos

A expressão de Talbot para a IDF não é muito comum, sobretudo no Brasil, onde predomina a equação potencial do tipo:

$$i = \frac{kT^m}{(t+d)^n} \quad \text{Equação 8.6}$$

Sendo:

i = intensidade da chuva em mm/h

T = período de retorno em anos

t = duração em minutos

k, m, d, n , os parâmetros da equação

A partir de simulações numéricas as seguintes expressões de conversão puderam ser estabelecidas:

$$a = 0,68k \exp(0,06n^{-0,26} d^{1,13})$$

$$b = m$$

$$c = 1,32n^{-2,28} d^{0,89}$$

Elas valem como uma primeira aproximação para um caso específico, sendo provavelmente necessário ainda aplicar um coeficiente de ajuste adicional ao coeficiente “a”. Por exemplo, para a IDF do 8º Distrito do INMET em Porto Alegre foi a seguinte:

$$i = \frac{1297,9T^{0,171}}{(t + 11,6)^{0,85}} \quad \text{Equação 8.7}$$

Os parâmetros Talbot pelas expressões acima são:

$$a = 2395,4$$

$$b = 0,171$$

$$c = 16,9$$

Entretanto comparando-se as intensidades de chuva de ambas IDF, verificou-se, neste caso de Porto Alegre, que o coeficiente “a” deveria ser ainda majorado com 1,09. Assim a versão Talbot final da IDF acima passa a ser então:

$$i = \frac{2611T^{0,171}}{t + 16,9} \quad \text{Equação 8.8}$$

O volume máximo, ou de dimensionamento, é obtido através da maximização da diferença entre HE e HS, no tempo, isto é:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial(H_E - H_S)}{\partial t} = 0 \quad \text{Equação 8.9}$$

Utilizando-se as expressões anteriores, obtém-se:

$$\beta \frac{aT^b}{(t+c)} \left[1 - \frac{t}{t+c} \right] - \gamma H q_s = 0 \quad \text{Equação 8.10}$$

Desenvolvendo-se , fica :

$$\beta \frac{caT^b}{(t+c)^2} - \gamma Hq_s = 0$$

Equação 8.11

Portanto, o tempo pode ser explicitado e tem a seguinte expressão:

$$t = \sqrt{\frac{\beta caT^b}{\gamma Hq_s}} - c$$

Equação 8.12

Este é o tempo da máxima diferença de volumes, ou seja, o tempo através do qual pode-se calcular o volume de dimensionamento ou volume máximo. Chamando esse volume de V_{\max} , sua expressão fica sendo a seguinte:

$$V_{\max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T^{b/2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma} \sqrt{H} \sqrt{q_s} \right)^2$$

Equação 8.13

8.2 Anexo 2: Descrição dos projetos da Prefeitura de Porto Alegre nas micro-bacias do estudo

Micro-bacia Polônia: Reservatório da Praça Julio Andreatta

O reservatório da Praça Julio Andreatta foi o primeiro reservatório construído no município de Porto Alegre, em 1999. Este reservatório foi a solução encontrada naquela época pela municipalidade para resolver os problemas de alagamentos que ocorriam na região. Historicamente, em função da urbanização de áreas a montante da praça, existiu a insuficiência hidráulica da rede de drenagem existente. Assim, foi implantado o reservatório de amortecimento na Praça Julio Andreatta, funcionando conectado a um conduto forçado que passa sob a praça, construído na Rua polônia e ligando a Avenida Benjamin Constant ao Lago Guaíba (Figura 8.2). Quando ocorre o extravasamento do conduto o reservatório começa a encher, conforme é mostrado na Figura 8.2.

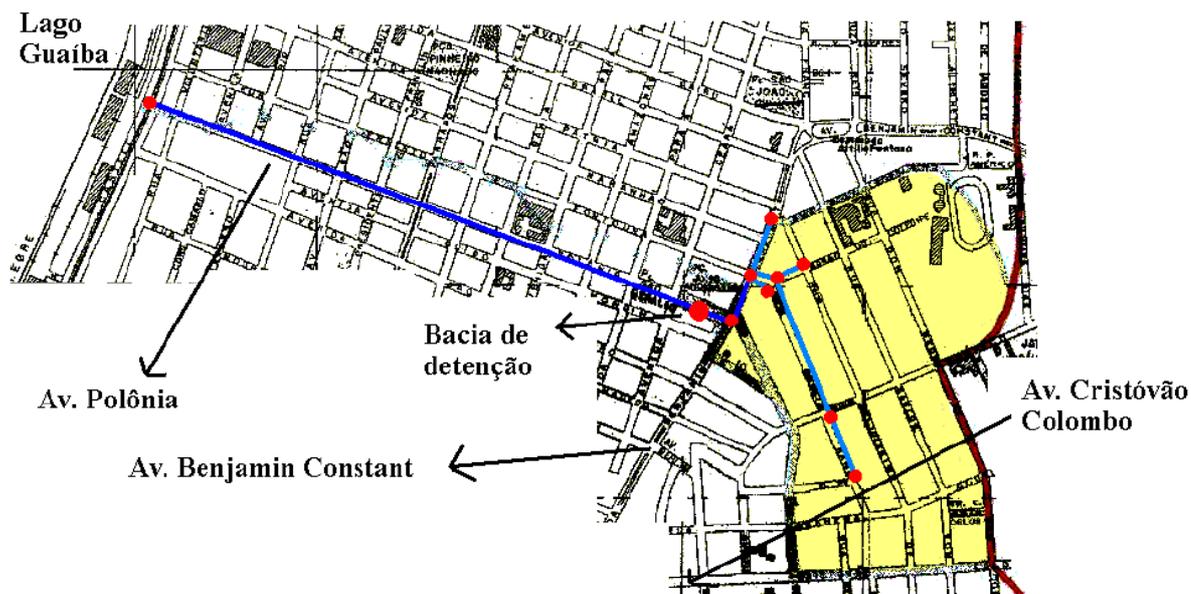


Figura 8.1. Mapa da região do Reservatório de Amortecimento da Praça Julio Andreatta (Neves *et al.*, 2001).

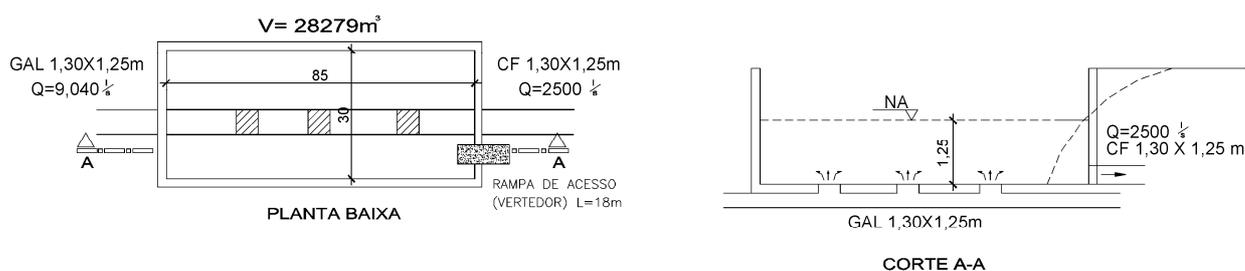


Figura 8.2. Esquema do reservatório de concreto aberto da Praça Julio Andreatta (Carmona, 2008).

A Figura 8.2 mostra a bacia de contribuição, a localização da rede de drenagem, incluindo o Conduto Forçado e o Reservatório (ou Bacia) de Detenção. A bacia de contribuição do conduto forçado, destacada na Figura 8.2 e na Figura 8.3, tem uma área de aproximadamente 0,50 Km² e encontra-se densamente habitada, conforme pode ser observado na Figura 8.3, com uma área impermeável de 58% (Carmona, 2008). O reservatório de detenção funciona como uma praça, com quadra de esportes (Figura 8.4). De acordo com Carmona (2008), o volume do reservatório é de 3.956 m³, dimensionado para uma vazão de entrada de 9.042 L/s (TR = 50 anos). A vazão saída pelo vertedor e avenidas Polônia e Ceará é de 10.000 L/s (TR = 100 anos).



Figura 8.3. Imagem de satélite com os lotes que contribuem com o escoamento (em amarelo) ao reservatório de amortecimento da praça Julio Andreatta.



Figura 8.4. Fotografias do reservatório de detenção da Praça Julio Andreatta.

Micro-bacia Frei Germano: Ampliação da rede de drenagem na Rua Frei Germano

A Rua Frei Germano, localizada no bairro Partenon, município de Porto Alegre, já dispõe de sistema de drenagem urbana há algumas décadas. Entretanto, devido à grande urbanização (em sua maior parte, clandestina) verificada nas cabeceiras de sua bacia hidrográfica, apresenta, no momento, sérios problemas de alagamentos. A Rua dos Cubanos, transversal da Rua Frei Germano, enfrenta problemas graves de alagamentos desde a implantação da via, há mais de quarenta anos. Nesse local, a água invade as casas, tendo em vista que a maioria dos lotes encontra-se abaixo no nível da rua.

No início dessa década, o DEP implantou nova rede pluvial na via, contemplando a adequada captação das ligações domiciliares de todos os lotes. Porém essa rede está ligada à antiga canalização da Rua Frei Germano, que é hidráulicamente insuficiente. Com isso, a obra já executada não solucionou de todo a questão da Rua dos Cubanos. O projeto atual da prefeitura contempla a adequada captação da contribuição da área a montante da Avenida Bento Gonçalves e da Rua dos Cubanos, e seu encaminhamento até o Arroio Dilúvio (Figura 8.5 e Figura 8.6).



Figura 8.5. Imagem de satélite com os lotes que contribuem com o escoamento (em amarelo) à ampliação da rede de drenagem na Rua Frei Germano.



Figura 8.6. Fotografias do local de deságüe da canalização projetada no Arroio Dilúvio. Fotografia da esquerda: cruzamento das vias; Fotografia do centro: vista de montante do Arroio Dilúvio; Fotografia da direita: vista de jusante da bacia de contribuição e canalização existente.

O projeto executivo, elaborado pelos técnicos do DEP, prevê a implantação de tubulações de DN 0,50 a 1,50 m e galerias com seções transversais 1,50 x 1,50 m, 1,70x 1,50 e 2,80 x 1,20 m, a serem implantadas no leito da via, entre as avenidas Bento Gonçalves e Ipiranga, onde ocorre o deságüe no Arroio Dilúvio. A bacia de contribuição é de aproximadamente 0,46 Km². A vazão de projeto (Tr = 10 anos) é de aproximadamente 8.000 L/s na saída da canalização já no Arroio dilúvio (PV19 na Figura 8.7), sendo que a galeria tem condições de escoar até 10.000 L/s à seção plena.

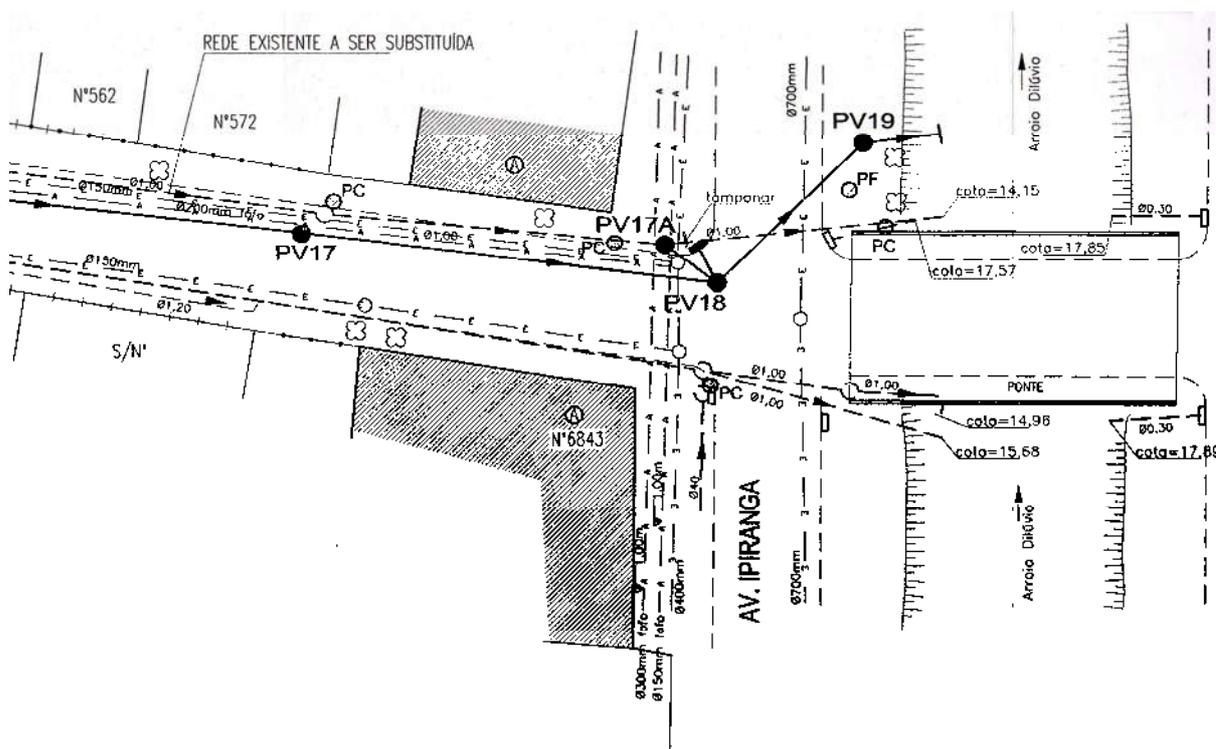


Figura 8.7. Detalhe do projeto da ampliação da rede de drenagem na micro-bacia Frei Germano.

Na micro-bacia Frei Germano existem diversas praças que poderiam ser utilizadas para um reservatório de amortecimento. Um pouco a montante do local onde a canalização projetada encontra o Arroio Dilúvio existe a Praça Padre Nebrídio Bolcato (Figura 8.8). A construção de um reservatório nesta área pública certamente reduziria os custos de implantação da solução dos problemas nesta micro-bacia. Além disso, esta solução é mais eficiente do ponto de vista de controle de escoamento, pois não encaminha o volume escoado para outro ponto da rede de drenagem do município. Não se tem o conhecimento se esta possibilidade construtiva foi avaliada.



Figura 8.8. Praça Padre Nebrídio Bolcato na micro-bacia Frei Germano, localizada ao lado da Rua Frei Germano.

Com a finalidade de comparar os projetos das micro-bacias do estudo, foi calculado o volume equivalente de controle do escoamento pluvial, promovido pela ampliação da rede de drenagem na micro-bacia Frei Germano. Para tanto, foi realizada uma estimativa do volume de armazenamento no tempo, cortando, a partir da capacidade atual do sistema de drenagem pluvial, o hidrograma de projeto que deu origem às dimensões da futura galeria da Rua Frei Germano. Este hidrograma de projeto possui uma vazão máxima de 8.000,00 L/s. A Figura 8.9 apresenta o hidrograma de projeto da galeria projetada, onde é visualizado o volume equivalente de controle. A capacidade atual da galeria da Rua Frei Germano é de 2.700,00 L/s, que escoam em uma canalização circular de 1 metro de diâmetro. O volume estimado foi de 3.421,16 metros cúbicos.

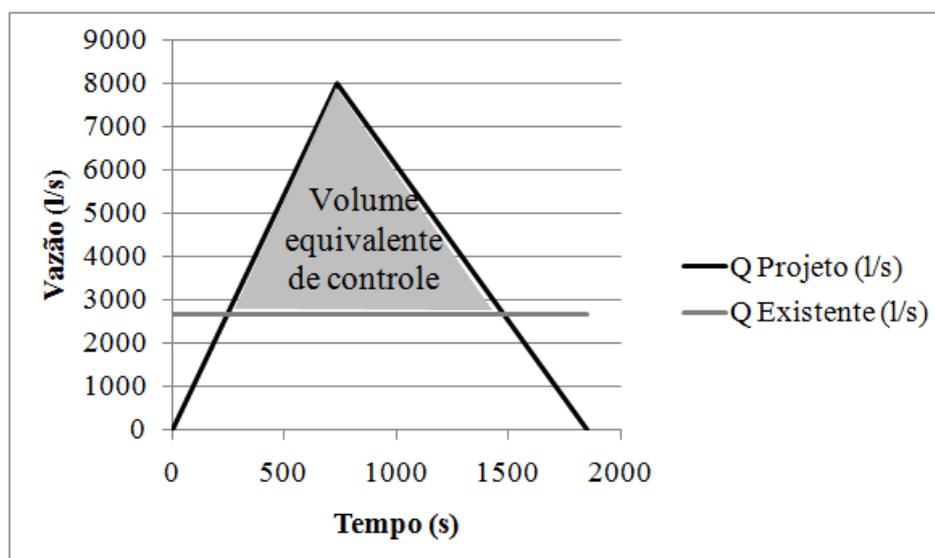


Figura 8.9. Hidrograma de projeto da futura galeria de drenagem pluvial na Rua Frei Germano e volume equivalente de controle do escoamento pluvial.

Micro-bacia Joaquim Leite: Reservatório da Praça Joaquim Leite

Desde 2001 quatro projetos de reservatórios de amortecimento estão em discussão com a comunidade residente no bairro Três Figueiras. Os reservatórios fazem parte do planejamento da sub-bacia Teixeira Mendes, pertencente à bacia do Arroio da Areia, descrito no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre. Parte dos moradores possui oposição às obras, questionando sobre a eficiência dos projetos na redução dos alagamentos, a alteração do visual do bairro e a possibilidade da ocorrência de mau cheiro devido aos resíduos sólidos e efluentes domésticos. Atualmente está em construção um dos reservatórios na Praça Doutor Celso Luft (Figura 8.10). Quando finalizado, o reservatório de detenção funcionará como uma quadra de esportes (Figura 8.11).



Figura 8.10. Fotografias do reservatório em construção na Praça Doutor Celso Luft.



Figura 8.11. Maquete virtual do reservatório em construção na Praça Doutor Celso Luft (PMPA/DEP, 2009a).

O reservatório da Praça Joaquim Leite originalmente foi planejado em alternativa aberta. Considerando a não aceitação por parte da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), e da própria população, foi necessário desenvolver outro projeto em alternativa fechada (PMPA/DEP, 2004). A Praça Joaquim Leite (Figura 8.12) é arborizada, proporcionando uma bela paisagem. Segundo PMPA/DEP (2004), o volume do reservatório é de 1.800 m³, dimensionado para uma vazão de entrada de 231 L/s (TR = 50 anos). A bacia de contribuição ao reservatório (Figura 8.13) possui cerca de 0,60 km².



Figura 8.12. Fotografias de montante (esquerda) e jusante (direita) da Praça Joaquim Leite.



Figura 8.13. Imagem de satélite com os lotes que contribuem com o escoamento (em amarelo) ao reservatório de amortecimento da praça Joaquim Leite.

8.3 Anexo 3: Transformação chuva-vazão e propagação superficial pelo Método SCS (atual NRCS)

O modelo SCS faz a transformação chuva-vazão separando o volume escoado superficialmente e o volume infiltrado com base na equação abaixo, quando $P > 0,2 S$:

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{Equação 8.14}$$

e quando $P \leq 0,2.S$, $P_{ef} = 0$, sendo:

P: chuva em mm;

P_{ef} : chuva efetiva (escoamento superficial);

S: armazenamento no solo em mm, estimado por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 8.15}$$

O método supõe que, apenas quando a chuva total é superior às perdas iniciais (interceptação e retenção em depressões do solo), consideradas iguais a $0,2S$, ocorre geração de escoamento superficial direto. Caso contrário (se $P < 0,2S$), não há escoamento superficial direto e $P_{ef} = 0$, ou seja, toda a chuva foi retida pela interceptação ou depressões do solo. A retenção potencial do solo (S) é estimada em função do coeficiente CN (*Curve Number*), onde o coeficiente CN tem valor variando entre 0 e 100, sendo função do tipo de solo, do uso e ocupação da bacia e da umidade antecedente (Tucci, 1993).

Para a determinação do valor de CN, deve-se, inicialmente, escolher o grupo hidrológico do solo (Quadro 8.1) e as condições de umidade antecedente do solo (Quadro 8.2). Em seguida, determina-se o valor de CN em função do tipo de uso do solo e das condições hidrológicas, considerando a condição de umidade II (Tabela 8.1). Finalmente, caso as condições de umidade não sejam a do tipo II, procede-se à conversão do valor determinado no passo anterior (Tabela 8.2).

Quadro 8.1. Tipos de solo considerados pelo SCS para escolha do CN.

Grupo	Descrição
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
B	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial.
C	Solos barrentos com teor de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados.

Quadro 8.2. Condições de umidade antecedente do solo consideradas pelo SCS.

Condição	Descrição
I	Solos secos: as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.
II	Situação média na época das cheias: as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.
III	Solo úmido (próximo da saturação): as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meterológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

A propagação superficial pelo método SCS é realizada primeiramente desenvolvendo o hidrograma unitário triangular da área onde ocorre o escoamento e posteriormente fazendo a convolução (soma do produto entre as chuvas efetivas e as ordenadas do hidrograma unitário). O hidrograma unitário é representado na Figura 8.14.

Tabela 8.1. Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo, para condição de umidade II.

Uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas	Grupo hidrológico de solos				
	A	B	C	D	
Uso residencial					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados					
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98	98
com cascalho	76	85	89	91	91
de terra	72	82	87	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)					
Distritos industriais (72% de impermeabilização)					
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto					
plantio em linha reta	77	86	91	91	94
Culturas em fileira					
linha reta	condições ruins	72	81	88	91
	condições boas	67	78	85	89
curva de nível	condições ruins	70	79	84	88
	condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
linha reta	condições ruins	65	76	84	88
	condições boas	63	75	83	87
curva de nível	condições ruins	63	74	82	85
	condições boas	61	73	81	84
Pasto					
linha reta	condições ruins	68	79	86	89
	condições médias	49	69	79	84
	condições boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	condições médias	25	59	75	83
	condições boas	6	35	70	79
Campos	condições boas	30	58	71	78
Florestas					
	condições ruins	45	66	77	83
	condições médias	36	60	73	79
	condições boas	25	55	70	77

Tabela 8.2. Conversão dos valores de CN conforme as condições de umidade do solo.

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

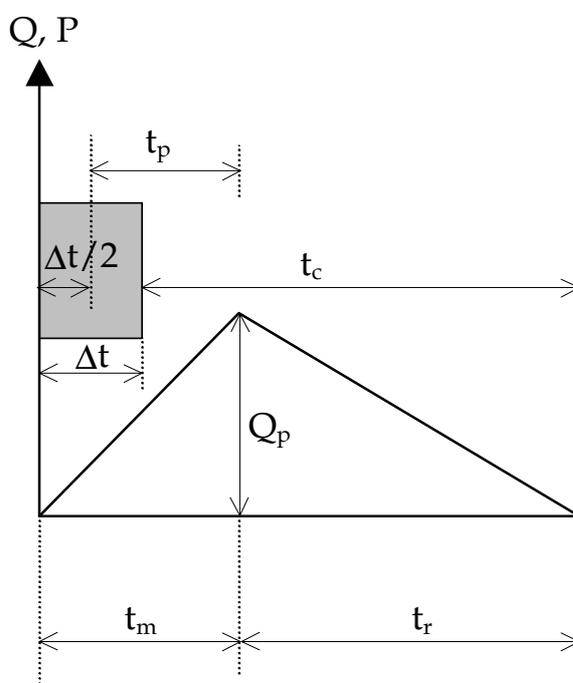


Figura 8.14. Hidrograma unitário triangular do SCS.

Para a determinação do hidrograma unitário, deve-se determinar seus parâmetros, conforme roteiro a seguir:

- 1) Determinar o tempo de concentração (t_c) da área;
- 2) Determinar o parâmetro t_m :

$$t_m = \frac{\Delta t}{2} + 0,6.t_c$$

Equação 8.16

Sendo:

Δt : intervalo de tempo de simulação, obtido a partir da chuva;

t_c : tempo de concentração da área simulada.

3) Determinar o tempo de pico do hidrograma t_p :

$$t_p = 0,6.t_c \quad \text{Equação 8.17}$$

4) Determinar o tempo de recessão do hidrograma t_r :

$$t_r = 1,67.t_p \quad \text{Equação 8.18}$$

5) Determinar o tempo de base do hidrograma t_b :

$$t_b = t_m + t_r \quad \text{Equação 8.19}$$

6) Determinar a vazão máxima Q_p :

$$Q_p = \frac{0,208.A}{t_m} \quad \text{Equação 8.20}$$

Sendo:

Q_p : vazão máxima do hidrograma triangular em m^3/s ;

A: área da bacia em km^2 ;

O intervalo de tempo é definido em unidades de t_p . Recomenda-se a utilização de $\Delta t = t_p/5$.

O hidrograma resultante (exemplificado na Figura 8.15), obtido a partir da chuva de projeto, é obtido utilizando a equação de convolução discreta expressa por:

$$Q_t = \sum_{i=1}^t P e f_i h_{t-i+1} \quad \text{para } t < k \quad \text{Equação 8.21}$$

$$Q_t = \sum_{i=t-k+1}^t P e f_i h_{t-i+1} \quad \text{para } t \geq k \quad \text{Equação 8.22}$$

Sendo:

Q_t = vazão de saída da bacia (m^3/s);

H = ordenadas do hidrograma unitário ($m^3/s/mm$);

P_{ef} = valores de chuva efetiva no intervalo de tempo (mm);

k = número de ordenadas do hidrograma unitário, que pode ser obtido por $k = n - m + 1$, onde m é o número de valores de chuva e n é o número de valores de vazões do hidrograma.

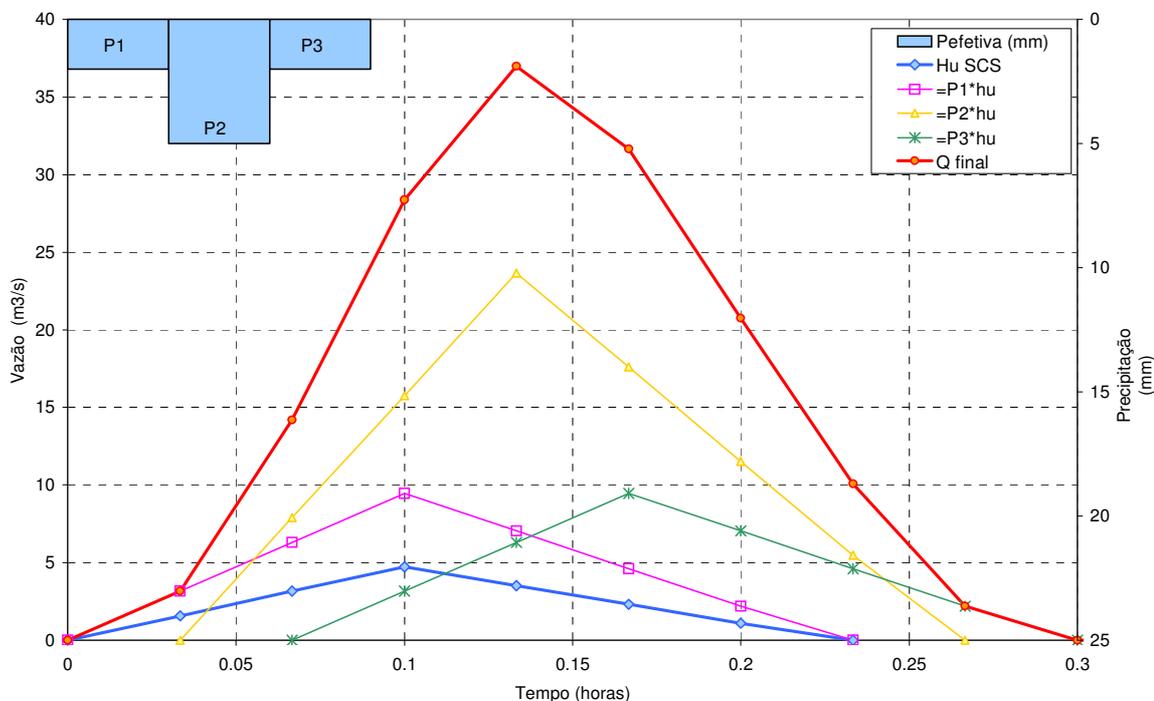


Figura 8.15. Exemplo de convolução do hidrograma unitário do SCS.

8.4 Anexo 4: Entrada IPHS1

'(20A4)' (CABE(I),I=1,20)

'(4I10,F10.2,6i10)' NT, NS, NPCH, NTT, AT

(***FOR I = 1, NPCH***)

Se NPCH \neq 0, '(8I10)' NPO, NCHUVA

'(8F10.2)' (P(I,J), I = 1, NTT) Se NTT > 8 ele lê valores com mesmo formato até atingir NTT.

DO I = 1, NS, '(a40)' CA

'(8I10)' NCOD, IPP, IPR, ILIST, IS, IE, IOBS, controla

Se IPR > 0, '(8f10.2)' QMAX, QMIN, PMAX

Se IOBS > 0 & NCOD \neq 9, '(8f10.2)' (Q0(K), K = 1, NT)

NCOD = 1 - '(I10, 2F10.0, I10)' N0, SI, Zmax, npzs

PROP.

RESERV.

DO i = 1, npzs, '(2F10.2)' cotas (I), SXZ(I)

DO I = 1, NO, '(8I10)' NP(I), ITT(I)

DO K = 1, NP, '(2F10.2)' ZOP (K,i), QD(K,I)

Se NP = 0, '(2I10, F10.2)' ivert, iorif, QLIM

'(8F10.2)' Cvert, XL, Zvert
 Se ivert e Se iorif \neq 0, '(8F10.2)' CORIF, AORIF, ZORIF

NCOD = 2 - '(2I10, 3F10.2)' NCODP, NP, cotmon, cotjus, h PROP. RIO
 NCODP = 1 - DO K = 1, NP '(3F10.0)' X(K), XK(K), QT(K)
 NCODP = 2 - '(F10.0)' Qref
 '(6F10.2, i10, F10.3, I10)' B, H, ALONG, COTMON, COTJUS, DTCAL,
 TRECHO, RUG, ILAT
 NCODP = 3 - '(6F10.2, i10, F10.3, I10)' B, H, ALONG, COTMON, COTJUS, DTCAL,
 TRECHO, RUG, ILAT
 NCODP = 4 - '(3F10.0)' QREF
 '(6F10.2, I10, F10.3, I10)' B, Y0, ALONG, COTMON, COTJUS, DTCAL,
 NTRECH, RUG, ILAT
 '(3F10.0)' B1, RUG1, Y1
 NCODP = 5 - '(F10.2, I10)' QREF, excesso
 excesso = 1, '(8i10)' seccion, ANCHO, ALTO, ZESQ, ZDIR, p/ tubo deixar linha em
 branco
 excesso = 2, '(f10.3)' rugrua
 '(I10, 9F10.2, 2I10)' itipe, yo, B, Zl, Zr, rug, along, cotmon, cotjus, dtcal,
 ntrech, ILAT
 Se np>1, '(I10, 8F10.2, 2I10)' itipe, yo, B, Zl, Zr, rug

NCOD = 3 - '(8I10)' NTPU, LCHUVA TRANS. CHUVA-
VAZÃO
 '(8I10)' NPU(I), I=1, NPTU
 '(8F10.0)' COTH(I), I=1, NPTU
 Se LCHUVA \neq 0, '(F10.0)' POS
 '(I10, F10.2)' CMON, AR
 '(8I10)' NPER
 NPER = 1, '(8F10.2)' AIO, AIB, HK, RMAX, RT1, AINP, area
 NPER = 2, '(F10.2)' CN
 NPER = 3, '(5F10.0)' STRKR, DLTKR1, RTIOL, ERAIN
 NPER = 4, '(2F10.2)' PI, PU1
 NPER = 5, '(4F10.2)' SAI, BE, FC1, GIA1
 '(8I10)' NPRPC, NESCB
 NPRPC = 1, '(8I10)' NORD
 '(8F10.0)' (HUO(K), K=1, NORD)
 NPRPC = 2, '(8F10.2)' AR, TC
 Se Tc = 0, '(8F10.2)' SSS
 NPRPC = 3, '(10F10.0)' AREA, XK, TP
 Se XK = 0, '(10F10.0)' HT, XL
 NPRPC = 4, '(5F10.2)' XK, TC, XN, AREA
 Se Tc = 0 ou XK = 0, '(5F10.2)' SSS
 Se XN = 0, '(8F10.2)' (HIST(II), II = 1, NH)
 Se NESCB \neq 0, '(8F10.0)' AREA, XKSUB, QSUB0

NCOD = 4, '(8F10.2)' (Q(J, IS), J=1, NT) HID. LIDO (Inserção do Hid.
conhecido)
 NCOD = 5, '(I10)' NSUM
 SOMA

'(8I10)' (ISM(K), K=1, NSUM)
 NCOD = 6, '(8F10.0)' B1, RUG01, DEC1, B2, RUG02, DEC2
 DERIVAÇÃO
 NCOD = 7, '(8i10)' NPL IMPRESSÃO
 FINAL
 Se $NPL > 0$, '(8i10)' (IPL(K), K=1, NPL)
 NCOD = 8, '(2F10.0)' XFAC DIVISÃO DE HID.
 NCOD = 9 Alg. De otim. MOCOM-UA no
 IPH-II
 NCOD = 10 '(7F10.4, I10)' HM, HO, AD, POR, IO, IB, K, EP '(8i10)' NTPU, LCHUVA
 BIO-RETENÇÃO
 '(8i10)' (NPU(it), it = 1, NPTU)
 '(8F10.0)' (COTH(it), it = 1, NPTU)
 Se $LCHUVA \neq 0$, '(F10.2)' POS

 NCOD = 11, '(I10, 3F10.4)' moi, Ib, Io, AR Cont. LAT. INFILTRAÇÃO
 (NEGATIVA)

LEGENDA

CABE = cabeçalho
 NT = número de Dt
 NS = número de operações hidrológicas
 NPCH = número de postos de chuva
 NTT = número de Dt com chuva
 DT = tamanho do Dt (s)
 NPO = número do posto de chuva
 NCHUVA = flag (1 = desagregado; 2 = acumulado)
 P = valores de chuva
 CA = cabeçalho
 NCOD = número do código de operação hidrológica
 IPP = imp. de perdas (0 = algoritmo resumo perdas; 1 = tabela escoamento e perdas)
 IPR = hid. Resultante (0 = não graficado; 1 = sim)
 ILIST = tab. Hid. (0 = não imp; 1 = sim)
 IS = número de arm. do hid. Saída
 IE = número de arm. do hid. Entrada
 IOBS = flag (0 = não possui dados obs.; 1 = sim)
 Controla = flag (0 = não coloca Qcont. x Vol. Nec.; 1 = sim)
 Qmax = Vazão máxima
 Qmin = Vazão mínima
 Pmax = Chuva máxima
 QO = Vazão observada

 No = número de mov. Das est. Extravasoras
 SI = arm. inicial no reserv. (1000m³)
 Zmax = cota máx. reserv.
 npzs = número de pontos da tabela cota x vol.
 cotas = cota (m)
 sxz = volume correspondente à cota (1000m³)
 NP = número de pontos da tabela Q = F (s)
 ITT = intervalo de tempo até o qual oper. é válida

ZOP = alt. de oper.

QD = vazão de saída para esta cota (m^3/s)

ivert = 1 existe um vertedor

iorif = 1 existe orifício

QLIM = vazão máxima do by pass

CORIF = coeficiente do orifício

AORIF = área do orifício

ZORIF = cota do orifício

Cvert = coeficiente de descarga

XL = largura do vertedor

Zvert = cota da crista do vertedor

NCODP = número do código do tipo de propagação

NP = número de pontos da tabela ou número de trechos paralelos

ALONG = comprimento do trecho de propagação

ILAT = número de arm. do hid. de cont. lat. Não dist.

Excesso - = 0 – arm. em .alg o volume arm. e dur. (não existe cont. do alg.)

= 1 – redim. Conduto aumentando o diâmetro

= 2 – propaga sup. o excesso por MCLinear

ANCHO - = 1 amplia na largura

ALTO - = 1 amplia na altura

ZESQ - = 1 amplia na declividade a esq. - itipe = 3

ZDIR - = 1 amplia na declividade a dir. - itipe = 3

itipe - = 1 seção ret., = 2 sec. circ., = 3 sec. trap.

yo = altura da seção ou diâmetro

zl = declividade à esq.

zr = declividade à dir.

hor. : vert. – (z:1)

NTPU = número de pontos de chuva na bacia

Lchuva = flag (0 = não reordena; 1 = sim) OBS: só aplicável à 1 Df

NPU = número de postos

COTH = coeficiente de polígonos de Thiessen

CMON = flag (0 = sem cont.; 1 = com cont.)

AR = área (m^2)

NPER = algoritmo de perdas, = 1 – IPHII

= 2 – SCS

= 3 – HEC1

= 4 – FI

= 5 – HOLTAN

POS = posição do pico, = 0,25 – 25% da duração

AIO = I_o (mm/h)

AIB = I_b (mm/h)

$H \rightarrow H = e^{-k}$, onde k (s-1)

RT1 = vazão de base no início da chuva ($m^3/s/Km^2$)

AINP = % A. I. (entre 0 e 1)

STRKR = coef. de esc. Inicial

DLTKR1 = lâmina limite para aumento do coef. de esc. por perdas iniciais (mm)

RTIOL = decl. do gráfico semilog

ERAIN = exp. Da chuva

PI = perda inicial (mm)
 PU = Φ (mm/h)
 SAI = est. Inicial do res. De umidade do solo (mm)
 BE = expoente empírico
 FC1 = infiltração de base (mm/h)
 GIA1 = capacidade infiltração inicial (mm/h)
 NPRPC = número de prop. ecs., = 1 – HU (1mm, Dt)
 = 2 – HTriang. (SCS)
 = 3 – HYMO (Nash mod.)
 = 4 – Clark
 NESCB = flag (0 = não prop. esc. Base; 1 = sim (NPER = 1))
 NORD = número de ord. do HU
 HUO = ord. do HU (m³/s)
 AR = área (Km²), SSS = declividade (m/Km)
 XK = retardo dos res. de Nash (h), = 0 – usa-se regressão
 HT = DH (m)
 XL = comp. do rio principal
 XN = forma do hist. tempo-área
 HIST = ord. do hist. tempo-área
 XKSUB = XK (h)
 QSUB0 = vazão base inicial (m³/s)

 Q(J, IS) = hid. na seção IS

 NSUM = número de hid. a serem somados
 ISM = número de arm. dos hidrogramas a serem somados

 B1 = largura do canal de derivação
 B2 = largura do canal principal
 DEC1 = declividade do canal de derivação
 RUGO1 = rugosidade do canal de derivação

 NPL = número de hid. (seções) com graf. Conjunta

 xFAC = fator que relaciona novo hid. Com hid. Entrada
 Q (J, IS) = xFAC * Q(J, IE)

 hm = altura máxima bio-retenção
 ho = altura inicial simulação de água na bio-retenção
 Ad = área drenada para bio-retenção (m²)
 por = porosidade em %
 Io, Ib, k = parâmetros de Horton
 EP = existe chuva (0 = não existe chuva; 1 = sim, existe)

 moi = flag (1 = Io; 3 = Ib; qualquer outro = (Io+Ib)/2)
 Ib e Io = Horton (mm/h)
 AR = área em m²

8.5 Anexo 5: Equações de custos para os dispositivos de controle do escoamento pluvial

As equações para o Microrreservatório (MR) são:

$$\text{MR} = \text{Escavação (M.O.)} + \text{Laje superior (material e M.O.)} + \text{Alvenaria (material e M.O.)} + \text{Base em concreto (material e M.O.)} \quad \text{Equação 8.23}$$

$$\text{MR (Esc. Manual)} = 16,575 * \text{Volume Escavado} + 45,66 * \text{Área da base do MR} + 42,93 * \text{Área da parede de alvenaria} + 212,96 * \text{Volume de concreto} \quad \text{Equação 8.24}$$

$$\text{MR (Esc. Manual)} = 16,575 * H * (L+l) * (B+l) + 45,66 * (L+l) * (B+l) + 42,93 * 2 * H * [L+(B+l)] + 212,96 * h * (L+l) * (B+l) \quad \text{Equação 8.25}$$

$$\text{MR (Esc. Mecânica)} = 4,026 * \text{Volume Escavado} + 45,66 * \text{Área da base do MR} + 42,93 * \text{Área da parede de alvenaria} + 212,96 * \text{Volume de concreto} \quad \text{Equação 8.26}$$

$$\text{MR (Esc. Mecânica)} = 4,026 * H * (L+l) * (B+l) + 45,66 * (L+l) * (B+l) + 42,93 * 2 * H * [L+(B+l)] + 212,96 * h * (L+l) * (B+l) \quad \text{Equação 8.27}$$

Sendo:

M.O. = Mão de Obra;

H = altura interna do MR, em metros;

L = largura interna do MR, em metros;

B = comprimento interno do MR, em metros;

l = largura da parede, igual a 0,20 metros;

h = altura da base em concreto, igual a 0,08 metros.

Os índices SINAPI que multiplicam as quantidades foram os seguintes:

- Código SINAPI C 74008/1 escavação mecânica de valas, qualquer terreno, exceto rocha até 5,0 metros de profundidade - R\$ 4,026 por m³ - este índice foi usado para todas as escavações mecânicas dos dispositivos;
- Código SINAPI C 74019/001 escavação manual (valas ou fundações rasas até 2,0 metros de profundidade) - R\$ 16,575 por m³ - este índice foi usado para todas as escavações manuais dos dispositivos;
- Laje de cobertura - Código SINAPI C 74202/002 laje pré-moldada (sobrecarga de 200kg/m²) - R\$ 45,66 por m²
- Paredes de alvenaria - Código SINAPI C 72131 alvenaria em tijolo cerâmico maciço 5x10x20cm 1/2 vez - R\$ 42,93 por m²
- Base em concreto: Código SINAPI C 6045 concreto fck=15mpa - R\$ 212,96 por m³

As equações para o Pavimento permeável (PAV) são:

$$\text{PAV} = \text{Escavação (M.O.)} + \text{Pedra britada (material e M.O.)} + \text{Geotêxtil (material e M.O.)} + \text{Areia grossa (material e M.O.)} + \text{Bloco vazado (material e M.O.)}$$

Equação 8.28

$$\text{PAV (Esc. Manual)} = 16,575 * \text{Volume Escavado} + (47,1 + 5,1) * \text{Reservatório de brita} + (6,78 + 5,1) * 2 * \text{Área do pavimento e áreas laterais do reservatório de brita} + (38,5 + 5,1 * 0,50) * \text{Volume de areia grossa} + (27,31 + 5,1) * \text{Área do Pavimento}$$

Equação 8.29

$$\text{PAV (Esc. Manual)} = 16,575 * H1 * L * B + 52,2 * H2 * L * B + 11,88 * 2 * [L * B + H2 * (B+L)] + 41,05 * H3 * L * B + 32,41 * L * B$$

Equação 8.30

$$\text{PAV (Esc. Mecânica)} = 4,026 * \text{Volume Escavado} + (47,1 + 5,1) * \text{Reservatório de brita} + (6,78 + 5,1) * 2 * \text{Área do pavimento e áreas laterais do reservatório de brita} + (38,5 + 5,1 * 0,50) * \text{Volume de areia grossa} + (27,31 + 5,1) * \text{Área do Pavimento}$$

Equação 8.31

$$\text{PAV (Esc. Mecânica)} = 4,026 * H1 * L * B + 52,2 * H2 * L * B + 11,88 * 2 * [L * B + H2 * (B+L)] + 41,05 * H3 * L * B + 32,41 * L * B$$

Equação 8.32

Sendo:

M.O. = Mão de Obra;

H1 = altura total do pavimento [reservatório de brita (H2) + camada filtro de areia grossa (H3) + geotêxtil acima e abaixo do reservatório + blocos vazados], em metros;

L = largura do pavimento, em metros;

B = comprimento do pavimento, em metros;

H2 = altura do reservatório de brita, em metros;

H3 = altura da camada de areia grossa, igual a 0,05 m.

Os índices SINAPI que multiplicam as quantidades foram os seguintes:

- Pedra britada N. 1 OU 19 MM - Código SINAPI I 4721 - R\$ 47,1 por m³
- Areia grossa - Código SINAPI I 367 - R\$ 38,5 por m³
- Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster rt 16 tipo Bidim ou equiv - Código SINAPI I 4019 - R\$ 6,78 por m²
- Bloco de concreto vazado 25 X 25 X 6CM - Código SINAPI I 711 - R\$ 27,31 por m²
- Assentamento de pedra britada, areia, geotêxtil e bloco - ajudante, servente ou operário não qualificado - R\$ 5,1 por hora por m² ou m³. Admitiu-se o tempo de uma hora para o assentamento de cada metro cúbico de brita, cada metro quadrado de bloco vazado e cada

metro quadrado de geotêxtil. Para o assentamento de cada metro cúbico de areia admitiu-se o tempo de 30 minutos (0,50 h).

As equações para a Trincheira de infiltração (TRI) são:

$$\text{TRI} = \text{Escavação (M.O.)} + \text{Pedra britada (material e M.O.)} + \text{Geotêxtil (material e M.O.)} + \text{Poço de observação (material)} \quad \text{Equação 8.33}$$

$$\text{TRI (Esc. Manual)} = 16,575 * \text{Volume Escavado} + (39,4 + 5,1) * \text{Reservatório de brita} + (6,78 + 5,1) * \text{Áreas da trincheira (laterais, topo e base)} + 6,87 * \text{Altura da trincheira} \quad \text{Equação 8.34}$$

$$\text{TRI (Esc. Manual)} = 16,575 * H * L * B + 44,5 * H * L * B + 11,88 * \{2 * [(H * L) + (H * B) + (L * B)]\} + 6,87 * H \quad \text{Equação 8.35}$$

$$\text{TRI (Esc. Mecânica)} = 4,026 * \text{Volume Escavado} + (39,4 + 5,1) * \text{Reservatório de brita} + (6,78 + 5,1) * \text{Áreas da trincheira (laterais, topo e base)} + 6,87 * \text{Altura da trincheira} \quad \text{Equação 8.36}$$

$$\text{TRI (Esc. Mecânica)} = 4,026 * H * L * B + 44,5 * H * L * B + 11,88 * \{2 * [(H * L) + (H * B) + (L * B)]\} + 6,87 * H \quad \text{Equação 8.37}$$

Sendo:

M.O. = Mão de Obra;

H = altura da trincheira, em metros;

L = largura da trincheira, em metros;

B = comprimento da trincheira, em metros.

Os índices SINAPI que multiplicam as quantidades foram os seguintes:

- Pedra britada N. 4 OU 50 MM - limpa Código SINAPI I 4723 - R\$ 39,4 por m³
- Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster rt 16 tipo Bidim ou equiv - Código SINAPI I 4019 - R\$ 6,78 por m²
- Poço de observação tubo PVC p/ esgotamento predial DN 100mm - Perfurado - Código SINAPI I 9836 R\$ 6,87 por m
- Assentamento de pedra britada e geotêxtil - ajudante, servente ou operário não qualificado - R\$ 5.1 por hora por m² ou m³. Admitiu-se uma hora para o assentamento de cada metro cúbico de brita e cada metro quadrado de geotêxtil.

As equações para a Bio-retenção (BIO) são:

$$\text{BIO} = \text{Escavação (M.O.)} + \text{Solo preparado (material e M.O.)} + \text{Vegetação (mudas e plantio)} \quad \text{Equação 8.38}$$

$$\text{BIO (Esc, Manual)} = 16,575 * \text{Volume Escavado} + (57 * 0,9 + 95 * 0,1 + 0,73 + \dots) \quad \text{Equação 8.39}$$

$0,14 + 5,1) * \text{Volume de solo preparado} + (1,72 + 0,7 + 7 + 17,92 + 9,18)$

$$\text{BIO (Esc, Manual)} = 16,575 * H1 * \pi * R^2 + 66,77 * H2 * \pi * R^2 + 36,52 \quad \text{Equação 8.40}$$

$$\text{BIO (Esc, Mecânica)} = 4,026 * \text{Volume Escavado} + (57 * 0,9 + 95 * 0,1 + 0,73 + 0,14 + 5,1) * \text{Volume de solo preparado} + (1,72 + 0,7 + 7 + 17,92 + 9,18) \quad \text{Equação 8.41}$$

$$\text{BIO (Esc, Mecânica)} = 4,026 * H1 * \pi * R^2 + 66,77 * H2 * \pi * R^2 + 36,52 \quad \text{Equação 8.42}$$

Sendo:

M.O. = Mão de Obra;

H1 = altura total da bioretenção (depressão de armazenamento da água e solo preparado), em metros;

R = raio da bioretenção, em metros;

H2 = altura de solo preparado, em metros.

Os índices SINAPI que multiplicam as quantidades foram os seguintes:

- Preparo do solo: terra vegetal - R\$ 57 por m³; adubo orgânica bovino - R\$ 95 por m³; Adubo mineral 10-10-10 NPK - R\$ 0,73 por Kg; calcário dolomítico A - R\$ 0,14 por Kg;
- Ajudante, servente ou operário não qualificado - R\$ 5,1 por hora por m³. Admitiu-se cerca de uma hora para o preparo do solo e seu assentamento por metro cúbico, composto por 90% de terra vegetal e 10% de adubo orgânico, adicionados 1 Kg de adubo mineral e 1 Kg de calcário dolomítico.
- Vegetação: mudas herbáceas da região - R\$ 1,72 por unidade; mudas rasteiras da região - R\$ 0,7 por unidade; mudas arbustivas da região - R\$ 7,0 por unidade; plantio de árvore isolada até 2,00m de alt., de qualquer espécie, em logradouro público - R\$ 17,92 por unidade; plantio de espécies herbáceas e rasteiras - R\$ 4,59 por unidade.

8.6 Anexo 6: Questionário

FASE 1: SEM AJUSTES

Questionário nº: _____

Endereço: _____

Filtro 1: Você mora neste endereço?

Filtro 2: Você recebe mensalmente e é o responsável pelo pagamento da conta de água e esgoto?

DESCRIÇÃO DA DRENAGEM

De forma simples, a drenagem urbana nada mais é do que o planejamento do escoamento da água da chuva no meio urbano. Esse planejamento quando desenvolvido de forma inadequada proporciona perdas econômicas e ambientais, além da deterioração paisagística dos ambientes urbanos com resíduos sólidos e líquidos, por exemplo, o caso do Arroio Dilúvio em Porto Alegre/RS.



Fotos Arroio Dilúvio em Porto Alegre.

Porto Alegre é um dos municípios brasileiros pioneiros na aplicação do controle do escoamento pluvial, por meio de reservatórios de amortecimento (conhecidos também como piscinões). Esta alternativa apresenta resultados satisfatórios na redução de volumes escoados e vazões máximas. Mas, devido à ineficiência dos sistemas de coleta dos resíduos sólidos e líquidos e seus resultantes acúmulos, ocorrem problemas relacionados à saúde pública.



Exemplos de reservatórios de amortecimento (piscinões).

Existe uma outra forma de planejar a drenagem urbana, chamada de planejamento sustentável do sistema de drenagem. Este planejamento procura tornar o caminho percorrido pela água o mais próximo possível da percepção das pessoas em contraposição à utilização de condutos e reservatórios, incentivando o emprego de técnicas que imitem o fluxo natural da água, controlando o excesso de escoamento gerado. Com a implantação deste planejamento são obtidos diversos benefícios à comunidade e à prefeitura, dos quais destacam-se:

- Redução de custos com canalizações;
- Ganho de espaço para recreação;
- Elevação do valor de mercado de imóveis.



Fotos planejamento sustentável da drenagem urbana.

O planejamento sustentável da drenagem urbana não é aplicado no Brasil principalmente devido:

- Falta de conhecimento técnico atualizado dos decisores e engenheiros;
- Falta de interesse em soluções mais econômicas por parte dos empreiteiros devido aos ganhos econômicos;
- As entidades de financiamento nacional e internacional nem sempre estão atualizadas.

Atualmente no país e, em especial, em Porto Alegre, há um impulso para a aplicação deste planejamento em escala de terrenos urbanos, por meio do uso de diversos dispositivos, como as trincheiras de infiltração, microrreservatórios e pavimentos permeáveis. Porto Alegre possui uma legislação que institui este controle. Além disso, discute-se a criação de uma taxa pelo serviço de drenagem urbana prestado pelo município, já existente em outros municípios do Brasil e que, brevemente, será realidade em Porto Alegre.

Resumindo:

- Existem problemas relacionados a drenagem urbana em Porto Alegre (inundações, alagamentos e contaminação com lixo e esgoto doméstico);
- A melhor solução envolve o uso de dispositivos de controle em escala de lote urbano (terreno);
- Em breve, será cobrado dos proprietários de lotes pelo escoamento gerado e quem controlar este escoamento não pagará.

Admitindo o que foi apresentado, pergunta-se:

P1. (Todos) Considerando seus gastos e das pessoas que moram com você e, supondo que o governo municipal com certeza utilizaria a verba para ações que visam solucionar os problemas da drenagem urbana (inundações, alagamentos e contaminação com lixo e esgoto doméstico), quanto a mais por mês, em reais (R\$), o(a) Sr.(a) estaria disposto(a) a pagar em sua conta de água e esgoto para a prefeitura controlar de forma sustentável o escoamento pluvial urbano?

Valor: R\$ _____;

Caso o respondente não esteja disposto a pagar, ir para a P4.

P2. (Para quem respondeu que pagaria alguma quantia na P1) Considerando que é possível o(a) Sr.(a) controlar o escoamento gerado em sua residência e desta forma não pagar nada à prefeitura, o(a) Sr.(a) utilizaria o controle?

- Sim;
- Talvez, depende do custo de controlar na residência;
- Não.

P3. (Para quem respondeu “Talvez” ou “Não” na P2) Caso a prefeitura estabeleça um valor a ser pago devido ao uso do sistema de drenagem maior ao valor que o(a) Sr.(a) gastaria para controlar o escoamento gerado em sua residência, o(a) Sr.(a) utilizaria o controle?

- Sim;
- Não.

P4. (Todos) Admitindo que a prefeitura pague uma quantia (um percentual ou o valor total) para o(a) Sr.(a) controlar o escoamento da sua residência e com isso não precise pagar nada à prefeitura, o(a) Sr.(a) adotaria o controle?

- Sim;
- Não. Caso responda “Não” ir para P6.

P4a. Caso o(a) Sr.(a) tenha respondido positivamente às perguntas **P1** e **P4**, escolha: o(a) Sr.(a) prefere pagar para a prefeitura realizar o controle ou prefere receber e controlar (ou seja, não pagar)?

- Pagar para a prefeitura controlar – DAP;
- Receber e controlar – DAR.

P4b. Caso o(a) Sr.(a) tenha respondido “b) Receber e controlar – DAR” na pergunta **P4a**, quanto gostaria de receber para controlar no seu lote?
Valor: _____% do valor que eu investiria.

P5. (Para quem respondeu positivamente a P1 e P4) Qual destas frases representa melhor o motivo para o(a) Sr.(a) ter essa DAP ou DAR para controlar a drenagem urbana?

- pela pura existência de um ambiente saudável, não poluído ou mais próximo ao natural, mesmo que isso não traga nenhum benefício atual ou futuro para o(a) Sr.(a) e mesmo que não gere nenhum valor econômico para a sociedade ou país;
- O(a) Sr.(a), sua família e todos os seres humanos podem ser beneficiados, mesmo que seja só no futuro, com a manutenção de um ambiente natural;
- O(a) Sr.(a) e sua família podem desfrutar do prazer de uma vista agradável e/ou ter lucros econômicos em função da proximidade de sua propriedade à um ambiente preservado;
- Outros – especifique:

- Não sabe.

P6. (Para quem respondeu “Não” a P1 e P4) Caso o(a) Sr.(a) não queira ou não aceite pagar o controle do escoamento pluvial a ser desenvolvido pela prefeitura ou mesmo não concorde em controlar o volume gerado na sua residência, assinalar o quanto o(a) Sr.(a) concorda com as afirmações a seguir que justificam sua posição.

Protesto 1: É injusto eu gastar mais para o controle dos problemas de drenagem urbana, pois já pago impostos.

- [1] Discordo totalmente
- [2] Discordo em parte
- [3] Indiferente
- [4] Concordo em parte
- [5] Concordo totalmente
- [6] Não sei

Protesto 2: O Governo deve utilizar as receitas existentes para pagar o controle das águas pluviais, evitando o desperdício do dinheiro público.

- [1] Discordo totalmente
- [2] Discordo em parte
- [3] Indiferente
- [4] Concordo em parte
- [5] Concordo totalmente
- [6] Não sei

Protesto 3: É o meu direito ter o serviço de drenagem urbana prestado eficientemente, independente de eu pagar ou não, e não devo gastar a mais por isso.

- [1] Discordo totalmente
- [2] Discordo em parte
- [3] Indiferente
- [4] Concordo em parte
- [5] Concordo totalmente
- [6] Não sei

Protesto 4: Caso o dinheiro fosse recolhido, eu não acredito que seria gasto para resolver os problemas da drenagem urbana.

- [1] Discordo totalmente
- [2] Discordo em parte
- [3] Indiferente
- [4] Concordo em parte
- [5] Concordo totalmente
- [6] Não sei

P7. (Todos) Qual o grau de preocupação que o(a) Sr.(a) acredita possuir com relação à preservação do meio ambiente?

- [1] Nada preocupado
- [2] Pouco preocupado
- [3] Indiferente
- [4] Relativamente preocupado
- [5] Muito preocupado
- [6] Não sei

P8. (Todos) Qual o grau de conhecimento que o(a) Sr.(a) acredita possuir sobre os problemas de drenagem urbana que ocorrem no seu bairro?

- [1] Desconheço
- [2] Conheço em parte
- [3] Indiferente
- [4] Conheço
- [5] Conheço totalmente
- [6] Não sei

P9. (Todos). O(a) Sr.(a) é ciente que a impermeabilização do seu terreno proporciona a

formação de escoamento que a prefeitura deve controlar, investindo em obras de controle em regiões topograficamente mais abaixo da sua residência?

- a) sim;
- b) não.

P10. O(a) Sr.(a) conhece as legislações municipais a respeito da drenagem urbana?

- a) sim;
- b) não.

P11. O(a) Sr.(a) investiria em um sistema sustentável de drenagem no seu imóvel caso?

- a) após notificação municipal;
- b) para atender a legislação;
- c) espontaneamente;
- d) por pressão da comunidade / sociedade;
- e) o responsável técnico do empreendimento proponha um investimento;
- f) não investiria.

P12. O(a) Sr.(a) conhece algum reservatório de amortecimento implantado pela prefeitura ou iniciativa privada próximo a sua residência?

- a) sim;
- b) não;
- c) não sei.

P13. (Para quem respondeu “Sim” na P12) O que o(a) Sr.(a) acha do controle realizado por reservatórios de amortecimento?

- a) muito bom: proporciona uma redução dos locais de alagamentos nas cidades sem modificar minha residência;
- b) bom: resolve parcialmente os problemas de alagamentos;
- c) regular: sou indiferente;
- d) ruim: resolve parcialmente os problemas de alagamentos e ainda causa mau cheiro;
- e) péssimo: não resolve os problemas de alagamentos, causa mau cheiro e utiliza uma área inadequada.
- f) Outro, especifique: _____

Perguntas sócio-econômicas

P14. Somando o seu salário e outras rendas com salários e as rendas de pessoas que moram com o(a) Sr.(a), qual a renda média mensal de sua família? R\$ _____.

P15. Em média, quanto, em reais, a família, somando todos que moram nesta casa, gasta por mês com água? R\$ _____.

P16. Qual a sua idade? _____.

P17. Qual a sua escolaridade?

- a) Ensino Superior;
- b) Ensino Médio;
- c) Ensino Fundamental.

P18. Qual o seu gênero?

- a) Masculino;
- b) Feminino.

FASE 2: DEFINITIVO

FILTRO: O(a) Sr.(a) é o(a) responsável pelo pagamento da conta de água e esgoto nesse imóvel? _____.

POR FAVOR, SÓ RESPONDA AS PERGUNTAS EM CASO AFIRMATIVO.

Endereço completo: _____

DESCRIÇÃO DA DRENAGEM URBANA

De forma simples, a drenagem urbana nada mais é do que o planejamento do escoamento da água da chuva no meio urbano. Esse planejamento é feito pela prefeitura e quando desenvolvido de forma inadequada proporciona perdas econômicas e de vidas, devido às inundações e alagamentos, além da deterioração ambiental com o lixo e o esgoto sanitário.



Alagamento na Avenida Goethe – Porto Alegre.



Lixo e esgoto sanitário nos Arroios Capivara (esquerda) e Dilúvio (direita) – Porto Alegre.

Porto Alegre é um dos municípios brasileiros pioneiros na aplicação do controle do escoamento pluvial por meio de reservatórios de amortecimento (conhecidos também como piscinões). Essa alternativa apresenta resultados satisfatórios na redução de volumes da água de chuva escoados. Mas, devido à ineficiência dos sistemas de coleta do lixo e do esgoto sanitário, ocorrem problemas relacionados à saúde pública.



Reservatório de amortecimento (piscinão) – Porto Alegre.



Acúmulo de lixo e esgoto sanitário em reservatório de amortecimento (piscinão) – São Paulo.

Existe outra forma de planejar a drenagem urbana, chamada de planejamento sustentável do sistema de drenagem. Esse planejamento procura tornar o caminho percorrido pela água o mais próximo possível da percepção das pessoas em contraposição à utilização de condutos e reservatórios. É incentivado o uso de vários dispositivos individuais de controle da água da chuva, em lotes urbanos (terrenos), como os pavimentos permeáveis, os microrreservatórios, as trincheiras de infiltração e os telhados verdes, demonstrados a seguir:



Pavimento permeável em um estacionamento (esquerda) e microrreservatório em uma residência (direita).



Telhados verdes em residências.



Trincheira de infiltração associada a um jardim em uma residência.

Com a implantação desse planejamento são obtidos diversos benefícios à comunidade e à prefeitura, dos quais se destacam:

- Redução de custos com canalizações e grandes reservatórios;
- Ganho de espaço para recreação;
- Elevação do valor de mercado de imóveis.

Atualmente no país e, em especial, em Porto Alegre, há um impulso para a aplicação desse planejamento em escala de lotes urbanos (terrenos). Além disso, discute-se a criação de uma taxa pelo serviço de drenagem urbana prestado pelo município, como forma de incentivo à implantação dos dispositivos individuais de controle do escoamento pluvial nos lotes. Essa taxa já existe em outros municípios do Brasil e, brevemente, será realidade em Porto Alegre.

Resumindo:

- Existem problemas relacionados à drenagem urbana em Porto Alegre (inundações, alagamentos e contaminação com lixo e esgoto sanitário);
- A melhor solução envolve o uso de dispositivos de controle da água da chuva em escala de lote urbano (terreno);
- Em breve, será cobrado dos proprietários dos imóveis pelo escoamento da água da chuva gerado no seu lote e quem controlar esse escoamento não pagará a taxa cobrada.

PERGUNTAS

Admitindo o que foi apresentado e sabendo que se trata de uma **situação provável para o município de Porto Alegre, mas, imaginária, sendo que a cobrança não vai ser feita agora e sua identidade não será revelada**, pergunta-se (**por favor, escolha apenas uma resposta em cada pergunta**):

P1. Qual o grau de preocupação que o(a) Sr.(a) acredita possuir com relação à preservação do meio ambiente?

- a) Muito baixo;
- b) Baixo;
- c) Médio;
- d) Alto;
- e) Muito alto.

P2. Qual dessas frases representa melhor o motivo para o(a) Sr.(a) se preocupar com o escoamento da água da chuva?

- a) Pela pura existência de um ambiente próximo ao natural;
- b) O(a) Sr.(a), sua família e as outras pessoas podem ser beneficiados, mesmo que seja só no futuro, com a manutenção de um ambiente natural e sem riscos de alagamentos;
- c) O(a) Sr.(a) e sua família podem desfrutar do prazer de uma vista agradável, ter lucros econômicos ou mesmo não ter prejuízos em função

- da proximidade de sua propriedade à um ambiente preservado e sem riscos de alagamentos;
- d) Não tenho essa preocupação;
- e) Não sei.

P3. O(a) Sr.(a) tem conhecimento de que a construção do seu imóvel proporciona o aumento do escoamento da água da chuva e que a prefeitura deve investir em obras de controle desse escoamento em locais de níveis mais baixos?

- a) Sim;
- b) Não.

P4. Complete a frase: “Eu investiria em obras de controle do escoamento da água da chuva no meu imóvel (lote/terreno):...

- a) após notificação municipal”;
- b) por pressão da comunidade / sociedade”;
- c) espontaneamente”;
- d) caso existisse uma redução dos custos para a construção do controle ou do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU)”;
- e) caso existisse uma taxa pelo escoamento”;
- f) caso o responsável técnico (engenheiro/arquiteto) da minha obra proponha”;
- g) nunca”.

P5. O(a) Sr.(a) estaria disposto(a) a pagar uma quantia a mais em sua conta de água e esgoto (todo o mês) para a prefeitura controlar o escoamento da água da chuva próximo ao seu imóvel e assim resolver os problemas atuais ou futuros?

- a) Sim. Quanto?
 - i) R\$ 0,01 a R\$ 10 – valor? R\$ _____;
 - ii) R\$ 10,01 a R\$ 20 – valor? R\$ _____;
 - iii) R\$ 20,01 a R\$ 30 – valor? R\$ _____;
 - iv) R\$ 30,01 a R\$ 40 – valor? R\$ _____;
 - v) R\$ 40,01 a R\$ 50 – valor? R\$ _____;
 - vi) Outro valor: R\$ _____.

- b) Não.

P6. Agora, admitindo que a prefeitura pague uma quantia ou reduza o IPTU para o(a) Sr.(a) controlar o escoamento da água da chuva gerado no seu imóvel, e com isso não precise pagar nada à prefeitura, o(a) Sr.(a) adotaria o controle?

a) Sim. Quanto gostaria de receber para construir o controle no seu imóvel (lote/terreno)? O controle apresenta custo variável de acordo com o tamanho e ocupação do lote, de R\$ 250,00 até R\$ 10.000,00.

- i) 25% do valor que eu investiria;
 - ii) 50% do valor que eu investiria;
 - iii) 75% do valor que eu investiria;
 - iv) 100% do valor que eu investiria;
 - v) 125% do valor que eu investiria;
 - vi) Outro valor: _____% do valor que eu investiria.
- b) Não.

P7. Caso o(a) Sr.(a) tenha respondido “Sim” às perguntas P5 e P6, por favor, responda: o(a) Sr.(a) prefere pagar para a prefeitura realizar o controle ou prefere receber e controlar?

- a) Pagar para a prefeitura controlar;
- b) Receber e controlar.

P8. Por favor, assinale o quanto o(a) Sr.(a) concorda com as afirmações a seguir:

Afirmação 1: É meu direito ter o serviço de drenagem urbana prestado eficientemente, independente de eu pagar ou receber, pois já pago impostos suficientes para a prefeitura municipal.

- a) Discordo totalmente
- b) Discordo em parte
- c) Nem concordo nem discordo
- d) Concordo em parte
- e) Concordo totalmente

Afirmação 2: Caso o dinheiro fosse recolhido, eu não acredito que seria gasto para resolver os problemas do escoamento da água da chuva.

- a) Discordo totalmente
- b) Discordo em parte
- c) Nem concordo nem discordo
- d) Concordo em parte
- e) Concordo totalmente

P9. Ocorrem alagamentos próximos ao seu imóvel?

- a) Sim – quase sempre que ocorre uma chuva;
- b) Sim – algumas vezes ao ano;
- c) Não – mas já ocorreu no passado;
- d) Não – nunca ocorreu;
- e) Não sei.

P10. O(a) Sr.(a) já teve algum prejuízo financeiro ou de saúde ou teve que fazer alguma obra de proteção no seu imóvel devido aos alagamentos?

- a) Sim. Cite: _____

- b) Não – mas tenho receio/medo que aconteça;
- c) Não.

P11. O(a) Sr.(a) conhece algum reservatório de amortecimento (piscinão) projetado ou em construção ou construído próximo ao seu imóvel?

- a) Sim;
- b) Não.

P11-a. Caso o(a) Sr.(a) tenha respondido “Sim” à pergunta P11, por favor, responda: o que o(a) Sr.(a) acha do controle realizado por reservatórios de amortecimento (piscinões)?

- a) Péssimo;
- b) Ruim;
- c) Regular;
- d) Bom;

e) Ótimo;

f) Não sei.

Justifique sua opinião: _____

P12. O esgoto gerado no seu imóvel é coletado e/ou tratado pela prefeitura de Porto Alegre? Ou seja, o(a) Sr.(a) paga uma taxa relacionada ao esgoto?

- a) Sim;
- b) Não;
- c) Não sei.

P12-a. Caso o(a) Sr.(a) tenha respondido “Não” ou “Não sei” à pergunta P12, por favor, responda:

Admitindo que a prefeitura dê um incentivo financeiro para o(a) Sr.(a) ligar (conectar) o seu imóvel ao sistema municipal de coleta e tratamento dos efluentes domésticos, o(a) Sr.(a) faria tal ligação?

Esse incentivo financeiro será na forma de redução da taxa de ligação e/ou redução da conta mensal.

- a) Sim;
- b) Não.

P13. O lixo produzido em seu imóvel é coletado pela prefeitura de Porto Alegre? Ou seja, o(a) Sr.(a) paga uma taxa relacionada ao lixo?

- a) Sim;
- b) Não.
- c) Não sei.

P13-a. Caso o(a) Sr.(a) tenha respondido “Não” ou “Não sei” à pergunta P13, por favor, responda:

Admitindo que a prefeitura dê um incentivo financeiro para o(a) Sr.(a) usar o serviço de coleta municipal, o(a) Sr.(a) utilizaria?

Esse incentivo financeiro será na forma de cestas básicas e/ou vales transportes e/ou redução da conta mensal.

- a) Sim;
- b) Não.

Perguntas sócio-econômicas

P14. Qual o seu gênero (sexo)?

- a) Masculino;
- b) Feminino.

P15. Qual a sua idade? _____.

P16. Qual a sua escolaridade?

- a) Ensino Fundamental (completo ou incompleto);
- b) Ensino Médio (completo ou incompleto);
- c) Ensino Superior (completo ou incompleto).

8.7 Anexo 7: Tabelas de apoio

Tabela 8.3. Parâmetro CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.12).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤150	Lote 150<x≤300	Lote 300<x≤600	Lote 600<x≤900	Lote 900<x≤1200	Lote >1200
Polônia	Natural	72,12	73,10	72,30	72,91	71,77	71,04
	Atual	93,46	93,38	92,63	92,48	90,12	86,94
	LID	84,94	82,85	83,07	83,48	81,74	81,62
Frei Germano	Natural	76,44	74,31	74,48	74,41	76,74	77,37
	Atual	93,90	92,99	92,32	90,83	90,72	91,32
	LID	91,78	89,15	86,26	87,33	88,54	88,95
Joaquim Leite	Natural	-	70,56	69,50	66,67	67,41	66,10
	Atual	-	93,58	92,98	90,28	87,73	84,49
	LID	-	82,42	83,44	83,48	81,49	81,92

Tabela 8.4. Variação no CN médio para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.13).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤150	Lote 150<x≤300	Lote 300<x≤600	Lote 600<x≤900	Lote 900<x≤1200	Lote >1200
Polônia	Atual - Natural	21,34	20,28	20,33	19,57	18,35	15,91
	Atual - LID	8,52	10,52	9,55	9,00	8,38	5,32
Frei Germano	Atual - Natural	17,46	18,68	17,85	16,42	13,98	13,95
	Atual - LID	2,12	3,84	6,06	3,50	2,18	2,37
Joaquim Leite	Atual - Natural	-	23,02	23,48	23,61	20,32	18,40
	Atual - LID	-	11,16	9,54	6,80	6,25	2,57

Tabela 8.5. Volumes escoados (m³) para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.16).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤150	Lote 150<x≤300	Lote 300<x≤600	Lote 600<x≤900	Lote 900<x≤1200	Lote >1200
Polônia	Natural	0,21	0,57	1,46	2,33	2,51	4,34
	Atual	3,24	6,72	11,44	19,98	26,23	42,32
	LID	1,14	1,85	3,17	6,50	7,27	13,92
Frei Germano	Natural	1,77	3,07	5,30	9,59	15,81	54,15
	Atual	4,48	8,46	14,05	23,13	34,90	122,87
	LID	3,69	4,82	8,17	16,38	25,42	90,92
Joaquim Leite	Natural	-	2,19	3,46	4,53	7,15	15,88
	Atual	-	10,60	16,77	25,37	31,98	94,21
	LID	-	4,12	7,21	12,07	14,38	59,07

Tabela 8.6. Vazões específicas ($m^3/s/Km^2$) para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.17).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤ 150	Lote $150 < x \leq 300$	Lote $300 < x \leq 600$	Lote $600 < x \leq 900$	Lote $900 < x \leq 1200$	Lote > 1200
Polônia	Natural	0,42	0,48	0,78	0,72	0,55	0,51
	Atual	6,06	5,97	5,71	5,70	4,96	3,95
	LID	2,12	1,58	1,85	1,33	1,53	1,65
Frei Germano	Natural	2,60	2,29	2,25	2,18	2,63	2,55
	Atual	8,42	8,19	7,96	7,39	7,36	7,60
	LID	6,51	4,29	4,29	4,86	5,29	5,48
Joaquim Leite	Natural	-	1,67	1,49	1,03	1,16	0,97
	Atual	-	8,44	8,24	7,45	6,59	5,64
	LID	-	3,28	3,19	3,55	2,96	3,19

Tabela 8.7. Aumento dos volumes escoados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (Referente à Figura 5.18)

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤ 150	Lote $150 < x \leq 300$	Lote $300 < x \leq 600$	Lote $600 < x \leq 900$	Lote $900 < x \leq 1200$	Lote > 1200
Polônia	Atual/Natural	15,66	11,86	7,83	8,56	10,47	9,76
	Atual/LID	2,85	3,63	3,60	3,07	3,61	3,04
Frei Germano	Atual/Natural	2,53	2,75	2,65	2,41	2,21	2,27
	Atual/LID	1,21	1,75	1,72	1,41	1,37	1,35
Joaquim Leite	Atual/Natural	-	4,85	4,84	5,61	4,48	5,93
	Atual/LID	-	2,57	2,33	2,10	2,22	1,59

Tabela 8.8. Aumento das vazões específicas para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.19).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤ 150	Lote $150 < x \leq 300$	Lote $300 < x \leq 600$	Lote $600 < x \leq 900$	Lote $900 < x \leq 1200$	Lote > 1200
Polônia	Atual/Natural	14,41	12,34	7,33	7,95	8,99	7,81
	Atual/LID	2,85	3,77	3,08	4,28	3,25	2,40
Frei Germano	Atual/Natural	3,24	3,58	3,53	3,39	2,80	2,99
	Atual/LID	1,29	1,91	1,85	1,52	1,39	1,39
Joaquim Leite	Atual/Natural	-	5,07	5,52	7,23	5,69	5,80
	Atual/LID	-	2,57	2,58	2,10	2,22	1,76

Tabela 8.9. Vazões máximas (L/s) para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.20).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤ 150	Lote $150 < x \leq 300$	Lote $300 < x \leq 600$	Lote $600 < x \leq 900$	Lote $900 < x \leq 1200$	Lote > 1200
Polônia	Natural	0,19	0,43	1,19	1,60	1,73	2,88
	Atual	3,76	7,67	13,24	22,16	25,16	35,25
	LID	1,22	1,84	3,13	6,33	6,64	12,27
	Lei	0,25	0,52	0,93	1,62	2,26	4,22
Frei Germano	Natural	1,81	2,91	5,02	8,54	15,23	48,15
	Atual	6,65	12,60	20,44	32,32	45,92	154,66
	LID	5,17	6,37	9,92	18,14	29,80	92,18
	Lei	0,26	0,52	0,88	1,56	2,22	7,67
Joaquim Leite	Natural	-	2,10	2,96	3,37	5,88	16,58
	Atual	-	14,48	22,65	33,14	43,11	116,41
	LID	-	4,76	9,13	14,48	16,01	56,99
	Lei	-	0,58	0,94	1,57	2,24	8,55

Tabela 8.10. Volumes de controle do escoamento pluvial (m³) calculados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.21).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤150	Lote 150<x≤300	Lote 300<x≤600	Lote 600<x≤900	Lote 900<x≤1200	Lote >1200
Polônia	Lei	3,83	7,82	12,96	22,60	31,16	48,67
	Pós-controle	3,03	6,16	9,98	17,65	23,73	37,98
	Pré-controle	0,93	1,29	1,51	4,17	4,77	9,59
	Envelope	4,37	9,27	14,59	25,59	35,38	59,32
Frei Germano	Lei	3,84	7,36	11,80	18,11	25,38	91,45
	Pós-controle	2,71	5,39	8,76	13,54	19,10	68,72
	Pré-controle	1,92	1,75	2,87	6,79	9,61	36,78
	Envelope	5,59	11,06	18,04	28,30	40,35	147,93
Joaquim Leite	Lei	-	8,81	13,85	20,90	24,78	74,39
	Pós-controle	-	8,42	13,31	20,84	24,84	78,33
	Pré-controle	-	1,94	3,74	7,55	7,23	43,19
	Envelope	-	12,57	16,08	29,52	37,26	126,72

Tabela 8.11. Diminuição percentual de volumes escoados entre o Pré e Pós-controles para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.22).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤150	Lote 150<x≤300	Lote 300<x≤600	Lote 600<x≤900	Lote 900<x≤1200	Lote >1200
Polônia	Lei	71,14%	84,50%	55,11%	54,68%	79,31%	81,15%
	Natural	54,41%	81,93%	59,58%	54,68%	69,79%	71,92%
Frei Germano	Lei	27,00%	54,39%	19,98%	46,81%	43,67%	28,11%
	Natural	33,83%	66,04%	40,67%	49,24%	52,41%	45,71%
Joaquim Leite	Lei	-	63,30%	48,07%	57,37%	60,06%	29,20%
	Natural	-	73,72%	70,08%	62,48%	69,87%	43,38%

Tabela 8.12. Volumes de controle do escoamento pluvial (m³) simulados para os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.23).

Micro-bacia	Cenário	Lote ≤150	Lote 150<x≤300	Lote 300<x≤600	Lote 600<x≤900	Lote 900<x≤1200	Lote >1200
Polônia	Pós-cont Lei	3,47	6,45	9,36	16,55	24,16	42,45
	Pós-cont Nat	3,29	6,70	8,16	16,55	24,83	44,51
	Pré-cont Lei	1,00	1,00	4,20	7,50	5,00	8,00
	Pré-cont Nat	1,50	1,21	3,30	7,50	7,50	12,50
Frei Germano	Pós-cont Lei	4,62	8,77	15,62	22,56	33,28	111,28
	Pós-cont Nat	3,40	5,75	10,11	15,76	21,01	73,68
	Pré-cont Lei	3,38	4,00	12,50	12,00	18,75	80,00
	Pré-cont Nat	2,25	1,95	6,00	8,00	10,00	40,00
Joaquim Leite	Pós-cont Lei	-	10,90	15,41	23,46	31,30	90,40
	Pós-cont Nat	-	8,56	13,37	21,32	24,89	84,77
	Pré-cont Lei	-	4,00	8,00	10,00	12,50	64,00
	Pré-cont Nat	-	2,25	4,00	8,00	7,50	48,00

Tabela 8.13. Variação percentual entre os controles simulados e calculados do escoamento pluvial para os Pré e Pós-controle, de acordo com os estratos dos lotes nas micro-bacias (referente à Figura 5.24).

Micro-bacia	Cenário	Lote <=150	Lote 150<x<=300	Lote 300<x<=600	Lote 600<x<=900	Lote 900<x<=1200	Lote >1200
Polônia	Pós-cont Lei	14,21%	4,79%	-6,24%	-6,21%	1,84%	11,76%
	Pós-cont Nat	8,44%	8,82%	-18,19%	-6,21%	4,63%	17,19%
	Pré-cont Lei	7,64%	-22,30%	177,78%	80,03%	4,93%	-16,54%
	Pré-cont Nat	61,46%	-5,98%	118,25%	80,03%	57,40%	30,40%
Frei Germano	Pós-cont Lei	70,84%	62,86%	78,43%	66,62%	74,30%	61,93%
	Pós-cont Nat	25,67%	6,80%	15,51%	16,40%	10,05%	7,22%
	Pré-cont Lei	75,60%	128,70%	335,39%	76,83%	95,13%	117,54%
	Pré-cont Nat	17,07%	11,67%	108,99%	17,89%	4,07%	8,77%
Joaquim Leite	Pós-cont Lei	-	29,47%	15,73%	12,54%	26,03%	15,41%
	Pós-cont Nat	-	1,70%	0,43%	2,30%	0,24%	8,23%
	Pré-cont Lei	-	106,50%	113,68%	32,52%	72,84%	48,19%
	Pré-cont Nat	-	16,16%	6,84%	6,02%	3,71%	11,14%

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)