



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

FABIANE ANDRESSA TASCA GOERL

**Proposição de uma Taxa de Manejo de Águas Pluviais Urbanas
para Bacias Hidrográficas**

FLORIANÓPOLIS

2023

Fabiane Andressa Tasca Goerl

**Proposição de uma Taxa de Manejo de Águas Pluviais Urbanas
para Bacias Hidrográficas**

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Ambiental

Orientadora: Profa. Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Goerl, Fabiane Andressa Tasca

Proposição de uma Taxa de Manejo de Águas Pluviais Urbanas para Bacias Hidrográficas / Fabiane Andressa Tasca Goerl ; orientadora, Alexandra Finotti, 2023. 183 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Áreas impermeáveis diretamente conectadas. 3. Financiamento das águas pluviais. 4. Regulação das águas pluviais. 5. Sustentabilidade financeira. I. Finotti, Alexandra . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Fabiane Andressa Tasca Goerl

**Proposição de uma Taxa de Manejo de Águas Pluviais Urbanas para Bacias
Hidrográficas**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 28 de fevereiro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Ademir Pacelli Barbassa, Dr.
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Profa. Patrícia Kazue Uda, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Engenharia Ambiental

Profa. Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.
Orientadora
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação

Florianópolis, 2023.

Ao meu amado pai João, que sempre me incentivou nos estudos.
Ao meu marido Roberto, pela paciência e amor nesta jornada.
Ao meu filho Francisco, ainda no ventre, que me fortaleceu no encerramento
deste ciclo.

AGRADECIMENTOS

Ao Dono de toda ciência, sabedoria e poder, minha gratidão por tudo.

Ao meu marido Roberto por todo o auxílio e incentivo na pesquisa, desde a definição do tema, ajuda com geoprocessamento, idas à campo, compreensão nas minhas ausências, divisões desiguais nas tarefas do lar - ficando com a maior parte para que eu pudesse me dedicar à pesquisa - e incentivo para que eu finalizasse os estudos.

Às minhas colegas do LAUTEC, Jak, Aline e Nívea, agradeço pela parceria, bons momentos e força nos momentos mais difíceis.

À profa. Alexandra, pelas orientações ao longo do caminho.

Aos meus colegas da Universidade Corporativa da CASAN, pelo apoio e incentivo na parte final desta tese.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo apoio financeiro nos dois primeiros anos da pesquisa.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Nesta pesquisa foi desenvolvida uma taxa de manejo de águas pluviais urbanas para financiar estes serviços em bacias hidrográficas. A drenagem urbana é gerenciada pelas prefeituras municipais e, em virtude de outras prioridades da administração aliadas à crescente restrição orçamentária, acabam relegadas pelos gestores. Uma taxa pluvial constitui um instrumento que fornece a independência financeira e gerencial dos setores responsáveis por ela, contribuindo para que o serviço seja priorizado e aplicado. A cobrança proposta possui dois componentes, uma taxa de cobrança de operação e manutenção (O&M) dos sistemas e uma taxa relacionada aos investimentos em ações de Plano de Drenagem na bacia. Para a cobrança de O&M, adaptou-se o método da Unidade Residencial Equivalente (ERU), principal método utilizado nos Estados Unidos, no qual se substituiu as Áreas Impermeáveis Totais (AIT) pelas estimativas das Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas (AIDC). Estas áreas são aquelas que, de fato, drenam para o sistema público, carreando poluição para as águas receptoras. Assim, a cobrança considera a conectividade hidráulica urbana em nível de bacia aplicada na escala de lote. Não existe um método preciso para determinação da AIDC, sendo o seu estudo uma das principais lacunas da ciência hidrológica. Apesar disso, o seu uso no lugar da AIT, parâmetro que é comumente usado nas taxas de drenagem, torna a cobrança mais justa, utilizando a estimativa do volume que é demandado para o sistema público. Já a taxa de investimentos constitui-se em um método já existente, o de Tucci (2002), que consiste em um rateio para implementação das obras de plano de drenagem. Ambas cobranças foram simuladas para a sub-bacia hidrográfica do Córrego Grande, localizada na cidade de Florianópolis/Santa Catarina. Esta bacia possui uma grande população flutuante e considerável urbanização, exercendo uma forte pressão nos recursos hídricos existentes. A taxa de O&M foi simulada para todos os 474 lotes considerados conectados ao sistema público e a AIDC foi analisada por estratos de ocupação, prevendo-se comportamento hidrológico semelhante. Acrescentou-se um estrato ao Poder Público, caracterizado por estradas e calçadas, também simulando uma taxa para esta classe. Para estimativa da AIDC, fez-se uma junção de técnicas SIG, por meio do Google Street View e Google Earth, e por visita *in loco*, para validar as suposições utilizadas por SIG. A relação final da AIDC compõe uma média estimada a partir da junção de ambos os métodos. Como resultado, observou-se que as AIDCs residenciais diminuíram à medida que o tamanho do lote aumentava, mas a maior contribuição provém de estradas e calçadas com meio fio, representando 32,8% da AIDC total. A média global da relação AIDC/AIT para a área de estudo correspondeu a 51% por meio de técnicas SIG e 47% após os ajustes de campo. O método SIG tendeu a superestimar a AIDC em apenas 4%. Os resultados denotam que, para estratos com poucos lotes, todos os lotes devem ser vistoriados *in loco*. Para os demais, as diferenças percentuais foram baixas, mostrando que a junção de técnicas SIG pode ser uma boa alternativa às vistorias *in loco*, reduzindo-se tempo, recursos humanos e financeiros. A Unidade Residencial Conectada (URC) foi equivalente a 172,46m², o que equivale a R\$ 139,07 por ano para os lotes com essa medida de conectividade. Este valor equivale a R\$0,81 por m², valor inferior aos praticados em nível internacional (que utilizam a AIT como base da cobrança). Na comparação com outras equações empíricas, os resultados foram mais próximos das equações de Laenen (1983), com uma diferença de 10%. Contudo, nenhuma relação direta pode ser ainda estabelecida entre ambos os métodos. Estas comparações mostraram que a AIDC não pode ser prevista com precisão a partir de relações empíricas existentes. Com o método de O&M proposto, todos os custos são recuperados. Já a outra parcela da taxa, o custo de investimento, cobre 79% dos custos. Para os lotes com algum tipo de ocupação, a taxa média de investimento é de R\$ 2,68 por m² de área do lote, enquanto os lotes vagos possuem uma taxa média de R\$ 0,88 por m² de área. O peso maior desta cobrança recai na parcela de investimento, sendo

responsável por 94% do total da taxa. As taxas de investimento foram consideradas inacessíveis (> 0,75% da renda mensal domiciliar). Para torna-las acessíveis, as ações do Plano de drenagem devem ser divididas em um período maior de execução, cobradas em momentos distintos ou ter um aporte inicial maior por parte do Poder Público. Nesta pesquisa considerou-se todas as ações em um único ano de execução. As taxas de O&M, em geral, mostraram-se acessíveis à população. Os gestores podem optar por aplicar apenas um tipo de cobrança, a depender do impacto financeiro aos contribuintes e de sua realidade local. A aplicação das duas parcelas de cobrança de uma taxa de drenagem mostraram-se factíveis, sendo a parcela de O&M com valores considerados acessíveis e de baixo custo, além do método ser considerado justo, enquanto a parcela de investimento precisa ser melhor planejada para ser também acessível. O método pode ser replicado para qualquer bacia hidrográfica, contribuindo na resolução dos problemas causados pela ausência de gestão financeira dos serviços de águas pluviais.

Palavras-chave: áreas impermeáveis diretamente conectadas; financiamento das águas pluviais; regulação das águas pluviais; sustentabilidade financeira.

ABSTRACT

In this research, an urban stormwater management fee was developed to finance these services in watersheds. Urban stormwater is managed by municipal governments and, due to other priorities of the administration combined with growing budget restrictions, they end up being relegated by managers. A stormwater fee constitutes an instrument that provides financial and managerial independence of the sectors responsible for it, contributing for this service to be prioritized and applied. The proposed charge has two components, a fee for operation and maintenance (O&M) of the systems and a fee for investments in Stormwater Management Action Plan in the basin. For the O&M collection, the Equivalent Residential Unit (ERU) method was adapted, which is the main method used in the United States. The total impervious area (AIT) were replaced by Directly Connected Impervious Areas (AIDC). These areas are those that, in fact, drain into the public system, carrying pollution to the receiving waters. Thus, the billing considers the urban hydraulic connectivity at the basin level applied at the lot scale. There is no precise method for determining AIDC, and its study is one of the main gaps in hydrological science. Despite this, its use instead of the AIT, a parameter that is commonly used in stormwater fees, makes the collection fairer, because it uses the estimated volume that is demanded by the public system. The investment fee used, on the other hand, is an existing method: Tucci (2002). This method consists of an apportionment for the implementation of the Stormwater Management Action Plan. Both collections were simulated for the Córrego Grande hydrographic sub-basin, located in the city of Florianópolis/Santa Catarina. This basin has a large floating population created by the fast urbanization, exerting strong pressure on water resources. The O&M fee was simulated for all 474 lots connected to the public system and the AIDC was analyzed by occupancy strata, predicting similar hydrological behavior. The Public Power stratum was added, characterized by roads and sidewalks, also simulating a fee for this class. To estimate the AIDC, a combination of GIS techniques was performed, using Google Street View and Google Earth, and by on-site visitation to validate assumptions previously used in GIS. The final AIDC ratio composes an average estimated from the combination of both methods. As a result, it was observed that residential AIDCs decreased as the lot size increased, but the biggest contribution comes from roads and sidewalks with curbs, representing 32.8% of the total AIDC. The global average of the AIDC/AIT ratio for the study area corresponded to 51% with GIS techniques and 47% after field adjustments. The GIS method tended to overestimate AIDC by only 4%. The results denote that, for strata with few lots, all lots must be inspected in loco. For the others, the percentage differences were low, showing that the combination of GIS techniques can be a good alternative to on-site surveys, reducing time, human and financial resources. The Connected Residential Unit (URC) was equivalent to 172.46m², which is equivalent to R\$ 139.07 per year for lots with this measure of connectivity. This value is equivalent to R\$0.81 per m², a value lower than those practiced internationally (which use the AIT as the basis for charging). In comparison with other empirical equations, the results were closer to Laenen's (1983) equations, with a difference of 10%. However, no direct relationship can yet be established between both methods. These comparisons showed that AIDC cannot be accurately predicted from existing empirical relationships. With the proposed O&M method, all costs are recovered. The other portion of the fee, the investment cost, covers 79% of the costs. For lots with some type of occupation, the average investment fee is R\$ 2.68 per m² of lot area, while vacant lots have an average rate of R\$ 0.88 per m² of area. The greater weight of this charge falls on the investment portion, accounting for 94% of the total fee. Investment rates were considered unaffordable (> 0.75% of household monthly income). To make them accessible, the Stormwater Management Action Plan must be divided into a longer period of execution, charged at different times or have a greater initial contribution by the Public Power. In this research, a period of one year was considered for the execution of all the actions included

in the plan. O&M fees, in general, were accessible to the population. Managers can choose to apply only one type of charge, depending on the financial impact on taxpayers and their local reality. The application of two installments of collection of a drainage fee proved to be feasible, with the O&M portion having values considered accessible and low cost, in addition to the method being considered fair. On the other hand, the investment portion needs to be better planned to become affordable. The method can be replicated for any river basin, contributing to the resolution of problems caused by the lack of financial management of stormwater services.

Key-words: directly connected impervious areas; stormwater financing; stormwater regulation; financial sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Diagrama de métodos de programa de águas pluviais financiado por taxa de usuário.	31
Figura 2.2- Distribuição espacial das taxas mensais de águas pluviais nos EUA.	37
Figura 2.3- Custos da drenagem x arrecadação com a taxa de drenagem.....	54
Figura 2.4- Modelo conceitual de relações de conectividade entre áreas de cobertura impermeáveis encontradas em áreas de uso do solo residenciais.	62
Figura 2.5 – Exemplo de conectividade Hidráulica: a,b) Área Impermeável Diretamente Conectada c) Área Impermeável Desconectada (Não Efetiva). d) Área Impermeável Indiretamente Conectada	63
Figura 2.6 - Relação esquemática chuva-vazão	68
Figura 2.7 - Fluxo das etapas para abordagem de estimativa AIDC de Han e Burian (2009)	75
Figura 2.8 - Método utilizado por Sahoo e Sreeja (2016) para estimar área conectada.....	78
Figura 2.9 - Procedimento para exclusão de áreas impermeáveis isoladas usando o valor de limite de conectividade e a função do <i>buffer</i> em um aplicativo SIG: a) Área impermeável conectada a uma estrada com um caminho estreito (≤ 1 metro). b) Com um <i>buffer</i> para o interior dos contornos, analisa-se a existência de caminhos estreitos (≤ 1 metro). c) Excluem-se os caminhos estreitos e expande-se o <i>buffer</i> para seu limite original. d) Exclui-se a edificação também, pois a área impermeável não está mais conectada ao sistema de drenagem.....	79
Figura 2.10 - Framework do modelo de Epps e Hathaway (2018)	80
Figura 2.11 - Representação gráfica da Equação 19 para estimar CN com base em f_{AIT} e Grupos de Solo.....	82
Figura 2.12 - Gráfico de f_{AIDC} versus CN com base na Equação 20 para a estimativa de f_{AIDC} em bacias hidrográficas urbanas em termos de CN	82
Figura 2.13 - Modelo conceitual de categorias de superfície impermeáveis: direta ou fisicamente conectada (Aphys) e variavelmente conectada (Avar) (impermeável que drena para permeável). 83	
Figura 3.1- Fluxograma com os métodos utilizados nesta pesquisa	103
Figura 3.2 - Funções desejadas com a cobrança por meio de uma taxa	104
Figura 3.3- Localização da área de estudo, a sub bacia do Córrego Grande, em relação à bacia do Itacorubi	110
Figura 3.4 - Etapas para obtenção do mapa de uso e ocupação do solo	112
Figura 3.5- Processo de estratificação por lotes: a) Inserção do cadastro técnico municipal de lotes. B) inserção do cadastro do sistema de drenagem e das vias c) Retirada de lotes notadamente desconectados (em vermelho claro).....	115
Figura 3.6 - Esquema em planta dos tipos de telhado	117
Figura 3.7 - Análise SIG da conectividade em nível de lote: a) Sobreposição do arquivo do lote sobre o Google Earth. b) Visualização no modo <i>Street View</i> , edificação frontal, telhado sem calha, telhado do tipo 1 água (escoando diretamente na rua), c) edificação ao fundo do lote: sem calha, telhado do	

tipo 1 água, contudo, considerou-se que o escoamento era dividido parte para área permeável e parte para área impermeável, do qual seguia para a rua. d) Estimativa da Área Impermeável Conectada, resultando em 50% da AIT. e) Na inspeção in loco, viu-se que a área impermeável do jardim (imagem c) possuía inclinação pro fundo do lote, sendo possivelmente direcionada à área permeável. A AIDC foi ajustada para 34% da AIT.	118
Figura 3.8-Comandos utilizados no ArcHydro para delineamento das sub-bacias.....	123
Figura 3.9- Ilustração dos principais procedimentos para delimitação de sub-bacias: a) MDE reamostrado para 2m, b) Direção do Fluxo (Flow Direction), c) Extração da rede de drenagem, inserção de pontos de exutória e bacias acumuladas (Adjoint catchment) d) Processamento de shapes para a seleção final das sub-bacias.	123
Figura 3.10 - Rendimento médio mensal domiciliar - agrupado por setor censitário	128
Figura 4.1- Classificação da área de estudo quanto ao uso e ocupação do solo	129
Figura 4.2- Lote institucional com área impermeável considerável com: a) Vista superior do lote com o Google Earth. b) Vista frontal da subestação a partir do Google Street View. C) Observação in loco, reduzindo-se a conexão à rede pública.	132
Figura 4.3 - Exemplo de erro realizado pelas técnicas SIG: a) Visualização com o Google Earth, com AIDC em metade do lote. b) Possível confirmação, via Google Street View, do lançamento do escoamento no estacionamento. c) Observação no local, com possível desconexão dos telhados. d) Confirmação de desconexão, reduzindo a AIDC estimada por meio de SIG.	133
Figura 4.4 - Análises realizadas pelo Google Street View e verificadas in loco com precisão de 100%: a) Área Impermeável Isolada, com escoamento direcionado a áreas permeáveis. b) Escoamento direcionado diretamente à via pública. C) Casa situada em cota negativa da rua	134
Figura 4.5 – Valores das taxas anuais de Operação & Manutenção (O&M) para cada lote	140
Figura 4.6 – Lote com a maior cobrança de O&M	141
Figura 4.7 - AIDC x Taxa Anual.....	141
Figura 4.8 – Valores dos custos de investimentos para cada lote.....	144
Figura 4.9 – Lote com a maior cobrança de investimento (em destaque).....	144
Figura 4.10 – Taxas anuais para cada lote.....	146
Figura 4.11 - Conectividade da sub-bacia 1	148
Figura 4.12 - Conectividade da sub-bacia 2	149
Figura 4.13 - Conectividade da sub-bacia 3	149
Figura 4.14 - Conectividade da sub-bacia 4	150
Figura 4.15 - Taxa de drenagem x Área do lote para cada método	153
Figura 4.16 - Taxa de drenagem x Área impermeável do lote para cada método	154
Figura 4.17 – Impacto das taxas de O&M.....	156

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1- Mecanismos financeiros de financiamento de águas pluviais	24
Quadro 2.2 - Valores sobre os quais as taxas de águas pluviais podem ser escolhidas.....	29
Quadro 2.3 - Métodos utilizados para determinar taxas de águas pluviais (Taxas de concessionárias e taxas de disponibilidade)	32
Quadro 2.4- Dificuldades na aplicação de taxas de águas pluviais na França.....	44
Quadro 2.5- Valor da taxa específica cobrada pelos municípios de médio e grande porte no Brasil	52
Quadro 2.6 – Vantagens e desvantagens dos métodos existentes pra quantificar a Área Impermeável Diretamente Conectada	66
Quadro 2.7 - Classes de Uso da Terra da EPA e Equações de Sutherland Correspondentes.....	71
Quadro 2.8 – Síntese dos estudos levantados para estimativa de Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas (AIDC)	87
Quadro 2.9 - Visão geral da literatura internacional sobre AIDC/AIT	90
Quadro 2.10 – Síntese das estimativas de AIDC de Phillips <i>et al.</i> (2014).....	90
Quadro 2.11- Requisitos de uma taxa aplicados à drenagem.....	95
Quadro 2.12- Funções desejadas com a receita tarifária.....	96
Quadro 2.13 - Modelos de Cálculo Tarifário	97
Quadro 2.14 - Componentes dos custos de custeio e investimento	99
Quadro 3.1 – Avaliação dos modelos de taxa de drenagem já existentes	105
Quadro 3.2 – Obtenção dos parâmetros para obtenção da taxa de drenagem.....	107
Quadro 3.3 – Avaliação dos modelos de taxa de drenagem para custeio de investimentos	108
Quadro 3.4 – Dados em SIG utilizados para estimativa da AIDC	111
Quadro 3.5 – Investimentos necessários para investimentos na Drenagem urbana.....	119
Quadro 3.6 - Equações para estimativa de AIDC para comparação com o método proposto.....	121
Quadro 3.7 - Classes de Uso da Terra da EPA e Equações de Sutherland Correspondentes.....	122
Quadro 3.8 - Simplificação utilizada para a nomenclatura dos setores censitários	128
Quadro 4.1 - Médias de AIDC/AIT utilizadas para cálculo da Unidade Residencial Conectada ...	135
Quadro 4.2 – Comparação da relação AIDC/AIT com a literatura internacional	136
Quadro 4.3 – Total de AIDC de cada estrato	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Análise bibliométrica por termos relacionados à cobrança dos serviços de águas pluviais	23
Tabela 2.2- Valor de taxas de águas pluviais de cidades alemãs, em 2014	39
Tabela 2.3- Taxas de águas pluviais implantadas na França	43
Tabela 2.4 – Taxas de águas pluviais e neve com base na área impermeável.....	46
Tabela 2.5 - Municípios que declararam possuir uma cobrança de taxa específica de drenagem urbana.....	50
Tabela 2.6- Taxas de águas pluviais (residências unifamiliares) em todo o mundo	60
Tabela 2.7 – AIDC pra 19 bacias urbanas na região metropolitana de Denver.....	67
Tabela 2.8 – Relação de AIDC/AIT de estudos realizados no Brasil.....	93
Tabela 3.1 - Amostragem necessária a cada estrato.....	116
Tabela 3.2 - Síntese do Método 1 - Tucci (2002).....	124
Tabela 3.3 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O & M pelo Método 1	124
Tabela 3.4 - Síntese do Método 2 - Gomes, Baptista e Nascimento (2008).....	125
Tabela 3.5 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O& M pelo Método 2	125
Tabela 3.6 - Síntese do Método 3 - Cançado, Nascimento e Cabral (2005)	125
Tabela 3.7 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O& M pelo Método 3	125
Tabela 3.8 - Síntese do Método 4 - Tasca, Finotti e Goerl (2019).....	125
Tabela 3.9 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O& M pelo Método 4	126
Tabela 3.10 - % de comprometimento do saneamento básico na renda mensal domiciliar	126
Tabela 4.1 – Síntese das informações por estrato.....	130
Tabela 4.2 – Síntese dos resultados da AIDC estimada por método SIG seguido de ajuste a partir de vistorias	131
Tabela 4.3 - Comparação R\$ por m ² em nível internacional	139
Tabela 4.4 – Valor da cobrança total para cada estrato.....	139
Tabela 4.5 -Taxa média de investimento arrecadada em cada estrato	142
Tabela 4.6 -Taxa total arrecadada.....	145
Tabela 4.7 - Resultados deste estudo que serviram de base para comparação com outros métodos	147
Tabela 4.8 - Resultados para AIDC e Custos/m ² por meio de equações empíricas	148
Tabela 4.9 - Estimativa da AIDC a partir do método de Sutherland	150
Tabela 4.10 – Valor total arrecado para O&M	151
Tabela 4.11 - Taxas médias mensais por setor censitário	155
Tabela 4.12 – Impacto das taxas médias mensais por setor censitário	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AID.....	Área Impermeável Desconectada
AIDC.....	Área Impermeável Diretamente Conectada
All.....	Áreas Impermeáveis Isoladas
AIT.....	Área Impermeável Total
BH.....	Bacia Hidrográfica
BMPs.....	Melhores práticas de gerenciamento
C.....	Coeficiente Superficial
C _{mi}	Custo médio de investimento
C _{m O&M}	Custo Médio de Operação e Manutenção
CN.....	Curve number
MAPLU.....	Manejo das Águas Pluviais Urbanas
DQA.....	Diretiva Quadro da Água
Eq.	Equação
ERU.....	Unidade Residencial Equivalente (<i>Equivalent Residential Unity</i>)
EUA.	Estados Unidos da América
HCIA.....	Área Impermeável Hidrologicamente Conectada
IWCM.....	Gestão Integrada do Ciclo da Água
MDE.....	Modelo Digital de Elevação
NPDES.....	Sistema Nacional de Eliminação de Descarga de Poluentes
O&M.....	Operação e Manutenção
PPPs.....	Parcerias Público-Privadas
SbN.....	Soluções baseadas na natureza
SCI.....	Iniciativa Cidades-Esponjas
SIG.....	Sistemas de Informações Geográficas
SNIS.....	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SCMs.....	Medidas de controle de águas pluviais
TOI.....	Taxa de Ocupação e Impermeabilização
URC.....	Unidade Residencial Conectada
USEPA.....	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
WSUD.....	Desenho Urbano Sensível à Água

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADROS	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
SUMÁRIO	16
1 INTRODUÇÃO	18
1.1. HIPÓTESE	21
1.2. OBJETIVOS	21
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1. EXPERIÊNCIAS EM FINANCIAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	23
2.1.1. Financiamento da Gestão das Águas Pluviais Urbanas	24
2.1.2. Taxas de águas pluvias	29
2.1.2.1 <i>Experiências Internacionais</i>	34
2.1.2.2 <i>Experiências Nacionais</i>	48
2.1.2.2.1. <i>Propostas Acadêmicas</i>	55
2.1.2.3 <i>Comparação entre Taxas</i>	60
2.2. CONECTIVIDADE HIDRÁULICA URBANA	60
2.2.1. Métodos para estimar a Área Impermeável Diretamente Conectada	65
2.2.1.1 <i>Análise de Regressão - Chuva-vazão</i>	66
2.2.1.2 <i>Análise de dados espaciais com técnicas SIG</i>	73
2.2.1.2.1. <i>Conectividade dos Telhados</i>	84
2.2.1.2.2. <i>Principais destaques dos métodos baseados em SIG</i>	85
2.2.1.3 <i>Adoção de Relação AIDC/AIT</i>	90
2.2.1.4 <i>Medição Direta/ Investigação de campo</i>	91
2.3. CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS E REGULATÓRIAS DOS SERVIÇOS DE DRENAGEM URBANA NO BRASIL	93
3 METODOLOGIA	102
3.1. ESTABELECIMENTO DA ESTRUTURA DA TAXA DE DRENAGEM	104
3.1.1. Custo Médio de Operação e Manutenção ($C_{m\ O\&M}$)	105
3.1.2. Custo Médio de Investimento (C_{mi})	107

3.2. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO MÉTODO DE TAXA DE DRENAGEM DESENVOLVIDO PARA A BACIA DO CÓRREGO GRANDE	109
3.2.1. Descrição da Área de Estudo	109
3.2.2. Aplicação da Taxa de Drenagem	111
3.2.2.1 <i>Etapa 1: Estimativa da AIDC</i>	111
3.2.2.1.1. Subetapa 1: Classificação de imagens de satélite	111
3.2.2.1.2. Subetapa 2: Estratificação e Caracterização dos Lotes Conectados	112
3.2.2.1.3. Subetapa 3: Estudo da conectividade hidráulica dos lotes	115
3.2.2.2 <i>Etapa 2: Estimativa dos Custos</i>	118
3.2.3. Comparação com outros Métodos	120
3.2.3.1 <i>Equações Empíricas</i>	120
3.2.3.2 <i>Equações de Sutherland</i>	121
3.2.3.3 <i>Metodologias acadêmicas nacionais</i>	124
3.2.4. Avaliação da Capacidade de Pagamento dos usuários	126
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	129
4.1. APLICAÇÃO DA TAXA DE DRENAGEM	129
4.1.1. Estimativa da AIDC	129
4.1.1.1 <i>Classificação de imagens</i>	129
4.1.1.2 <i>Estratificação e Caracterização dos lotes conectados</i>	129
4.1.1.3 <i>Estudo da conectividade hidráulica dos lotes</i>	131
4.1.1. Custos	138
4.1.1.1 <i>Custo Médio de O&M</i>	138
4.1.1.2 <i>Custo Médio de Investimentos</i>	141
4.1.1.3 <i>Custo total – Taxa de Drenagem</i>	145
4.2. COMPARAÇÃO COM OUTROS MÉTODOS	147
4.2.1. Equações empíricas	147
4.2.2. Equações de Sutherland (2000)	148
4.2.3. Metodologias Acadêmicas Nacionais	151
4.3. CAPACIDADE DE PAGAMENTO DOS USUÁRIOS	155
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	157
REFERÊNCIAS	160
ANEXOS	170

1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento urbano por meio da impermeabilização das superfícies resulta em profundas mudanças no ciclo natural da água, criando um ciclo da água urbano modificado. Essas mudanças são determinadas desde a escala local, onde a água é demandada, onde o esgoto é gerado e onde ocorre a impermeabilização do solo, aumentando o volume do escoamento das águas pluviais (COOMBES, 2018) até a escala de bacia hidrográfica, com transferência de impactos e inundações a jusante. Os impactos são variados (como inundações, degradação de rios, prejuízo aos serviços ecossistêmicos e um maior risco cumulativo de escassez de água potável) e podem ser minimizados pela inclusão de soluções sustentáveis de águas pluviais, pela manutenção da infraestrutura relacionada e pela mudança de paradigma da gestão do “velho mundo” para uma que opere no “Ciclo total da água” (NIEMCZYNOWICZ, 1999).

Esta mudança de paradigma possui um custo e, a medida que as cidades crescem, estes custos também aumentam, tornando a gestão do manejo das águas pluviais urbanas (MAPLU) mais complexa. Os municípios precisam, ao mesmo tempo, lidar com os custos resultantes da urbanização e enfrentar as consequências das mudanças climáticas, que, entre outros impactos, causam chuvas torrenciais mais frequentes, que exigem maior gestão local das águas pluviais (ABEBE *et al.*, 2021). Além disso, os múltiplos desafios apresentados pelas regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas e onerosas e as infraestruturas envelhecidas fazem com que muitas cidades do mundo enfrentem problemas complexos não apenas na provisão segura e acessível do abastecimento de água, mas também na coleta e tratamento de águas residuais e pluviais. Por isso, os governos têm procurado mecanismos para responder aos complexos desafios relacionados à gestão das águas pluviais urbanas.

Alguns países, como Alemanha, Austrália, Canadá, e Estados Unidos (EUA), estão estabelecendo programas de águas pluviais para responder a esses desafios. No Brasil, este assunto ainda é incipiente, no qual o tema não é visto como prioridade. A drenagem urbana é lembrada de modo reativa, geralmente após eventos de alagamentos e inundações, para então ser esquecida novamente. Isso deve-se, em parte, à própria falta de financiamento e de gestão dos sistemas.

Os governos locais são responsáveis por gerenciar todos esses aspectos dentro de sua jurisdição, mas eles possuem limitações nas receitas geradas. A

infraestrutura pública exige manutenção, reparo e substituição dispendiosos para manter o serviço, além da expansão dos serviços existentes para atender às novas demandas. Assim, muitos municípios têm procurado uma fonte dedicada de financiamento para esses programas e práticas, como os utilitários de águas pluviais (*stowmwater utilities*), a qual chamaremos de concessionárias. Estas concessionárias podem ser entendidas como empresas privadas que realizam um serviço público estando sujeita a regulamentação governamental especial.

As concessionárias de águas pluviais são um mecanismo de financiamento dedicados a recuperar os custos de gestão das águas pluviais, incluindo o planejamento, a manutenção, infraestruturas de controle de enchentes, melhorias de capital, custos administrativos, programas educacionais, benfeitorias, planos de drenagem, programas de restauração de rios e de qualidade da água (LINDSEY e DOLL, 1998; WALKER, 2001). Usuários dentro de um determinado distrito de medição pagam uma taxa de águas pluviais e as receitas geradas suportam diretamente a gestão do MAPLU e programas.

Rydningen, Torgersen e Bjerkholt (2022) citam que há três principais motivações para a implementação de taxas de águas pluviais: (1) angariar dinheiro para pagar os custos de operação, manutenção e desenvolvimento de novas estruturas de águas pluviais; (2) ao seu uso como incentivos para mudar o comportamento das pessoas para gerenciar as águas pluviais em seu próprio terreno; (3) em locais onde há escassez de água, as taxas de água podem ser usadas para incentivar o uso de águas pluviais de forma mais sustentável, por exemplo, para descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins e plantas, etc.

De modo geral, uma taxa de águas pluviais incentiva o reconhecimento das águas pluviais como um recurso, com taxas vinculadas a impactos. Por essa razão, as taxas têm o potencial de afetar positivamente o comportamento dos usuários, especialmente quando se baseiam em superfícies impermeáveis ou se um sistema de créditos é incluído no sistema (NEEFC, 2005), atenuando as externalidades negativas da ocupação humana. Os habitantes são, ao mesmo tempo, os clientes que pagam indiretamente pelo projeto, os usuários da infraestrutura pública e as vítimas das inundações urbanas e da poluição (CHOULI; DEUTSCH, 2008). A cobrança colabora para que a sociedade entenda que a enchente não é “problema do prefeito”, mas problema da coletividade urbana que está associada à apropriação do território e dos recursos naturais (RIBEIRO, 2016).

No entanto, a implementação de uma taxa de águas pluviais não é um consenso. Existem muitos desafios e a sua implementação exige esforço técnico, político e legal. Estudos aprofundados são necessários e a participação de todos os atores envolvidos é vital. Isto pode evitar que o público, em geral, pense que a tributação é mais uma tentativa dos governos de arrecadar dinheiro dos cidadãos, um "imposto de chuva" (CAMPBELL, 2013). A cobrança, no mínimo, aumenta a conscientização sobre a conexão entre atividades de desenvolvimento humano e o escoamento poluído. Os contribuintes devem estar cientes desses benefícios para que a cobrança possa obter aceitação pública. Eles precisam saber por que eles agora têm que pagar por algo que costumava ser livre.

Estas discussões acabam sendo disseminadas nas áreas técnicas (aplicadas), já que concessionária deve determinar a melhor estrutura de taxas. Contudo, o campo científico também pode fazer grandes contribuições, ainda mais considerando o panorama de escassez de estudos e pesquisas sobre o tema. As poucas experiências em taxa de drenagem utilizam a Área Impermeável Total (AIT) como parâmetro, superestimando o escoamento e, conseqüentemente, o valor da cobrança. Sabe-se que nem toda precipitação escoar, ocorrendo também a infiltração. Desta forma, o uso do escoamento que de fato drena para os sistemas de drenagem, a partir das chamadas Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas (AIDC), é considerado mais justo. A AIDC é um preditor mais preciso do impacto do desenvolvimento urbano, representando uma relação direta entre a urbanização, as alterações dos processos hidrológicos e o comprometimento dos ecossistemas aquáticos pelo escoamento de águas pluviais canalizadas (ROY; SHUSTER, 2009). Contudo, a AIDC não é facilmente quantificável pois requer análise de conectividade de superfícies impermeáveis em uma bacia hidrográfica, tornando o seu uso como parâmetro de cobrança de uma taxa de drenagem um desafio tão grande como estudar taxas de drenagem. Encontrar uma abordagem prática para estimar as AIDCs é urgente para a gestão de bacias hidrográficas e planejamento do uso da terra (EPPS; HATHAWAY, 2018).

A presente pesquisa aborda estes desafios por meio de uma aprofundada revisão sistemática sobre os mecanismos de financiamento do MAPLU, com foco nas taxas de usuários de águas pluviais, e das pesquisas sobre conectividade hidráulica urbana. Inspirada nestas revisões, propõe-se um método de cobrança por meio de uma taxa de drenagem para bacias hidrográficas, que são as unidades de referência

para planos de saneamento e para planejamento e gestão de recursos hídricos. O modelo proposto considera os custos indiretos (custos de operação e manutenção dos sistemas de drenagem) com base nas AIDC; e os diretos (implementação das obras do plano de drenagem). Para demonstração do método, o modelo foi aplicado à bacia hidrográfica do Córrego Grande, uma bacia localizada em Florianópolis, no Estado de Santa Catarina.

1.1. Hipótese

É possível desenvolver uma cobrança de taxa de drenagem que considere tanto o escoamento que drena diretamente para os sistemas de drenagem urbana como os investimentos necessários em nível de bacia hidrográfica.

1.2. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo de cobrança de drenagem urbana que considere tanto o impacto das águas pluviais que escoam diretamente aos sistemas de drenagem urbana como a necessidade de investimentos nas bacias hidrográficas.

- Específicos
 - Propor um modelo de recuperação dos custos com operação e manutenção dos serviços de manejo de águas pluviais a partir da Área Impermeável Diretamente Conectada (AIDC) em nível de bacia hidrográfica;
 - Testar um modelo de taxa para investimento nos sistemas de drenagem em nível de bacia hidrográfica;
 - Aplicar a metodologia proposta em um estudo de caso, comparando-a também com outras metodologias, bem como avaliar a capacidade de pagamento dos usuários para o método proposto.

1.3. Estrutura do Trabalho

A presente pesquisa é dividida em 5 partes principais. Na primeira (Introdução), aborda-se a problemática geral do financiamento dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Na segunda (Revisão), aprofunda-se em três temas principais:

- i) Experiências em financiamento de águas pluviais urbanas no mundo e no Brasil, na qual se pesquisou qual o instrumento e método mais adequado para cobrança dos serviços.
- ii) Conectividade Hidráulica Urbana, na qual se pesquisou os métodos existentes para estimativa da AIDC.
- iii) Características econômicas e regulatórias dos serviços de Drenagem Urbana, pesquisa que embasa os parâmetros para elaboração de um modelo de cobrança.

Na parte 3, a metodologia é apresentada, com uma apresentação detalhada da aplicação do método para uma bacia hidrográfica. Toda esta metodologia foi embasada pela revisão bibliográfica. Por fim, os resultados são apresentados e discutidos (parte 4), seguidos das principais conclusões e recomendações geradas a partir desta pesquisa (parte 5).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Experiências em financiamento de águas pluviais¹

Apesar dos benefícios para a sociedade, há poucos trabalhos publicados sobre o financiamento do MAPLU ou suas variantes. Isso é demonstrado por meio da Tabela 2.1, que apresenta os resultados de levantamento realizada em bases de dados de publicações científicas. O Google Acadêmico é o banco de dados que indexa um maior número de resultados entre as bases de dados científicas estudadas. Isso ocorreu porque seu banco de dados é o maior e sua interface não permite uma pesquisa detalhada, fornecendo mais resultados gerais. Por outro lado, existem muitos manuais técnicos / relatórios em páginas eletrônicas de concessionárias de águas pluviais ou até mesmo em páginas de notícias. Acredita-se que isso ocorre porque a discussão sobre o financiamento de águas pluviais é realizada no campo técnico (por exemplo, prestadores de serviços) nos países desenvolvidos, já que o MAPLU é realizado nestes países há mais de 50 anos (ELLIS, 1995), sendo que muitas informações essenciais são limitadas à literatura cinzenta (MARSALEK; CHOCAT, 2002).

Tabela 2.1– Análise bibliométrica por termos relacionados à cobrança dos serviços de águas pluviais

Palavras- chave	Web of science	Science Direct (Elsevier)	Springer	EBSCO host	Wiley online library	Scholar Google (Title)
Cobrança (<i>charges</i>) de águas pluviais	0	0	1	1	3	1
Cobrança (<i>levies</i>) de águas pluviais	0	0	0	0	0	0
Financiamento (<i>financing</i>) de águas pluviais	0	1	1	0	3	10
Financiamento (<i>funding</i>) de águas pluviais	0	0	1	1	2	8
Tarifas de águas pluviais	0	0	0	0	0	0
Utilitários de águas pluviais	10	2	4	7	13	41
Precificação de águas pluviais	0	1	0	2	5	0
Imposto sobre águas pluviais	1	1	1	1	2	0

¹ Duas versões modificadas deste capítulo foram publicada como:

TASCA, F. A.; ASSUNÇÃO, L. B.; FINOTTI, A. R. International experiences in stormwater fee. **Water Science and Technology**, v. 2017, n. 1, p. 287-299, 2018.

TASCA, F.A.; FINOTTI, A.R.; GOERL, R.F. A stormwater user fee model for operations and maintenance in small cities. **Water Science and Technology**, v. 79, n. 2, p. 278-290, 2019.

Palavras- chave	Web of science	Science Direct (Elsevier)	Springer	EBSCO host	Wiley online library	Scholar Google (Title)
Tributação de águas pluviais	0	0	1	0	0	0
Taxa de drenagem	2	1	4	0	2	1
Taxa de águas pluviais	1	3	4	3	3	13
Taxa de chuva	1	0	5	1	2	1
Taxa de utilitário de águas	2	0	1	3	1	4

Em contraste, alguns métodos detalhados de estruturas de taxas de águas pluviais foram encontrados na literatura científica para países que não têm regulação de águas pluviais, como o Brasil e a África do Sul. Isso pode demonstrar que os pesquisadores desses países - com manejo insuficiente de águas pluviais- tem recorrido à comunidade científica para ampliar essas discussões.

2.1.1. Financiamento da Gestão das Águas Pluviais Urbanas

Alguns mecanismos econômicos podem financiar o MAPLU (Quadro 2.1), como os títulos para melhorias de capital, taxas de recuperação de capitalização, taxas de extensão do desenvolvedor (taxas retardatárias), oportunidades de financiamento federais e estaduais (subsídios, empréstimos e programas cooperativos), fundos gerais / receitas fiscais gerais, taxas de impacto, taxas de construção, parcerias Público-Privadas (PPPs), revisões de planos, inspeções de desenvolvimento, taxas de usuários especiais, impostos de propriedade, avaliações especiais e taxas de usuários de águas pluviais (taxas de serviço).

Quadro 2.1- Mecanismos financeiros de financiamento de águas pluviais

Mecanismo	Descrição
Títulos para melhorias de capital	Às vezes, os títulos são usados para financiar operações, bem como para melhorias de capital (e isto geralmente não é visto como prudente). Alguns custos de MAPLU podem ser vistos como uma despesa de capital ou operacional.
Taxas de recuperação de capitalização	Estas taxas destinam-se, na maioria das vezes, a recuperar uma parte justa do investimento público em capacidade de infraestrutura instalada para acomodar um empreendimento futuro. As taxas são aplicadas aos empreiteiros que fazem uso dessa capacidade provisória quando desenvolvem projetos.
Taxas de extensão do desenvolvedor/ retardatária	Não são um mecanismo de receita, mas sim um meio de distribuir os custos de capital entre várias propriedades conforme elas são desenvolvidas. Novos clientes compram um infraestrutura existente e/ou a expansão da infraestrutura necessária para atendê-los e pagam ao empreiteiro inicial. Podem ser adotadas

Mecanismo	Descrição
	como parte de uma estrutura abrangente de taxa de usuários de águas pluviais ou negociadas caso a caso.
Oportunidades de financiamento federais e estaduais	Existem muitas formas neste financiamento, incluindo suporte técnico, instalação de construção, programas cooperativos, subvenções e empréstimos para diversos fins. Podem ser uma boa fonte de financiamento, mas não são suficientes para sustentar um programa contínuo de MAPLU, já que um programa é mais amplo do que estas ações pontuais.
Fundo geral / Receitas gerais de impostos	Este método usa uma porcentagem de dinheiro de um fundo geral e contabiliza tudo aquilo que não é contabilizado em outros fundos. Custos de águas pluviais são distribuídos pelos contribuintes, independentemente do benefício individual
Taxas de impacto	São baseadas no custo de mitigar os impactos do desenvolvimento de instalações individuais devido às melhorias públicas que tiveram que ser realizadas para atender a esta nova construção
Taxas de construção	É um tipo de mitigação usado para compensar impactos inevitáveis no qual o usuário paga uma taxa em vez da construção de algumas obras de águas pluviais.
Parcerias Público-Privadas (PPPs)	O principal interesse dos governos nas PPPs como mecanismo inclui a capacidade deles para melhorar a prestação de serviços - ou seja, para criar uma melhor relação custo-benefício. Uma limitação significativa de PPPs para águas pluviais é que a escala de investimento provavelmente não será suficiente para atrair os principais interessados.
Revisão de plano, inspeção de desenvolvimento de novos empreendimentos e taxas especiais de usuário	Uma variedade de taxas especiais para usuários pode ser incluída sob o escopo de uma concessionária de águas pluviais ou adotadas separadamente para apoiar medidas regulatórias, porque estas atividades são associadas à proteção da saúde pública, segurança e bem-estar
Impostos sobre a propriedade	O financiamento é liberado através de impostos pagos sobre a propriedade. Assim como nos fundos gerais, a MAPLU compete com outros setores. Este sistema não é equitativo, porque a base para determinar os impostos sobre a propriedade é irrelevante para o custo da MAPLU para uma propriedade.
Avaliações especiais	Este método baseia-se na repartição dos custos proporcionalmente aos custos diretos e benefícios especiais derivados individualmente por propriedades específicas. Eles não são amplamente usados como um mecanismo de financiamento primário para MAPLU.
Taxas de usuários de águas pluviais	Sob este sistema, os proprietários podem ser cobrados uma taxa com base em sua contribuição para o sistema de águas pluviais.

Fonte: Adaptado de Cyre (1982), Schoettle & Richardson (1993), EPA (2008a), Tate (2013) e EFC (2014).

Existem muitas opções disponíveis e as concessionárias podem usar uma combinação de métodos para financiar diferentes programas. Estes instrumentos têm sido sugeridos como abordagens plausíveis para a redução do escoamento das águas pluviais e como incentivo aos indivíduos para identificar e tecnologias de controle de

baixo custo. Contudo, não há um consenso na escolha de uma abordagem para controlar o escoamento de águas pluviais (DOLL *et al.*, 1998). Existem restrições constitucionais sobre como esses mecanismos, principalmente impostos e taxas, são estruturados e aplicados em todo o mundo. Desta forma, a seleção depende das características físicas únicas da bacia hidrográfica, bem como da estrutura legal existente. É importante destacar que alguns mecanismos não estão relacionados com o consumo do serviço. Eles estão relacionados ao incremento da receita e não estão vinculados ao MAPLU.

Nos países onde a cobrança é difundida, as duas opções de financiamento mais comuns são os impostos para fundo geral e as taxas de usuários de águas pluviais (GRIGG, 2012; EFC 2014). O primeiro método é desafiador por várias razões, incluindo que ele não está relacionado às obrigações financeiras com os serviços recebidos e pode reduzir a capacidade de um município para planejar e cumprir as obrigações básicas do MAPLU. Em geral, não há propósitos específicos para a arrecadação por meio de fundos gerais, os quais devem ser aplicadas uniformemente a todos contribuintes (PARIKH *et al.*, 2005). Além disso, programas de águas pluviais competem com outros setores sem financiamento e investimentos e dependem de prioridades do governo. Melhorias à gestão de MAPLU são normalmente consideradas de baixas prioridades, a menos que o município tenha enfrentado recentes alagamentos/ inundações ou esteja passando por uma ação regulatória (EPA, 2008a).

Outra razão problemática refere-se às responsabilidades do MAPLU, que tendem a ser distribuídas entre vários departamentos existentes (obras públicas, planejamento, recursos hídricos, meio ambiente, defesa civil, etc.) em programas financiados pelo fundo fiscal geral (NRC, 2009). Frequentemente, a gestão da qualidade das águas pluviais não é considerada como um serviço municipal, ao contrário do controle de inundações ou transporte e tratamento de águas residuais (EPA, 2008b). Além disso, o mecanismo de fundo geral sofre com o envelhecimento dos sistemas de drenagem, que passam a exigir mais manutenção e recursos. Tais recursos podem não estar disponíveis em uma competição com outros serviços de água, incluindo o abastecimento de água e o tratamento de esgoto (MARSALEK; CHOCAT, 2002).

Em contraste, muitas comunidades em alguns países estão criando concessionárias de águas pluviais para obter um financiamento exclusivo através de

taxas de usuários de águas pluviais, o outro mecanismo mais usado. Este instrumento pode fornecer uma fonte de financiamento equitativa (isto é, os encargos são proporcionais com os custos de serviço), dedicada exclusivamente às necessidades de MAPLU, confiável (ou seja, não sujeita às flutuações significativas) e adequada para atender às necessidades financeiras orçamentadas (BENSON, 2002). Os serviços concentram-se em objetivos específicos e devem ser autossuficientes a partir das receitas (GRIGG, 2012) e todas as propriedades dentro dos limites da cidade pagarão a taxa de MAPLU, incluindo aquelas que possuem isenção de impostos sobre imóveis.

Além disso, geralmente a cobrança por meio de taxas oferece algum incentivo para diminuir o escoamento, levando ao ponto onde o custo de controle marginal é igual à cobrança pelo escoamento. Assim, ao contrário das taxas de água e esgoto, uma taxa de águas pluviais pode ser reduzida por créditos de águas pluviais, auxiliando a reduzir a oposição pública. Proprietários que instalarem melhores práticas de gerenciamento (BMPs), como jardins de chuva, barris de chuva, lagoas de retenção, biovalas, telhados verdes, zonas úmidas (*wetlands*) construídas, soluções baseadas na natureza (SbN) e outras opções podem se qualificar a reduções a longo prazo ou permanentes em suas taxas de águas pluviais. Essas práticas podem reduzir a quantidade de escoamento de águas pluviais que escoam a partir da propriedade, além de tratar o escoamento para melhorar a qualidade da água. Tal abordagem complementa e encoraja a tendência crescente na gestão de MAPLU para a instalação amplamente dispersa e descentralizada de medidas de controle de águas pluviais para reduzir o excesso de fluxo de águas pluviais em sistemas combinados ou na infraestrutura verde (KERTESZ *et al.*, 2014).

Esse grande número de elementos incluídos no sistemas modernos de MAPLU criaram requisitos totalmente diferentes em relação a sua operação, economia e financiamento. Os sistemas BMPs contribuem significativamente para a economia local, pela manutenção ou melhoria dos usos benéficos das águas receptoras, redução de impactos nocivos e danos associados (particularmente das inundações). BMPs também aumentam os valores imobiliários em áreas projetadas, bem como leva ao desenvolvimento de uma novo segmento da indústria de tecnologia ambiental, que vendem dispositivos MAPLU e a manutenção destes bens (MARSALEK; CHOCAT, 2002). No entanto, é complexo para uma concessionária

prever qual taxa e sistema de crédito resultarão da combinação de receitas e implementação de BMP.

Além disso, os valores das taxas e créditos são muito pequenos², o que motiva que apenas os grandes produtores de escoamento mudem de atitude, enquanto isto parece não ser uma alternativa vantajosa para as residências menores (DOLL *et al.*, 1998). Portanto, o custo sozinho pode não ser um mecanismo ideal para impulsionar a adoção de BMPs de águas pluviais e muitos governos locais e concessionárias de águas urbanas, nos Estados Unidos principalmente, estão subsidiando ou pagando completamente pela instalação de BMPs em propriedades residenciais (YOUNGERMAN, 2013).

A adoção de taxas de águas pluviais como método de financiamento também apresenta alguns problemas. Os serviços de águas pluviais e de controle de inundações operam na interface entre gestão da água, gestão de emergências, controle da poluição e gestão do uso da terra. As águas pluviais são cada vez mais locadas com os serviços de água e águas residuais em uma concessionária integrada. Enquanto esses serviços estão relacionados, sua natureza diferente faz com que as cidades frequentemente encontrem dificuldade para se desenvolver e financiar recursos completos de programas de águas pluviais (GRIGG, 2012). É complexo identificar exatamente quem paga e quem se beneficia para cada projeto porque os sistemas de drenagem estão interligados e há dificuldade em separar benefícios gerais e específicos das instalações de águas pluviais (GRIGG, 2012). Alguns tribunais estaduais norte-americanos declararam que o benefício precisa ser direto, porque uma taxa não é projetada para conferir benefícios para o público em geral, mas sim para beneficiar a pessoa particular a quem é imposta. Em resposta, a maioria das concessionárias justifica o benefício como um benefício geral da bacia hidrográfica - todos aqueles dentro de uma determinada bacia beneficiam-se a partir de uma gestão de águas pluviais adequada (NACWA, 2016).

Esta situação fica mais complicada em cidades mais antigas ou que possuem um sistema de saneamento deficitário, as quais possuem sistemas de esgotos combinados. Em sistemas como este, as águas pluviais e residuais são coletadas juntas e transportadas a uma estação de tratamento, para após serem liberadas em

² “o equivalente a algumas xícaras de café do McDonalds por mês” (CBF, 2022).

um corpo hídrico. No entanto, as águas combinadas podem exceder a capacidade de transporte dos sistemas de drenagem durante eventos intensos de chuva, causando alagamentos. Isto resulta em problemas de qualidade da água e risco às espécies aquáticas e à saúde pública. Sistemas combinados de esgoto dificultam a identificação dos serviços como distintos, fazendo com que medição e financiamento de serviços de águas pluviais sejam uma tarefa complexa (GRIGG, 2012). Atualmente, os sistemas modernos de MAPLU separam a água da chuva do esgoto sanitário, o que fornece um nível mais confiável do serviço. Esta medida tem muitos benefícios, como a eliminação do vazamento de esgoto combinado e prevenção da poluição. Além disso, permite que a água da chuva seja usada como recurso e otimiza o desempenho das estações de tratamento de esgoto.

As taxas devem ser justas, equitativas, e com base no custo do serviço prestado medido diretamente ou por alguma aproximação do uso ou benefício, a ser constitucionalmente válido. A implementação requer esforços técnico, político e legal para superar as barreiras (cultural, política, regulatória, organizacional, conhecimento, econômica e tecnológica) que impedem a instituição de uma cobrança. Por estas razões, a adoção de uma taxa está se tornando mais popular e tem se tornado um método importante para a obtenção de receita em vários países em todo o mundo.

2.1.2. Taxas de águas pluviais

Ao determinar quais parâmetros devem ser priorizados para a escolha do modelo econômico adequado para taxas de águas pluviais, várias escolhas, considerações ou princípios devem ser analisados, o que irá refletir na complexidade do modelo adotado. A complexidade dos modelos também refletirá até que ponto os diferentes valores podem ser considerados. Rydningen, Torgersen e Bjerkholt (2022) citam como valores a simplicidade, sustentabilidade, equidade, legalidade, provisão neutra, mudança de comportamento, poluidor pagador e o princípio da precaução (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 - Valores sobre os quais as taxas de águas pluviais podem ser escolhidas

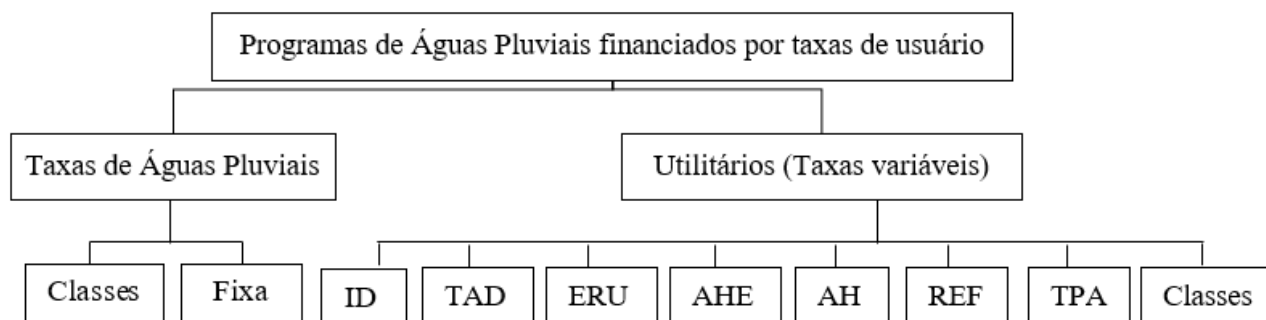
Valores	Explicação
Simplicidade	O cálculo das taxas de águas pluviais deve ser de fácil compreensão para os moradores e fácil de calcular e implementar para a administração do município local.

Valores	Explicação
Sustentabilidade	As taxas devem cobrir tanto os custos de investimento, operação e manutenção, quanto garantir que a gestão do sistema a longo prazo seja sustentável
Equidade	Se a responsabilidade de receita equitativa em todas as classes de clientes for importante para a concessionária, é aconselhável afastar-se de uma estrutura de taxas fixas.
Legalidade	A aplicação das taxas é juridicamente justificável.
Provisão neutra	As taxas totais de água e esgoto não devem ser alteradas após a introdução de uma taxa separada para águas pluviais
Mudança de comportamento	Incentivos que levam as pessoas a mudar seu comportamento, como a redução do escoamento de águas pluviais de sua própria propriedade.
Poluidor pagador	O princípio do poluidor-pagador prega responsabilizar a parte responsável pela produção da poluição pagando pelos danos causados ao meio ambiente.
Princípio da precaução	O Princípio da Precaução é a garantia contra os riscos potenciais que, de acordo com o estado atual do conhecimento, não podem ser ainda identificados. Na incerteza científica formal, a existência de um risco de um dano sério ou irreversível requer a implementação de medidas que possam prever este dano. Esta abordagem pode ser utilizada na tomada de decisões.

Fonte: Adaptado de Rydningen, Torgersen e Bjerkholt (2022)

Pelo menos um desses valores geralmente é encontrado nos principais mecanismos de financiamento de um programa de águas pluviais. O mecanismo custeado por usuários pode ser generalizado em duas categorias principais: taxa de águas pluviais (disponibilidade) e taxa de concessionária de águas pluviais (serviços), conforme apresentado na Figura 2.1. A taxa de disponibilidade de águas pluviais representa uma única taxa fixa para todos os consumidores (e.g. R\$ 2 por mês) pela disponibilidade do sistema municipal de transporte de águas pluviais e pelo MAPLU, independentemente do quanto contribuam para o escoamento adicional. Essa taxa também pode ser fixa para diferentes categorias (ex: comercial, industrial, residencial).

Figura 2.1- Diagrama de métodos de programa de águas pluviais financiado por taxa de usuário.



Nota: ID: Intensidade de Desenvolvimento; TAD: Transporte Alternativo Distribuído; ERU: Unidade Residencial Equivalente (*Equivalent Residential Unity*); AHE: Área Hidráulica Equivalente; AH: Alternativa hidrológica; REF: Fator Equivalente Residencial; TPA: Área Total da Propriedade.

Fonte: Modificado de Kea *et al.* (2016).

De acordo com Coase (1947), há uma suposição de que os preços uniformes são mais desejáveis, pois isso é comumente associado à visão de que o empreendimento como um todo deve ser autossuficiente. No entanto, este modelo tem sido criticado porque considera que a demanda de todos os consumidores é a mesma. Assim, se houver um custo adicional para suprir um determinado grupo de consumidores, outros grupos terão que pagar por isso sob uma abordagem de compartilhamento de custos. Isso pode aumentar ou diminuir o custo médio de fornecimento para os consumidores, resultando em uma visão de que a taxa de águas pluviais é apenas um mecanismo para arrecadar receita, em vez de um processo que ajuda a resolver um problema que beneficia toda a sociedade. Portanto, uma taxa fixa pode parecer injusta.

Já a taxa cobrada por concessionárias (taxa de serviço) representa uma taxa variável com base no uso pelo consumidor do sistema municipal de transporte de águas pluviais e MAPLU, e, em geral, é determinada pelo volume de escoamento de águas pluviais de uma propriedade para a rede de drenagem (KEA *et al.*, 2016). O volume pode ser medido ou estimado usando uma variedade de técnicas. Os métodos mais comuns estão listados no Quadro 2.3, com suas vantagens e desvantagens. A maioria dos métodos apresentados tem em comum as áreas impermeáveis (como telhados, calçadas e calçadas), as quais podem assumir muitas formas (ID, ERU, AHE, AH, REF).

Como a parcela de solo impermeabilizado é determinante no dimensionamento dos sistemas de drenagem e é o principal responsável pela especificidade do escoamento urbano parece apropriado que a cobrança pelos serviços incida sobre a área impermeável da propriedade (CANÇADO; NASCIMENTO E CABRAL, 2005). A redução da infiltração do solo resulta em um aumento do volume de escoamento nos sistemas de drenagem e, conseqüentemente, as galerias podem ser inundadas mais rapidamente após chuvas intensas, convertendo-se em inundações e poluição das águas. Isso requer maior manutenção e reparo dos sistemas de drenagem. Desta forma, a relação entre áreas impermeáveis e seu impacto nas águas pluviais é relativamente fácil para o público para entender.

Quadro 2.3 - Métodos utilizados para determinar taxas de águas pluviais (Taxas de concessionárias e taxas de disponibilidade)

Método	Definição	Vantagens (V) e Desvantagens (D)
Intensidade de Desenvolvimento (ID)	A taxa é baseada na % de área impermeável em relação ao tamanho do lote, sendo classificadas conforme sua ID na área (vazia, desenvolvimento baixo, moderado, alto ou muito alto). A ID é próxima ao CN.	V- Considera o escoamento da área permeável, sendo eqüitativo. Além disso, um aumento na área impermeável não implica na alteração na classificação da ID, o que permite que os registros sejam mantidos atualizado por mais tempo. Não é necessário atualizar os registros para pequenas alterações. D- Os lotes são inseridos em categorias amplas de ID e não são cobrados de modo diretamente proporcional ao escoamento de águas pluviais. Pode haver complicações ao implementar este método, já que as parcelas permeáveis e impermeáveis precisam ser revistas. Também é complexo para o entendimento dos usuários.
Transporte Alternativo Distribuído (TAD)	Esse método considera a gestão do escoamento das estradas municipais e calcula o custo com base na duração média da viagem de um usuário específico (ex: um comércio gera mais viagens do que uma unidade familiar) por meio de um pedágio. Este componente é adicionado à taxa de águas pluviais.	V- Acrescenta a gestão das estradas municipais aos usuários. A responsabilidade pelo impacto no escoamento é compartilhada entre os contribuintes. D- Esta é uma abordagem muito detalhada e complexa. Não é possível cobrar dos usuários que passam pelas estradas, apenas dos contribuintes, gerando desconforto.
Unidade residencial equivalente (ERU)	Uma ERU é a área média impermeável em todas as parcelas residenciais unifamiliares dentro do território de um determinado distrito de medição. Propriedades não	V- A relação entre áreas impermeáveis e seu impacto nas águas pluviais é relativamente fácil para o entendimento público ("você paga pelo que você torna impermeável"). Os números de

Método	Definição	Vantagens (V) e Desvantagens (D)
	residenciais são cobradas de acordo com o número de ERUs na propriedade	<p>unidades faturáveis podem ser definidos considerando apenas as áreas impermeáveis, o que economiza tempo de trabalho. Em geral, este método é considerado justo.</p> <p>D- O impacto potencial do escoamento de águas pluviais de áreas permeáveis não é contabilizado. É necessária uma atualização para a construção de novas áreas.</p>
Área Hidráulica Equivalente (AHE)	Os lotes são cobrados de acordo com o impacto combinado de áreas permeáveis e impermeáveis no escoamento gerado.	<p>V- Um método equitativo, contabilizando parcelas permeáveis e impermeáveis, incluindo lotes vazios.</p> <p>D - Requer tempo para definir o número total de unidades faturáveis. Também complexo para compreensão dos usuários.</p>
Alternativa hidrológica (AH)	É baseado nas características da propriedade: tipo de solo, topografia, área impermeável, copa das árvores e uso da terra.	<p>A- É considerada uma taxa justa devido ao estudo de cada caso isoladamente.</p> <p>D- Abordagem detalhada e complexa que requer informações detalhadas de cada lote.</p>
Fator Equivalente Residencial (REF)	Considera o escoamento gerado pelo uso e ocupação de diferentes terras, a taxa é fixa para cada classe (zona). Uma unidade representa a quantidade de escoamento de uma única propriedade familiar para um evento de tempestade específico.	<p>V - Inclui o processo hidrológico, como armazenamento de interceptação e escoamento de áreas permeáveis.</p> <p>D- A quantidade de água da chuva é escolhida arbitrariamente em muitas concessionárias. Necessidade de profundo conhecimento hidrológico para aplicar uma cobrança justa.</p>
Área Total da Propriedade (TPA)	A taxa é cobrada sobre a área total da propriedade	<p>V- Cálculo simples e implantação facilitada.</p> <p>D- Menos sofisticado e justo comparado aos outros métodos. Parece injusto.</p>
Taxa fixa	É cobrada uma taxa fixa aos usuários de um sistema de transporte de águas pluviais.	<p>V- Cálculo simples e implantação facilitada.</p> <p>D- Não individualiza o impacto de cada parcela. Um grande poluidor residencial paga o mesmo que uma pequena propriedade.</p>
Taxa dupla	Divide imóveis em residenciais ou não residenciais e onera as classificações de forma diferenciada.	<p>V- Só há dois tipos de cobranças, o que simplifica.</p> <p>D- Há grande variabilidade dentro de uma mesma classe, não sendo uma cobrança equitativa.</p>
Taxa de uso da água	Taxa equivalente ao uso doméstico de água	<p>V- Cobrança facilitada por existir instrumento de medição</p> <p>D- Não tem relação com o escoamento.</p>
	Cobra uma taxa única em que os consumidores são categorizados	V- Há uma cobrança por cada nível. Isso pode simplificar a cobrança.

Método	Definição	Vantagens (V) e Desvantagens (D)
Sistema de Camadas (categorias)	com base em uma variável selecionada (camadas).	D- Para multi-residenciais e não residenciais, a área total da superfície de cada propriedade é avaliada individualmente. Pode ser um método trabalhoso. Além disso, mesmo em cada nível pode haver uma grande variabilidade de área impermeável, em que as pequenas propriedades pagam tanto quando as grandes propriedades.

Fonte: Modificado de Marriot (2000), EPA (2008a), Fisher-Jeffes e Armitage (2013), Campbell (2013), Burszta-Adamiak (2014).

Observa-se que a maioria destes métodos utiliza o lote como parâmetro da cobrança e apenas um método inclui as estradas municipais (Método Transporte Alternativo Distribuído) junto à taxa residencial. Conforme ressalta Ostrom (2002), o escoamento de rodovias não é um bem público puro, mas um bem comum, o qual representa desafios significativos para gestão. A implantação de BMPs em vias públicas, por exemplo, leva a uma discussão sobre quem deve ser responsável pelo financiamento: concessionárias, Estado ou usuários (RAMÍSIO, AREZES, PINTO; 2021). De qualquer modo, ao contrário do escoamento urbano, as externalidades do escoamento rodoviário podem ser cobradas diretamente dos poluidores, já que o escoamento das estradas tem uma ligação mais direta entre a poluição e as atividades associadas. Outro grande desafio é manter os parâmetros de cobrança sempre atualizados, já que os atributos de uso da terra e parcelas são dinâmicos e sujeitos a mudanças. Também não se observa uma taxa específica em nível de bacias hidrográficas, sendo a maior parte cobrada, aparentemente, em nível municipal.

2.1.2.1 Experiências Internacionais

A gestão das águas pluviais evoluiu ao longo do tempo e apresenta diferenças significativas em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Décadas atrás, nos países desenvolvidos, o foco estava no controle da inundação urbana, uma vez que os problemas relacionados ao abastecimento de água, tratamento de esgoto e resíduos sólidos estavam controlados. Atualmente, a gestão de águas pluviais também inclui proteção ambiental, melhoria dos recursos hídricos e regulamentação (qualidade da água e prevenção de danos causados por inundações). Por outro lado, o saneamento ainda é precário na maioria dos países em desenvolvimento. Como a gestão está na fase de tratamento de esgoto, a questão das águas pluviais é considerada de baixa prioridade, a menos que o município tenha sido atingido

recentemente por alagamentos ou inundações. Em síntese, nos países em desenvolvimento, os investimentos em água e serviços de saneamento básico são muitas vezes justificados em termos de avanços na saúde pública. Enquanto, em países desenvolvidos, estes investimentos são justificados em termos de conformidade com a regulamentação ambiental (OECD, 2011).

Os resultados da pesquisa bibliográfica sobre financiamento de águas pluviais mostram que existe cobrança pelos serviços por meio de taxas na Alemanha, Austrália, Brasil, Canadá, Equador, Estados Unidos (EUA), França e Polônia, sendo que os EUA e Canadá possuem as experiências mais bem sucedidas. Também foram encontrados estudos de casos hipotéticos sobre taxas de águas pluviais na África do Sul e Brasil. Há também menções de taxas em outros países, como Dinamarca, Inglaterra, País de Gales, Suécia e Suíça, mas não foram encontrados detalhes. A seguir, o panorama da taxa de águas pluviais é descrito nos países cuja pesquisa encontrou detalhes suficientes para comparação.

- **Estados Unidos (EUA)**

Os EUA são o país mais evoluído em mecanismos de financiamento de águas pluviais, discussão que se iniciou após a Lei da Água Limpa (CWA), criada em 1972. Esta lei estabeleceu a estrutura básica para a descarga de águas pluviais nos corpos d'água superficiais, incluindo normas de qualidade das águas superficiais (EPA, 2008a) através do Sistema Nacional de Eliminação de Descarga de Poluentes (NPDES). Casas individuais conectadas a um sistema de esgoto ou ao sistema municipal não precisam de uma autorização, mas qualquer instalação industrial, municipal ou outra precisam de licença para descarregar uma quantidade específica de poluente em uma água receptora sob certas condições.

Um programa de águas pluviais do NPDES inclui as descargas de atividades de construção e industriais, de fontes municipais, de fontes de transporte, licença de descarga de águas pluviais da exploração de petróleo, manutenção de águas pluviais e planejamento de longo prazo (EPA, 2017). A autoridade de licenciamento identifica violações significativas, como a descarga direta, descargas de petróleo ou substâncias perigosas e falsas declarações, implicando em medidas civis ou criminais. As penalidades variam de acordo com a gravidade e se é uma violação negligente ou conhecida.

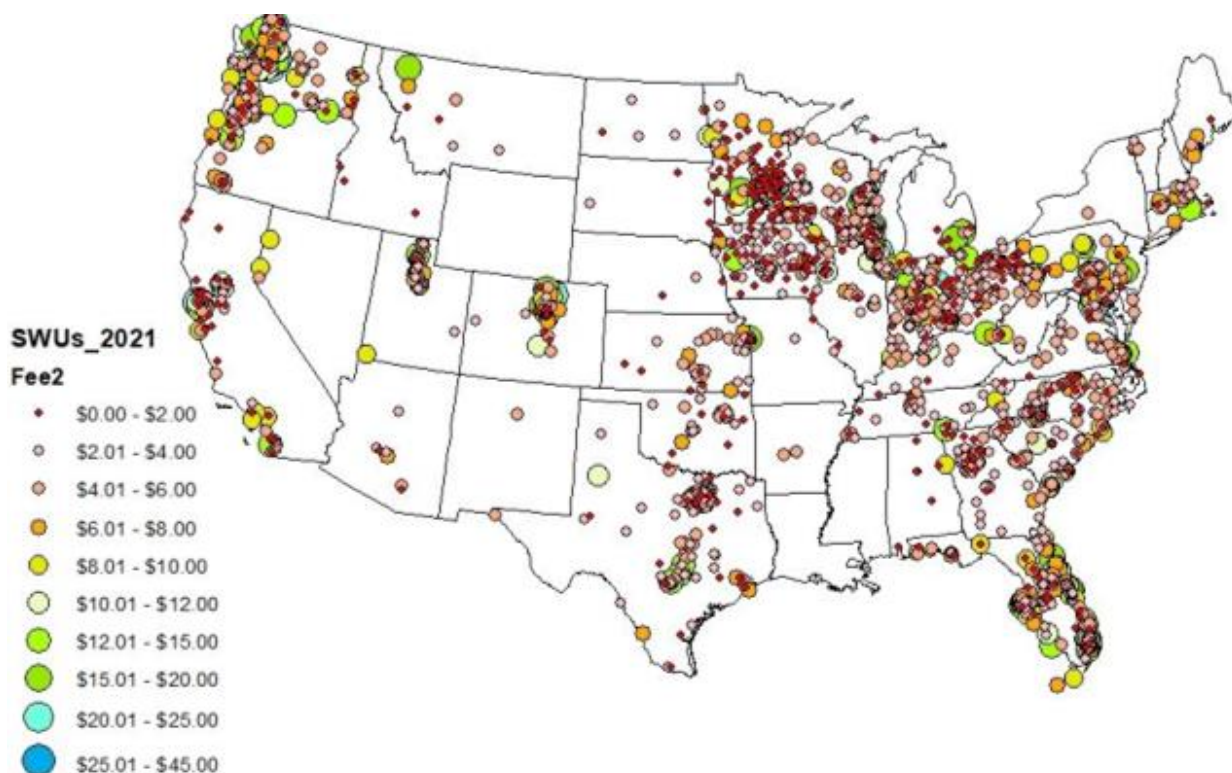
O programa NPDES cresceu significativamente desde então. Nos anos 80 e 90, questões organizacionais e financeiras dos programas de águas pluviais começaram a aparecer em jornais e anais de conferências. A partir dos anos 90, poucas pesquisas e estudos de caso de concessionárias de águas pluviais foram publicadas (GRIGG, 2012). Como o NPDES não prevê qualquer dotação orçamental para administrar o programa de licenças e cumprir os rigorosos padrões de descarga, as cidades passaram a desenvolver taxas para gerenciar os serviços públicos de águas pluviais como um mecanismo eficaz para financiar suas obrigações legais.

Desde então, Campbell e Bradshaw (2021) identificaram 1.851 concessionárias localizadas em 41 estados e no Distrito de Columbia. Os autores acreditam que existam mais de 2.000 concessionárias. Esta alta quantidade reflete as necessidades de gestão das águas pluviais e a realidade política local, demonstrando a importância dada à questão das águas pluviais nos EUA. Embora o número de concessionárias possa parecer grande, torna-se pequeno quando comparado ao número de 22.389 comunidades computadas como participantes do Programa Nacional de Seguro contra Enchentes (NFIP), o que significa que há concessionárias em menos de 10% desse total. Apesar do longo histórico, os principais desafios que permanecem para as comunidades, independentemente de seu tamanho, estão relacionados à adequação do financiamento e do apoio público, que são agravados pelo envelhecimento da infraestrutura pluvial (BLACK; VEATCH, 2021).

O sistema de taxas mais popular é o ERU (área impermeável média em um lote residencial unifamiliar). A taxa média para uma residência unifamiliar é de US\$ 5,94 (R\$29,73)³, para a ERU de 285,4m² de área impermeável. As taxas variaram de zero a US\$ 45 (R\$225,23) por mês (Figura 2.2) e vão aumentando ao longo do tempo de acordo com o Índice de Preços ao Consumidor (IPC). Os parâmetros para cobrança, em especial a AIT, são estimados prioritariamente por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (BLACK; VEATCH, 2021).

³ Conversão realizada para o ano de referência do valor na época da publicação.

Figura 2.2- Distribuição espacial das taxas mensais de águas pluviais nos EUA.



Fonte: Campbell e Bradshaw (2021)

Apesar da cobrança e da ampla implantação, EPA (2008b) cita que os programas de águas pluviais parecem subfinanciados quando em comparação com outros tipos de iniciativas de melhoria da poluição da água.

- **Alemanha**

Na Alemanha, foram introduzidas taxas de gestão de águas pluviais em várias cidades desde a década de 1990, com base no princípio do poluidor-pagador (TABUCHI, 2002)). Atualmente, a Alemanha segue a Diretiva Quadro da Água (DQA) da União Europeia (2000/60/CE), adotada no ano 2000. A DQA é o principal instrumento da Política relativa à água e, como a sua proteção e gestão transcendem as fronteiras nacionais, considera o planejamento em nível de bacia hidrográfica e ecossistemas. A DQA visa a proteção dos recursos hídricos das comunidades de modo a promover o uso sustentável da água, proteger tanto os ecossistemas aquáticos quanto os terrestres e zonas úmidas associadas, bem garantir a utilização sustentável da água a longo prazo. Esta DQA define um calendário preciso, sendo 2015 o prazo que todas as águas europeias deveriam estar em boas condições.

A DQA é complementada por legislações mais específicas, como a Diretiva Água Potável, Diretiva Águas Balneares (águas interiores, correntes e paradas, águas estuarinas e águas costeiras), Diretiva de Águas Subterrâneas, Diretiva de Nitratos (de origem agrícola), Diretiva de Águas Residuais Urbanas, a qual inclui as águas pluviais, Diretiva de Normas de Qualidade Ambiental, Diretiva de Inundações e a Diretiva de Estratégia Marinha (EUROPARL, 2019). Desta forma, a DQA passou a regular a poluição de fontes urbanas, o que possibilitou melhorias significativas na qualidade das águas europeias.

Apesar dos grandes avanços, pouco material foi encontrado sobre taxas de águas pluviais. Matej-Lukowicz e Wojciechowska (2015) afirmam que muitos municípios cobravam uma taxa determinada com base no consumo de água, já que muitos sistemas são unitários, o que não era justo. Assim, a taxa de drenagem tinha por base o consumo de água, não possibilitando descontos ou motivação para redução do escoamento. A partir da ideia de mudança para um sistema mais justo, baseado nos princípios mencionado, na maioria dos estados foi introduzida a taxa para áreas impermeáveis, mas apenas com um valor em torno de apenas 20 a 75% dos custos de gestão de águas pluviais e efluentes (VIETZ; WHITEOAK; EHRENFRIED, 2018).

A cidade de Hamburgo criou um projeto chamado RISA (Adaptação da Infraestrutura de Chuva), desenvolvido para o período de 6 anos (2009-2015) e posteriormente prorrogado. RISA foi criado para fornecer respostas adequadas sobre o manejo da água da chuva, a fim de evitar alagamentos e poluição da água resultante do transbordamento combinado de esgoto e escoamento urbano urbano. O projeto aborda um novo mecanismo de financiamento para o MAPLU, introduzindo uma cobrança específica em 2012. Os custos gerais foram divididos em custos de capital e custos operacionais de modo separado da cobrança pelo esgoto sanitário, totalizando 263 milhões de euros somente em 2012. A cobrança é calculada pelos custos anuais globais dos serviços de águas pluviais em proporção à área total conectada ao sistema público de esgoto. Esta área média foi calculada como 105m², correspondendo a 0,73 €/m² (R\$2,75/m²) por ano e deve ser paga por todas as propriedades com ligação à rede de esgoto (Bertram *et al.*, 2017).

Novaes e Masques (2022) descrevem que existem duas formas de calcular a área impermeável: por estimativa, de acordo com o zoneamento (e.g. Munique, desde 1970), ou por medição (e.g. Hamburgo, desde 2012; Dresden, desde 1998; e Baden-

Wuerttemberg, desde 2010). Em Munique, mapas com cores identificam os coeficientes de escoamento, sendo 0,9 para a zona azul, no centro da cidade; 0,6 para as faixas róseas, nas regiões intermediárias, entre o centro e a periferia; 0,5 para as áreas suburbanas externas (laranja); e 0,35 para lotes residenciais na periferia (verde). Os autores também descrevem seu efeito positivo: redução da área de impermeabilização de 240.000 m²/ano em Munique com recarga de água subterrânea de 3.000 ML; 10% de redução na área de impermeabilização por pessoa em Dresden; e no estado de Baden-Wuerttemberg, 48% das cidades relataram reduções após a implementação da taxa. Também foram observadas a redução das quantidades tratadas nos sistemas combinados em Munique e Dresden, permitindo a otimização de processos e adiando atualizações de infraestrutura dos sistemas existentes (VIETZ *et al.* 2018).

Em termos de valores, Oelmann *et al.* (2014) descrevem as taxas anuais médias de águas pluviais de algumas grandes cidades, variando de 0,66 a 1,82 € / m² (R\$1,99 – R\$5,51/m²), com média de 1,13 € / m² (R\$3,41/m²).

Tabela 2.2- Valor de taxas de águas pluviais de cidades alemãs, em 2014

Cidade	Habitantes	Taxa (€ / m ² /ano)	Taxa (R\$ / m ² /ano)
Berlin	3.502.000	1,82	5,51
Hamburg	1.799.000	0,73	2,20
Munich	1.378.000	1,30	3,92
Cologne	1.017.000	1,30	3,92
Stuttgart	613.000	0,66	1,99
Düsseldorf	592.000	0,98	2,95
Média	1.483.500	1,13	3,41

Fonte: Adaptado de Oelmann *et al.* (2014). Nota: Conversão realizada para o ano de referência (2014)

Em geral, observa-se uma tendência crescente na implantação de infraestruturas verdes para adaptação e mitigação às mudanças climáticas e para a gestão de risco de desastres, tanto na Alemanha como em outros países da União Europeia. Os mecanismos de financiamento para apoiar esta infraestrutura verde também têm sido estudados.

- **Australia**

Coombes (2015) descreve o início do MAPLU na Austrália, no qual a drenagem de águas pluviais evoluiu a partir de resíduos combinados (lixo, esgoto e águas pluviais), que causavam inundações frequentes, para resíduos unitários. Assim, foi realizada a separação da infraestrutura de esgoto e águas pluviais, bem como a criação de soluções de drenagem. A partir dos anos 90, o MAPLU evoluiu para incluir também a proteção de cursos de água, a mitigação da qualidade de águas pluviais urbanas, o Desenho Urbano Sensível à Água (WSUD) e a Gestão Integrada do Ciclo da Água (IWCM), que incorporam uma abordagem integrada ao ciclo urbano da água. Isso inclui a gestão do abastecimento de água, esgoto, águas subterrâneas, águas pluviais, uso do solo e proteção ambiental. Estes conceitos mudaram a forma como os gestores das águas urbanas e outros profissionais envolvidos passaram a planejar a inserção da água nas paisagens urbanas (WONG, 2006).

Entre 1997 e 2009, a Austrália experimentou uma seca severa conhecida como 'A grande seca' (FLOYD *et al.*, 2014), a qual trouxe mudanças no setor de águas urbanas. A conservação de água, coleta, reciclagem e reutilização de águas pluviais passaram a ser inseridas no MAPLU para atender aos múltiplos usos e objetivos (ARR, 2015). Assim, as águas pluviais passaram a ser vistas como um potencial recurso para abastecimento e não como um produto residual. As mudanças na ideia de sustentabilidade caracterizaram-se pelo foco na saúde aquática e pela reorientação da visão de fonte de poluição pontual para difusa, refletida na lógica da qualidade da água que se tornou mais restritiva com normas e monitoramentos baseados na ecologia aquática (NOVAES; MARQUES, 2022).

Apesar dos avanços significativos, a implementação das abordagens de MAPLU tem sido limitada. Esse problema tem origem nas amplas barreiras sociais e institucionais, como capacidade e conhecimentos insuficientes, resistência organizacional à mudança, falta de vontade política, incentivos regulatórios limitados e inércia institucional (BROWN, 2005). Estas barreiras estão além das preocupações atuais de consolidar a experiência em processos tecnológicos e de planejamento. Os especialistas indicam que é necessária uma reforma institucional para melhorar a SWU no país.

O MAPLU é de responsabilidade do governo estadual e local, mas há pouco incentivo para que as concessionárias de águas desenvolvam estratégias de gerenciamento de recursos hídricos. Os governos locais têm recursos limitados para a MAPLU. Desta forma, um dos principais impedimentos para o MAPLU sustentável

é a falta de financiamento suficiente e incentivos de mercado efetivos para que se reduza a impermeabilização. Para resolver isso, o governo vem estudando incentivos financeiros, como os subsídios ou redução das taxas de águas pluviais (ROY *et al.*, 2008). Apesar da Austrália ser citada em muitas literaturas como um exemplo de MAPLU, poucas menções diretas à taxa de águas pluviais foram encontradas. O Comitê de Referências de Meio Ambiente e Comunicações da Austrália recomendou que o governo restaure o financiamento para pesquisa de águas pluviais, uma vez que as receitas coletadas das tarifas de águas pluviais não são usadas apenas para o MAPLU (AUSTRÁLIA, 2015).

Menções à existência de taxas foram observadas nas cidades de Logan e Melbourne. O conselho municipal de Logan adotou uma taxa a partir do método de valor por área, com diversas categorias (\$ / habitação), como residencial ou acomodação com base na quantidade de habitação do quarto. Existem penalidades sérias aplicáveis quando medidas preventivas não forem tomadas para minimizar a entrada de contaminantes nas águas receptoras ou galerias na estrada. Entre elas estão as multas de A\$ 1.100 (R\$ 2.792,81) até A\$5.500 (R\$ 13.964,07) para pessoas físicas e jurídicas, respectivamente, bem como processos e penalidades judiciais (LCC, 2017). Além disto, a cidade também apresenta uma espécie de calculadora que estima sua taxa e seus incentivos com base no lote selecionado. Já em Melbourne, é cobrada uma taxa fixa para os residentes que estão em uma das áreas de drenagem de águas pluviais. A taxa trimestral é de A\$24,62 (R\$48,49) para residências de baixo impacto e de áreas não residenciais menores que 200 m², até 5.107,59 A\$ (18.195,79 BRL) para áreas não residenciais maiores que 45.000 m² (Sydney Water, 2021). Além disso, há descontos para aqueles que realizam a retenção de águas pluviais no lote.

- **Canadá**

A partir de 1999, muitas cidades do Canadá começaram a discutir mecanismos de financiamento do MAPLU, no entanto, poucas adotaram uma taxa de águas pluviais. A primeira cidade a implantar uma taxa de águas pluviais foi Regina, em 1992 (CAMERON *et al.*, 1999), mas esse número não cresceu significativamente. Em 2012, haviam 17 concessionárias de águas pluviais (AECOM, 2013), aumentando para 21 em 2016 (Campbell *et al.*, 2016), 29 em 2018 (Campbell, 2018) e 48 em 2021 (CAMPBELL; BRADSHAW, 2021). O'Neill e Cairns (2016) citam que essa baixa

adesão deve-se à ausência de regulação e imposição normativa para controle da poluição carreada pelas águas pluviais, mesmo que 56% das cidades com população igual ou maior que 100 mil habitantes enfrentem problemas ambientais relacionados ao MAPLU (OPOKU-BOATENG, 2005).

As comunidades que possuem taxas localizam-se próximas às fronteiras com os EUA, cuja regulação é considerada bastante evoluída. Assim, acredita-se haver uma certa comunicação entre fronteiras, desenvolvendo o setor nas cidades cadanenses mais próximas (CAMPBELL, 2018). Dentre as comunidades que realizam a cobrança pelos serviços de MAPLU, Campbell e Bradshaw (2021) citam que o principal método é o Sistema de dois níveis (*dual fee systems*) (residencial/comercial), aplicado por 32% das concessionárias, seguido de taxas fixas (23%). A taxa média mensal foi de CD\$ 10,67 (R\$43,04), variando de CD\$2,58 (R\$10,40) (taxa fixa) a CD\$38,35 (R\$154,68) (método ID). As 3 cidades que aplicam o método ERU, possuem média de 228,6m², com valor médio mensal de CD\$7,2 (R\$29,04).

- **França**

Na França, a idealização da taxa de águas pluviais começou durante a formulação da Lei da Água em 1992. Mal sucedida nesse período, o governo a propôs novamente em 2005, apoiada pela lei Grenelle II, que discutia os compromissos nacionais para com o meio ambiente associados a uma taxa anual: o imposto de águas pluviais urbanas (NOUVEAU *et al.*, 2013). A lei visava evitar as inundações e a poluição carreada aos corpos de água, bem como resolver os problemas relacionados ao financiamento do MAPLU. Como uma implementação opcional, a taxa deveria lidar com os dividendos duplos das taxas ambientais, que são o incentivo à postura ambiental adequada dos pagadores e da geração de rendimentos para cobrir as dificuldades de financiamento (CHIROLEU-ASSOULINE, 2001).

A criação do imposto gerou temores no ambiente político, já que a introdução de um novo imposto seguido de sanções eleitorais durante o período de eleição municipal poderia ameaçar a atratividade econômica do território (NOUVEAU *et al.*, 2013). De fato, a transversalidade das questões relacionadas à gestão da água da chuva fez a questão do financiamento deste serviço ser muito complexa na França. O serviço de águas pluviais é um serviço público de natureza administrativa, financiado por orçamento geral das comunidades, diferentemente do serviço de saneamento de

águas residuais, que é um serviço público, industrial e comercial, cujo financiamento é muito diferente (CARRON; GUÉNÉGOU, 2013). Devido à complexidade e temores no meio político, a cobrança da taxa de MAPLU foi abolida no final de 2014, pela lei nº 1654/2014.

A taxa estava relacionada com a área impermeável de uma propriedade, a qual deveria ser informada em um formulário registrado pelo proprietário. O valor era definido por assembleia deliberativa de um determinado município ou de outro grupo competente e não deveria exceder o limite de € 1 por m² (R\$2,88/m²) (CARRON; GUÉNÉGOU, 2013), e poderia ter uma redução de 20% a 100% no caso de detenção no lote. A complexidade do tema e políticas de controle associadas ao custo inicial e a novidade do instrumento são as razões pelas quais apenas quatro comunas (dentre mais de 36.000) introduziram a taxa: Douaisis, Prévessin-Moëns, Sauzé-Vaussais e Syage (NOUVEAU *et al.*, 2013). As taxas variavam de 0 € a 360 € (R\$816) por ano (Tabela 2.3).

Tabela 2.3- Taxas de águas pluviais implantadas na França

Comuna	Ano de implantação	Tarifa		Superfície mínima impermeável (m ²)
		(euro/m ²)	R\$/m ²	
Douaisis	2011	0,05	0,11	500
Prévessin-Moëns	2011	0,20	0,45	100
Sauzé-Vaussais	2011	0,50	1,13	-
Syage	2012	0,60	1,36	600

Fonte: Adaptado de Nouveau *et al.* (2013).

A comuna de Douaisis é formada por 35 cidades, mas exerce jurisdição de águas pluviais em 26. Em 2011, foi aplicada uma 'pré taxa' às residências com superfície mínima de 500m², de apenas 0,05 euros/m² (R\$0,11/m²) como forma de garantir a sua introdução. Mesmo com esse baixo valor, estimou-se que o imposto deve ter gerado três vezes as receitas brutas (€ 750.000 / ano) (R\$ 1.703.625,00) de contribuições comunitárias anteriores. Para a comuna de Prévessin- Moëns, uma pequena comunidade de 7.600 habitantes localizada em um subúrbio de Genebra, foi considerada uma superfície mínima impermeável de 100 m² (habitações suburbanas) e 0,20 euros/m² (R\$ 0,45) (NOUVEAU *et al.*, 2013). Para a comuna de Sauzé-Vaussais, uma pequena vila com menos de 2 mil habitantes, não foi considerada uma superfície mínima de impermeabilização. A taxa era de 0,50 euros/m² (R\$1,13/m²). Já a comuna de Syage, com 600 m² e uma taxa de 0,60

euros/m² (R\$1,36/m²), almejou cobrar dos maiores proprietários, ou seja, os que mais contribuem no escoamento das águas pluviais. Para promover a aceitação desta taxa, a comuna trabalhou paralelamente uma redução na taxa de tratamento das águas (NOUVEAU *et al.*, 2013).

Carron e Guénéguou (2013) apresentam algumas dificuldades para criação deste novo imposto, que englobavam o cálculo e implementação da taxa, os custos das atividades econômicas e municipais, a aceitação social e a não recuperação da taxa paga pelos locatários de imóveis (Quadro 2.4).

Quadro 2.4- Dificuldades na aplicação de taxas de águas pluviais na França

Dificuldade	Descrição
Cálculo	O cálculo foi feito com base na área cadastral do terreno, a superfície das fachadas poderiam ser consideradas. Assim, prédios altos geram fluxos de escoamento bem além de sua superfície no solo.
Custo das atividades econômicas	O imposto era aplicado em áreas urbanas, penalizando as atividades econômicas localizadas neste meio.
Os custos para os municípios (estradas, edifícios e áreas públicas) na gestão da taxa	Cerca de metade da taxa era direcionada para a gestão de estradas, edifícios e áreas públicas. A percepção de um imposto só faz sentido se os encargos transferidos são individualizados.
Custo de implementação e recuperação	Se a taxa é baixa, as despesas de instalação e de recuperação podem consumir uma parte significativa das receitas.
Aceitação social	A implantação da taxa pluvial pode levar a um aumento dos impostos totais na ordem dos 20 a 60%, de acordo com o caso, o que pode dificultar a aceitação social.
Recuperação da taxa dos inquilinos	Existe um decreto que fixa a lista de encargos recuperáveis entre locatários e inquilinos. A taxa pluvial não pode ser repassada aos inquilinos pelos locatários.

Fonte: Adaptado de Carron e Guénéguou (2013).

- **China**

O governo central chinês iniciou a iniciativa cidades-esponjas⁴ (SCI) em 2014 para compensar os impactos adversos dos desenvolvimentos urbanos e resolver os problemas relacionados à água. Como resultado do programa, Yuming *et al.* (2020) descrevem que centenas de cidades iniciaram a SCI com mais de 12 mil km² de terra a serem adaptadas/desenvolvidas para atender as metas até 2030. Ao enfatizar as práticas de gestão de águas pluviais com “soluções naturais”, muitos resultados positivos foram alcançados. Contudo, Yuming *et al.* (2020) descrevem dois grandes desafios: operação e manutenção (O&M) e taxas de águas pluviais.

Como a maioria dos setores privados não tem interesse em investir nos projetos da Cidade Esponja, diferentes autores (e.g. Wang; Sun; Song; 2020; Yuming *et al.*, 2020) acreditam que as taxas de águas pluviais podem ser uma fonte importante para apoiar financeiramente as construções, bem como as necessidades intensivas de O&M. Embora não hajam taxas sendo cobradas, cidades como Xangai e Shenzhen estão desenvolvendo pesquisas exploratórias, além da solicitação do governo de estudos sobre taxas de drenagem de águas pluviais a partir dos países estrangeiros (YUMING *et al.*; 2020).

No meio acadêmico, Wang, Sun e Song (2020) estudaram a disposição do público em aceitar um aumento na taxa de águas residuais para a construção de cidade-esponjas. 36% dos entrevistados afirmaram que não queriam pagar pelo aumento na taxa e, em média, os entrevistados estavam dispostos a pagar por um aumento de 17,34% do preço atual da água.

- **Polônia**

As taxas de águas pluviais foram introduzidas na Polônia com base em dois atos jurídicos elaborados em 2001: Lei de proteção ambiental e a Lei da Água. A introdução desta taxa gerou muita controvérsia, tanto em termos legais como sociais (Burszta-Adamiak, 2014). Isso ocorreu devido ao mal entendido sobre a legislação e ao fato de que a campanha de informação para os moradores foi considerada negligente.

⁴ O termo "Cidade Esponja" apareceu oficialmente pela primeira vez em um discurso do presidente chinês Xi Jinping em 2013, onde ele pediu a construção de Cidades Esponjas, que são capazes de “armazenamento natural, infiltração e purificação” (QIAO; LIAO; RANDRUP, 2020).

Em 2003, a cidade de Pila foi pioneira na introdução de uma taxa de águas pluvias, exemplo seguido por outras cidades, como Ostrow Wielkopolski, Nysa, Bielsko-Biała, Poznan, Biala Podlaska e Boleslawiec. O objetivo era incentivar os usuários a gerir a água de forma racional, bem como limitar a carga de poluição e cobrir os custos associados à drenagem e à construção de instalações para tratamento de águas pluviais e neve derretida (Burszta-Adamiak, 2014). Em 2006, o decreto tarifário que determina os métodos de cálculo de águas pluviais e a descarga de neve derretida entrou em vigor. Matej-Lukowicz e Wojciechowska (2015) explicam os dois métodos existentes:

- Em função do volume escoado de água da chuva (método do volume);
- Em função da área impermeável pela qual escoam água pluvial e neve derretida (método da superfície).

O método do volume pode ser determinado por meio da leitura de medidor de vazão ou por cálculos baseados em dados de campo e meteorológicos. A principal crítica a este método refere-se à dificuldade de determinar se o volume da precipitação é proporcional ao nível de escoamento para o sistema de drenagem. Já o segundo método calcula o tamanho da superfície segundo seu tipo e a forma de desenvolvimento espacial para o qual 1 m² da área escoam para o sistema municipal de drenagem de águas pluviais, parecendo um método mais justo.

Rosiek (2016) relata que 79 municípios poloneses introduziram taxas de águas pluviais, dos quais 34 cobram pelo volume de águas residuais descarregadas e 45 cobram com base nas superfícies impermeáveis. Nos municípios que utilizam este último método (e que tem dados disponíveis), as taxas variam de 0,31 a 7,06 PLN / m² (R\$ 0,22 – 5,08/m²).

Tabela 2.4 – Taxas de águas pluviais e neve com base na área impermeável

Cidade/Comuna	Preço líquido*	
	PLN/m ²	R\$/m ²
Cidade de Wagrowiec	1,65 - 2,6	1,19-1,87
Cidade de Radom	0,92 -1,12	0,66 - 0,80
Cidade de Tarnobrzeg	3,24	2,33
Cidade de Elblag	1,10	0,79
Comune de Zawiercie	0,31 - 0,52	0,22 - 0,37
Comune de Czarnkow	0,72 - 0,96	0,52- 0,69
Comune de Bielsko-Biala Jawor, Wilkowice	4,14 - 7,06	2,98 – 5,08

Cidade/Comuna	Preço líquido*	
	PLN/m ²	R\$/m ²
Comune de Kluczbork	1,08 - 1,32	0,78 – 0,95
Gmina Nysa	0,35 - 0,65	0,25 – 0,47
Comune de Zory	1,44 - 3,48	1,04 – 2,50
Comune de Koszalin	2,11	1,52
Comune de Kedzierzyn Kozle	1,80	1,29

Nota: * Uma taxa de bens e serviços de 8% é adicionada aos preços líquidos. Fonte: Adaptado de Burszta- Adamiak (2014).

Em 2018, a gestão de águas pluviais e a gestão de água da neve teve transformações com a adesão à nova Lei de Águas, passando a integrar os sistemas de água em vez dos sistemas de drenagem. A cobrança, de acordo com a Nova Lei das Águas, para serviços relacionados à drenagem das águas pluviais e da neve, consiste agora em uma taxa fixa somada à uma taxa variável, que depende da existência ou não de sistema amortizadores de vazão no local (Art. 270, item 11, The New Water Law, 2017). O valor da taxa fixa para drenagem urbana é calculado como o produto da taxa unitária e da quantidade máxima de água que pode ser consumida. Já a taxa variável é calculada como o produto da taxa unitária, a quantidade de água consumida, e o período em anos, levando em consideração a existência, ou não, de instalações que possam amortecer os impactos gerados pelo escoamento superficial. Os valores são determinados e cobrados pela agência do estado, que notifica e obriga as entidades a pagarem a taxa.

A nova legislação introduziu novos estudos e novas metodologias de cobrança. Boguniewicz-Zablocka e Capodaglio (2020) descrevem as taxas cobradas em algumas cidades polonesas, com uma base no país de 0,75 PLN/m³ (R\$ 0,85 /m³) em valores anuais. Entretanto, caso uma gestão local das águas pluviais esteja instaurada, e métodos de retenção alcancem valores superiores a 30% do volume escoado, o valor base da taxa pode ser reduzido em até 10 vezes.

- **África do Sul**

O MAPLU na África do Sul é realizada de modo semelhante ao Brasil. Nesses países, o MAPLU é realizado diretamente pelos municípios, os quais apresentam muitas restrições orçamentárias e nenhum ou pouco planejamento das águas pluviais. Devido à baixa qualidade da água nas áreas urbanas, estratégias foram discutidas

para monitorar e gerenciar a poluição transportada pelo escoamento de águas pluviais. Neste país, os cidadãos pagam pela água potável e pelo saneamento básico, excluindo a drenagem urbana, que é financiada por taxas municipais gerais. Como resultado, o MAPLU tem falta de recursos e, pela competição com outras prioridades, acaba não recebendo nenhum investimento. Portanto, esse cenário exige formas alternativas de financiamento (FISHER-JEFFES; ARMITAGE, 2013).

Fisher-Jeffes e Armitage (2013) estudaram o desenvolvimento de uma taxa de águas pluviais usando o método de custo de prevenção de danos. Este método representa os custos ambientais iniciais de uma operação do sistema de águas pluviais, o que significa o custo do ciclo de vida do tratamento a padrões legais aceitáveis. Além disso, o método pressupõe os custos da construção de uma estação de tratamento virtual. A ferramenta não inclui os custos associados à instalação e manutenção da rede de águas pluviais. A taxa é uma soma dos custos de aquisição de terrenos para a estação de tratamento e custos de tratamento de águas pluviais e manutenção da estação.

O método foi simulado em três municípios do África do Sul (Cidade do Cabo, Tshwane e Ethekwini) e considerou os lotes residenciais com 160 m² de áreas impermeáveis. A aquisição de terras teve uma variação significativa dentro da mesma cidade, o que influenciou a diferença entre os resultados. A taxa mensal total variou de 58ZAR – 91 ZAR (R\$ 11,97 – R\$ 18,78) por unidade residencial.

- **Equador**

Há uma cobrança de taxa de águas pluviais em Guayaquil, a maior cidade do Equador, relatada por Mejía *et al.* (2015). O cálculo baseia-se no consumo medido de água potável, o que significa que não há relação direta com o prestação de serviços de águas pluviais. A média mensal da taxa variou de US\$ 0,25 (R\$ 0,77) (consumo de 1 a 15 m³) a US\$ 120,00 (R\$ 374,22) (consumo maior que 5.001 m³).

2.1.2.2 Experiências Nacionais

No Brasil, não há regulação nacional sobre as águas pluviais, apesar das menções diretas ou indiretas nas legislações nacionais. Como a gestão de saneamento está na fase de tratamento de esgoto, a questão das águas pluviais é considerada baixa prioridade. Isso se deve, em parte, à própria delegação dos serviços, que são realizados diretamente pela própria administração direta municipal

(prefeitura), diferente da maior parte da delegação dos serviços de água e esgotos. O próprio Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) só passou a descrever este componente em 2015, sendo que água e esgotos são analisados desde 1995 e resíduos sólidos urbanos desde 2002.

As prefeituras enfrentam diversos problemas para gerir os sistemas de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas, como a falta de profissionais qualificados, indisponibilidade de recursos financeiros, ausência de normas técnicas específicas, falta de integração tanto com os demais componentes do saneamento básico como também com as demais políticas urbanas. Pode-se afirmar que o serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas é o tipo de serviço de saneamento básico de menor grau de institucionalização no país, tratada, na maioria das cidades, como um apêndice do sistema viário (MONTENEGRO, 2017).

Os conceitos sustentáveis que dão ênfase ao manejo das águas pluviais em vez de simplesmente drenar as águas (ou transferir a enchente) não têm sido aplicados, embora existam significativas contribuições da área acadêmica nacional (e.g. Tassi *et al.*, 2004; Melo *et al.*, 2014). Em geral, as ações em MAPLU são emergenciais, esporádicas e quase sempre reativas após a ocorrência de desastres. O conhecimento das características das unidades do sistema orienta a instalação de infraestruturas para reduzir riscos de eventos hidrológicos impactantes (enxurradas, alagamentos e inundações). Para tal, Brasil (2021) cita dois instrumentos referenciais: o Plano Diretor de Drenagem (PDD) e o cadastro técnico de obras lineares (captações, galerias, reservatórios, dentre outros). Apesar da importância, apenas 714 municípios (17,4%) apresentam um Plano Diretor de Drenagem (PDD) e mais da metade (65,2%) não conhece os sistemas de drenagem existentes devido à inexistência de cadastro técnico de obras lineares (BRASIL, 2021). Ainda, 1.206 municípios (29,4% dos 4.107) não realizam nenhum tipo de intervenção ou manutenção nos sistemas.

Apesar da cobrança ser prevista pela Lei do Saneamento Básico⁵ (Lei 11.445/2007) e pelo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), apenas 24 (0,6% dos 4.107 participantes do SNIS) municípios afirmaram que possuem algum tipo de cobrança pelos serviços de águas pluviais. Destes 24, 12

⁵ “a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança dos serviços” (art. 29)

referem-se a taxas específicas e 12 referem-se a tarifas⁶. Uma cobrança específica é a alternativa que garantiria, em tese, a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de MAPLU. Essa baixa adesão deve-se principalmente às dificuldades técnico-operacionais e legais para a sua aplicação, já que é difícil de quantificar o volume de água das chuvas que cada lote lança no sistema público de drenagem. Isto obriga a um esforço de individualização do volume de água das chuvas que cada lote lança no sistema público de drenagem. Do ponto de vista tributário, a cobrança pelos serviços de MAPLU deve ser feita por meio de taxa específica, amparada por legislação municipal, exigindo-se que seja um serviço específico e divisível. Contudo, como se vê pela experiência internacional, a instituição de uma nova taxa é um ônus político para o governante, no caso, o prefeito.

Dos municípios com cobrança (Tabela 2.5), observa-se que muitos são de pequeno porte (< 20 mil habitantes) e, dada a inconsistência (variabilidade anual) deste indicador do SNIS, acredita-se que se trata de declarações equivocadas dos gestores municipais.

Tabela 2.5 - Municípios que declararam possuir uma cobrança de taxa específica de drenagem urbana

Nome	UF	População urbana residente	Quantidade total de imóveis urbanos tributados	Valor cobrado por imóvel urbano
		habitantes	imóveis	R\$/imóvel/mês
Santo André	SP	721.368	216.769	2,29
São Leopoldo	RS	237.702	70.389	13,56
Montenegro	RS	59.321	28.921	72,26
Confresa	MT	17.846	8.656	35,40
Cafelândia	SP	15.500	6.000	20,35
Bicas	MG	13.812	6.826	18,00
Marcionílio Souza	BA	5.251	2.500	2,10
Colômbia	SP	4.492	3.650	50,00
Cândido de Abreu	PR	4.225	1.708	45,00
Encanto	RN	2.308	1.500	0,20
São José do Povo	MT	2.148	537	22,80
Mateiros	TO	1.740	300	43,78

Fonte: Extraído a partir de Brasil (2021)

Para os três maiores municípios (Santo André, São Leopoldo e Montenegro), que são municípios de médio e grande porte, fez-se uma pesquisa para avaliar a taxa

⁶ Maiores detalhes sobre a diferença entre esses instrumentos são apresentadas no capítulo 2.3.

específica implantada (Quadro 2.5). Destes municípios, Montenegro informou ao SNIS que o sistema é unitário (quando 100% do sistema de drenagem recebe águas pluviais e esgotos), não se sabendo se a taxa cobrada é efetivamente uma taxa de esgoto somado à drenagem. Pelo alto valor, acredita-se que sim. Para São Leopoldo não foram achadas informações sobre a taxa de drenagem.

Quadro 2.5- Valor da taxa específica cobrada pelos municípios de médio e grande porte no Brasil

Município	Imóveis (2021)	Valor da taxa R\$/imóvel./mês (2021)	Receita anual total com o serviço (2021)	Despesa anual total com o serviço (2021)	Legislação municipal	Descrição de cobrança
Santo André (SP)	216.769 imóveis	2,29	5.944.749,78	9.202.435,19	Lei municipal nº 7.606, de 23/12/1997	Os custos da operação e manutenção dos sistemas de macro e microdrenagem são divididos entre cada lote segundo a contribuição volumétrica das águas provenientes de cada unidade imobiliária lançada no sistema público de drenagem pública. O valor da taxa mensal considera o custo médio mensal do serviço e o volume de águas pluviais produzido por cada imóvel. O cálculo da taxa leva em conta, também, o índice pluviométrico mensal do município, o coeficiente de impermeabilização e a área coberta do imóvel. É cobrada na conta de saneamento ambiental do SEMASA.
São Leopoldo	70.389	13,56	11.257.741,42	7.478.599,69	<i>Sem informações</i>	<i>Sem informações</i>
Montenegro (RS)	28.921	72,26	1.449.122,00	226.750,60	Lei Complementar nº 4.010, de 03/12/2003	São diferenciados conforme os cinco tipos de uso das edificações: a) templos, escolas, clubes e ginásios; b) residências, comércios e serviço 1 (comércio e serviço em geral); c) comércio e serviço 2 (restaurantes, supermercado, oficinas, postos de gasolina, lavagem e lubrificação e hotéis); d) indústria 1 (indústria em geral); e) indústria 2 (indústria de alimentos e bebidas, química, curtição e tanantes). A taxa anual da drenagem é cobrada junto aos demais serviços urbanos de taxa de lixo e o próprio IPTU, no boleto do IPTU.

Fonte: Adaptado de Brasil (2019, 2021)

A cidade de Santo André, no Estado de São Paulo (SP), foi a primeira a implementar uma taxa de águas pluviais no Brasil, em 1998. A taxa divide o custo do serviço de operação e manutenção dos sistemas de micro e macrodrenagem entre os imóveis usuários do sistema, segundo a contribuição volumétrica das águas advindas de seu respectivo lote lançadas no sistema de drenagem urbana, e tem por base o índice pluviométrico médio histórico do Município (dos últimos 30 anos) associado à área coberta de cada imóvel (impermeabilizada). O valor mensal da taxa de drenagem, “TD”, é obtido pela multiplicação do custo médio mensal do serviço pelo volume lançado pelo imóvel, de acordo com a seguinte fórmula:

$$TD = p \times V \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

TD= a taxa de drenagem, em unidade monetária vigente;

p= Custo médio mensal, por metro cúbico do sistema de drenagem.

V = volume lançado pelo imóvel, em m³.

Por sua vez, o custo médio mensal, por m³, do sistema de drenagem “p” é calculado da seguinte forma:

$$p = P/V_T \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que

P= Custo total mensal do sistema de drenagem, em unidade monetária vigente;

V_T é o volume mensal produzido na área urbana do Município.

A contribuição volumétrica individual “V_T” é calculada mediante aplicação da seguinte equação:

$$V_T = 1,072 \times 10^{-7} \times c \times i \times A \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

V_T= volume lançado pelo imóvel j, em m³;

c=coeficiente de impermeabilização, em un.

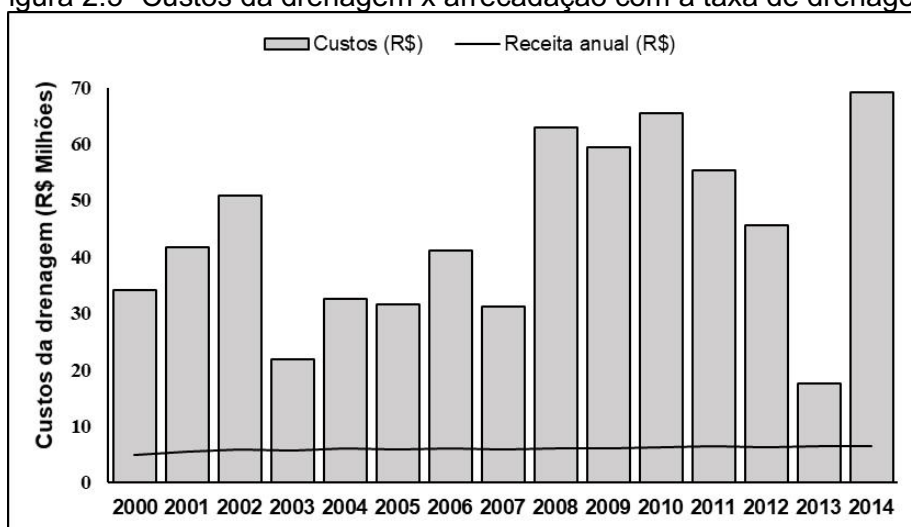
I= o índice pluviométrico, em mm/h, calculado para o município de Santo André

A é a área coberta do imóvel, em m².

Contudo, esta taxa foi suspensa em 2012, suspensão aplicável somente aos contribuintes que entraram na justiça. A taxa foi considerada ilegal, pois o método de cálculo não era individualizado para cada contribuinte. A taxa foi muito importante para a gestão da drenagem no município, com a arrecadação média de cerca de R\$ 6 milhões por ano. Os

valores médios cobrados, segundo Forgiarini *et al.* (2007), eram de R\$ 2,00 a R\$ 3,00 por m³/mês. Contudo, os custos com a arrecadação por meio da taxa não cobriam os custos do serviço (Figura 2.3), que eram sempre deficitários no período. Nos anos de 2015, 2017 e 2018 esses valores passaram a ser de R\$ 1,00, e R\$ 1,62 e R\$2,50 por mês (Brasil, 2019), valores ainda sim considerados baixos e que não cobriram as despesas anuais, sendo necessário complementar as receitas com recursos do orçamento geral da autarquia. Mesmo em 2021, os valores praticados são os mesmos dos primeiros anos de aplicação da taxa.

Figura 2.3- Custos da drenagem x arrecadação com a taxa de drenagem



Fonte: Compilados a partir de FERRINI (2015).

Dentre os municípios brasileiros que não possuem cobrança (BRASIL, 2021):

- 1.996 (48,9%) utilizam o orçamento geral do município,
- 138 (3,4%) dispõem de outras fontes,
- 42 (1,0%) dispõem de contribuição de melhorias,
- 152 (3,7%) dispõem de outras fontes associadas ao orçamento geral do município
- 1.755 (43,0%) não dispõem de qualquer fonte de custeio para MAPLU.

Analisando o conjunto dos 4.107 municípios participantes do SNIS, 1.514 (36,9%) informam despesas com serviço de MAPLU iguais à 0 (zero), ou seja, não há despesas porque não há nenhum tipo de serviço e investimento sendo realizado. Os demais 2.593 (63,1%) municípios informaram um montante de despesas da ordem de R\$ 4,0 bilhões, gerando uma média de R\$ 27,99/hab.ano ou R\$ 2,33/hab. mês, ou, ainda R\$61,89/imóvel.ano (BRASIL, 2021). Observa-se, assim, como esse assunto ainda é incipiente no Brasil.

2.1.2.2.1. Propostas Acadêmicas

Na área acadêmica do Brasil, tem-se a proposta de quatro taxas de drenagem, descritas na sequência.

- **Tucci (2002)**

Tucci (2002) propôs uma política de controle da drenagem urbana, com base em dois aspectos principais: o rateio dos custos indiretos (custos de operação e manutenção dos sistemas de drenagem); e os diretos (implementação das obras do plano de drenagem). Para as taxas provenientes dos custos de manutenção e operação de um sistema de drenagem, calcula-se o custo unitário das áreas impermeáveis (Cui) da bacia (equação 4) considerando que o volume gerado pelas áreas impermeáveis é 6,33 superior ao das áreas permeáveis. A metodologia também considera que as áreas ocupadas da cidade distribuem-se como 25% áreas públicas (15% de ruas, impermeáveis, e 10% de praças, permeáveis) e 75% áreas privadas. Estes parâmetros podem ser alterados. Após fixado o valor de Cui para a bacia ou para área total em questão, individualizam-se os encargos para cada lote de acordo com o volume de escoamento gerado em cada superfície (equação 5).

$$C_{ui} = \frac{100 \cdot C_t}{[A_b \cdot (15,8 + 0,842 \cdot A_i)]} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$T_x = \frac{A \cdot C_{ui}}{100} \cdot (15,8 + 0,842 \cdot i_l) \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

Cui = Custo unitário das áreas impermeáveis, em R\$/m²;

C_t = Custo total (R\$) para realizar a operação e manutenção do sistema (da cidade),

A_b = Área da bacia;

A_i = Área impermeável de toda a bacia em %; sendo que: $A_i = \alpha \cdot i_m + (1 - \alpha) \cdot i_l$ (Em que α é a parcela de área de arruamentos e logradouros públicos, como parques e praças, e i_m = parcela impermeável desta área (%); i_l é a parcela de impermeabilização do lote).

T_x = Taxa anual a ser cobrada pelo imóvel em R\$;

A = Área do imóvel, em m²;

i_l é o percentual de área impermeabilizado do lote, em %.

Para rateio dos custos para implementação das obras do plano de drenagem, o custo é distribuído apenas para as áreas impermeabilizadas, que aumentaram a vazão

acima das condições naturais. O custo para cada área de lote urbanizado é dado pela equação 6, enquanto o custo dos imóveis sem área impermeável é dado pela equação 7.

$$T_{xp} = \frac{A \cdot C_{tp} \cdot (15 + 0,75 \cdot i_i)}{A_b \cdot A_i} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$T_{xp'} = \frac{15 \cdot A \cdot C_{tp}}{A_b \cdot A_i} \quad (\text{Eq. 7})$$

Sendo:

T_{xp} = Custo para cada área de lote urbanizado;

$T_{xp'}$ = Custo para cada área sem impermeabilização;

A = Área do terreno em m^2 ;

C_{tp} = Custo total de implementação do Plano, em R\$ milhões;

i_i = Área impermeável do lote em %.

A_i = Área impermeável de toda a bacia em %;

A_b = Área da bacia em km^2 .

Todos os parâmetros podem ser modificados para adequação à área de estudo.

- **Cançado, Nascimento e Cabral (2005)**

Já Cançado, Nascimento e Cabral (2005) calcularam o custo médio do sistema (instalação de micro e macrodrenagem e manutenção de bocas-de-lobo e redes de ligação, vistorias no canal e recuperação de patologias estruturais) por m^2 de área impermeável (equação 8). Este custo é individualizado para cada lote com base na impermeabilização (equação 9) do lote. Neste caso, os autores ressaltam que o custo é rateado segundo as demandas individuais e os proprietários de imóveis não arcam com o custo relacionado à área impermeável das vias, que fica sob responsabilidade do setor público.

$$C_{me} = \frac{CT}{a_{i_{vias}} + \sum a_{ij}} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{Taxa de drenagem} = C_{me} \cdot a_{ij} \quad (\text{Eq. 9})$$

Sendo:

C_{me} = Custo médio do sistema por m^2 de área impermeável (R\$/ m^2);

CT = Custo total (R\$); que é o somatório do custo de capital + custo de manutenção;

ai_{vias} = Área impermeabilizada das vias (m^2);

ai_j = Área impermeabilizada do imóvel j (m^2);

$ai_{vias} + \sum ai_j$ = Parcela do solo impermeabilizada na área coberta pelo sistema de drenagem.

- **Gomes, Baptista e Nascimento (2008)**

A metodologia de Gomes, Baptista e Nascimento (2008) propõe uma taxa de drenagem para manutenção do sistema (T_{man}) e outra para a amortização dos investimentos (T_{inv}). Desta forma, a taxa total (T_x) é dada pelo somatório das duas parcelas:

$$T_x = T_{man} + T_{inv} \quad (\text{Eq. 10})$$

a) Taxa de drenagem para manutenção do sistema (T_{man}):

A parcela da taxa destinada a cobrir os custos com a manutenção dos sistemas é composta pelos seguintes valores:

$$T_{man} = T_{manp} + T_{mani} + T_{manSVp} + T_{manSVi} \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo:

T_{man} = Taxas de drenagem para cobrir os custos com manutenção do sistema (R\$);

T_{manp} = Taxa de manutenção associado à área permeável (R\$/ m^2);

T_{mani} = Taxa de manutenção associada a edificações impermeáveis (R\$/ m^2);

T_{manSVp} = Taxa de manutenção associado a áreas permeáveis do sistema viário (R\$/ m^2);

T_{manSVi} = Taxa de manutenção associado a áreas impermeáveis do sistema viário (R\$/ m^2);

A parcela da taxa destinada a cobrir os custos com a manutenção dos sistemas apresenta ponderação do custo da manutenção pelas áreas permeável e impermeável do lote e pelas áreas permeável e impermeável da cidade/loteamento. Assim, a taxa pode ser reescrita como:

$$T_{man} = \underbrace{\frac{C_{manp}}{A_l} \cdot S_l \cdot (1 - T_i)}_{T_{manp}} + \underbrace{\frac{C_{mani}}{A_l} \cdot S_l \cdot T_i}_{T_{mani}} + \underbrace{\frac{C_{manp}}{A_l} \cdot \frac{A_{SVp}}{A_b} \cdot S_l}_{T_{manSVp}} + \underbrace{\frac{C_{mani}}{A_l} \cdot \frac{A_{SVi}}{A_b} \cdot S_l}_{T_{manSVi}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Sendo:

C_{manp} = Custo de manutenção associado a áreas permeáveis (R\$);

A_l = Área total de lotes urbanizados ou não, em m^2 ;

S_l = Área de cada lote, urbanizado ou não, em m^2 ;

T_i = Índice de impermeabilização do lote, em %;

C_{mani} = Custo de manutenção associado a áreas impermeáveis (R\$);

A_{SVp} = Áreas públicas (praças) e do sistema viário permeáveis, em m^2 ;

A_b = Área total da bacia, em m^2 ;

A_{SVi} = Áreas públicas (praças) e do sistema viário impermeáveis, em m^2 .

Para cálculo do custo de manutenção das áreas permeáveis e impermeáveis, os autores consideraram, com base em Tucci (2002), que uma propriedade totalmente impermeabilizada gera 6,33 vezes mais volume de água do que uma propriedade não impermeabilizada (Coeficiente de escoamento superficial para áreas permeáveis: 0,15 e para áreas impermeáveis: 0,95). Assim, dado o custo total basta calcular as parcelas relativas a cada custo.

Esta metodologia foi criada com o objetivo de desvincular da taxa de drenagem o índice de impermeabilização da bacia, com o enfoque à contribuição de cada lote e do sistema viário. Assim, a equação apresenta em sua composição uma parcela individual ($\frac{C_{mani}}{A_l} \cdot S_l \cdot T_i$), variável em função do nível de impermeabilização do lote, e outra comum a todos os lotes, edificados ou não.

b) Taxa para cobrir a amortização dos investimentos (T_{inv})

A parcela da taxa de drenagem devida à amortização dos investimentos, tanto nas áreas permeáveis quanto nas impermeáveis, realizados com obras de drenagem pode ser obtida pela equação seguinte.

$$T_{inv} = \frac{I_p}{A_l} \cdot S_l \cdot (1 - T_i) + \frac{I_i}{A_l} \cdot S_l \cdot T_i + \frac{I_p}{A_l} \cdot \frac{A_{SVp}}{A_b} \cdot S_l + \frac{I_i}{A_l} \cdot \frac{A_{SVi}}{A_b} \cdot S_l \quad (\text{Eq. 13})$$

Sendo:

I_p = Amortização dos investimentos associados a áreas permeáveis, em R\$/ano;

I_i = Amortização dos investimentos associados a áreas impermeáveis, em R\$/ano.

Assim como na taxa para manutenção do sistema, a equação apresenta uma parcela comum a todos os lotes, edificados ou não, e uma parcela variável em função do nível de impermeabilização de cada lote ($\frac{I_i}{A_l} \cdot S_l \cdot T_i$). O estudo apresentou um fator de redução da taxa de drenagem nas edificações implantadas em lotes de comunidades de

baixa renda, com vistas a que ela corresponda, juntamente com a cobrança dos serviços de água, esgoto e IPTU, no máximo a 5% da renda média familiar de seus ocupantes.

$$F_r = \frac{V_{m\acute{a}x}}{T_x} \quad (\text{Eq. 14})$$

Sendo:

F_r = fator redutor;

$V_{m\acute{a}x}$ = Valor máximo anual do rendimento familiar para comprometimento com o pagamento da taxa de drenagem;

T_x = Taxa anual de drenagem.

Para se compensar a perda de receita, os autores recomendam acrescentar à taxa de drenagem das edificações das comunidades mais favorecidas, com a mesma taxa de impermeabilização, um valor de majoração (V_m).

- **Tasca, Finotti e Goerl (2019)**

Os autores utilizaram o método ERU para pequenos municípios (< 20 mil habitantes) para recuperar os custos com O&M dos serviços de drenagem urbana. Os autores não fizeram distinção de categorias de cobrança, sendo por isso intitulado, pelos autores, de Unidade Residencial Simplificada de Águas Pluviais Equivalente (ou ERU simplificada). Estes autores foram os primeiros no Brasil a utilizar o método ERU para recuperar os custos de O&M, seguidos posteriormente por Coelho, Júnior e da Fonseca (2022).

Os autores concluíram que este modelo de financiamento poderia financiar os custos indiretos (O&M) dos serviços de águas pluviais em pequenas cidades e gerar receita para resolver problemas atuais como inundações a jusante. Contudo, os pesquisadores fazem a ressalva que o uso da AIT, como o aplicado no método, pode superestimar as vazões e, conseqüentemente, o valor das taxas de drenagem.

$$\text{ERU simp. (m}^2\text{)} = \frac{\text{AIT dos lotes urbanos na cidade}}{\text{Total de lotes urbanos na cidade}} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$\text{Taxa anual por ERU simp (R\$/ERU)} = \frac{\text{Custos de Operação e Manutenção}}{\text{Total de lotes urbanos na cidade}} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$\text{Taxa anual por lote (R\$)} = \frac{\text{Área impermeável do lote} \times \text{Eq.16}}{\text{Eq.15}} \quad (\text{Eq. 17})$$

Em que:

ERU simp. = ERU simplificada;

AIT = Área Impermeável Total.

2.1.2.3 Comparação entre Taxas

A Tabela 2.6 apresenta uma comparação entre todos os países citados anteriormente. Pode-se observar que a área média de referência impermeável é semelhante em países que possuem dados, mas as taxas têm variação significativa. A França teve a maior taxa mensal média (R\$ 345,54), que é devido à comuna de Syage taxar uma área mínima impermeável de 600 m² (para cobrar dos maiores proprietários, i.e, aqueles que contribuíam mais no escoamento de águas pluviais). A Alemanha tem a maior taxa por m² (R\$ 3,41) e o financiamento de águas pluviais é cada vez mais abordado. O Brasil tem a menor taxa / m², o qual é uma média de três estudos acadêmicos diferentes, não são situações reais. Essa média taxa é próxima da taxa dos EUA, que é mais avançado no MAPLU Isso enfatiza também a baixa taxa praticada nos EUA, já que esse assunto não é debatido ou é uma prioridade no Brasil.

Tabela 2.6- Taxas de águas pluviais (residências unifamiliares) em todo o mundo

País	Ano Referência	Mecanismo	Área padrão de referência (m ²)	Taxa média mensal		Taxa ⁷ / m ²	
				Moeda local	R\$ ¹	Moeda local/m ²	(R\$) / m ²
Alemanha	2014	TPA	-	-	-	1,13 € / m ²	3,41 R\$/m ²
África do Sul ⁸	2010	DAC	160	74,5ZAR	17,13	0,47 ZAR/m ²	0,11 R\$/m ²
Austrália	2017	Fixa	-	A\$ 8,35	21,20	-	-
Canadá	2021	Níveis	228,6	CD\$ 7,2	29,04	CD 0,38/m ²	1,53 R\$/m ²
Estados Unidos	2021	ERU	285,4	USD 5,94	29,73	USD 0,25	1,25 R\$/m ²
França	2011,2012	ERU	400	135 €	345,54	0,34 € /m ²	0,87 R\$/m ²
Polônia	2014	ERU	-	-	-	1,87 PNL/m ²	1,35 R\$/m ²

2.2. Conectividade Hidráulica Urbana

Conforme visto no capítulo anterior, em muitas localidades as taxas de águas pluviais são mínimas e são determinadas com base na impermeabilidade média de certos tipos de propriedade (por exemplo, residencial, comercial, etc.) em vez da quantidade real de águas pluviais gerada a partir de propriedades individuais. O volume real de águas pluviais que escoam a partir de um lote é difícil de medir pois não vem de uma fonte pontual, como uma torneira de água. Assim, o volume escoado depende de diversos fatores: Existem

⁷ Conversão realizada para o ano de referência do valor.

⁸ Trata-se de estudo acadêmico

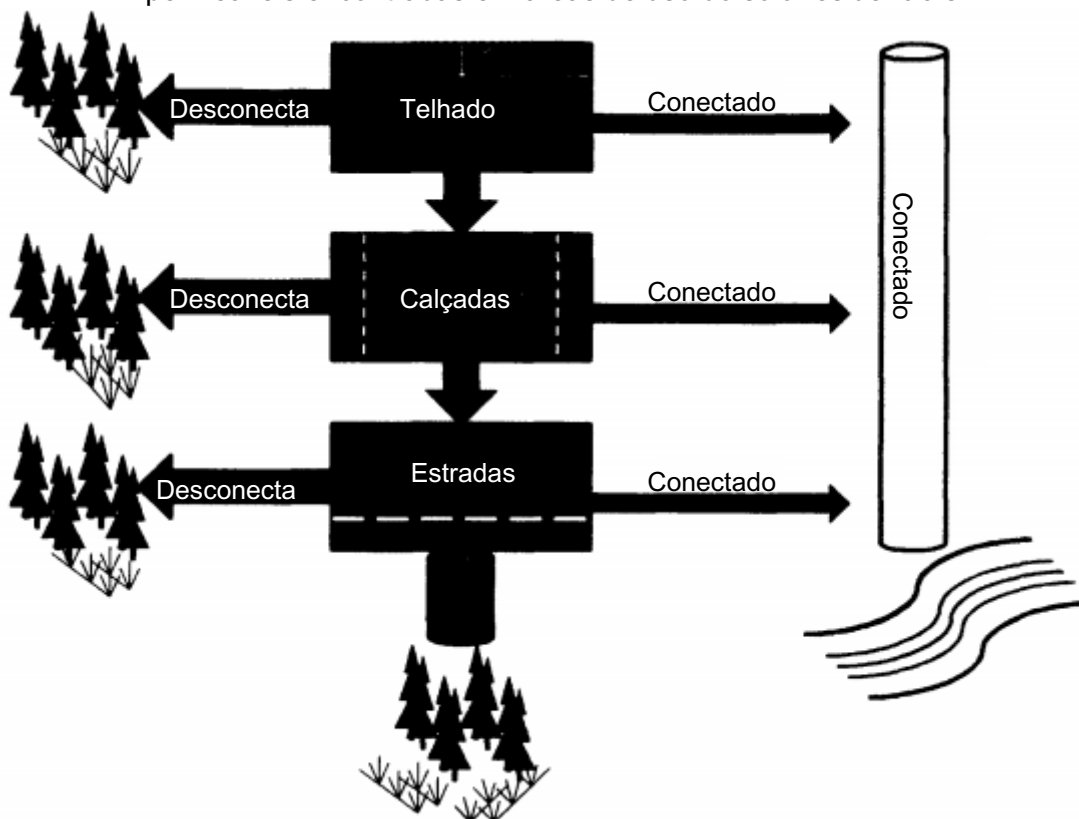
medidas de controle de vazão do lote? Qual é a área das superfícies impermeáveis que efetivamente contribuem para o escoamento à rede pública? Que tipo de solo está presente? Os próprios proprietários dos imóveis – tampouco os gestores públicos – não sabem a quantidade real de águas pluviais que é gerada a partir de um lote.

Nesse sentido, a conectividade tem sido identificada como um conceito teórico importante que pode associar as formas da paisagem, hidrologia e ecologia ao uso da terra (PRINGLE, 2003). Tetzlaff *et al.* (2007) definem conectividade como o movimento de matéria (e.g. água) e energia entre diferentes componentes da paisagem ou caminhos, na qual as adjacências ou limites definem a relação entre esses caminhos. Nessa perspectiva, existem dois caminhos de escoamento para as águas pluviais nas áreas urbanas: Áreas de cobertura impermeáveis e áreas de cobertura permeáveis.

As áreas impermeáveis, como telhados, estacionamento, estradas asfaltadas, etc., são as superfícies que mais contribuem ao escoamento. A soma total de todas essas superfícies é chamada de área impermeável total (AIT). Apesar das AITs serem reconhecidas como um indicador de impacto na hidrologia urbana, o seu uso isolado apresenta volumes superestimados de escoamento em comparação com os dados observados. Isso porque nem todas superfícies impermeáveis estão diretamente conectadas a redes de drenagem por meio de canais ou tubos de transporte de superfície. Assim, a AIT é composta por dois tipos de área impermeável: Área Impermeável Diretamente Conectada (AIDC) e Área Impermeável Desconectada (AID) (YANG *et al.*, 2011), que marcam os diferentes graus de conectividade hidráulica ao sistema de drenagem pluvial.

A AIDC é a proporção da AIT que é conectada hidráulicamente aos corpos d'água por meio da infraestrutura de drenagem urbana (EPPS; HATHAWAY, 2018), não passando por áreas permeáveis, nem tendo oportunidade de infiltração no solo (GAROTTI; BARBASSA, 2010). Em outras palavras, a água que incide na superfície impermeável irá percorrer um caminho em série totalmente impermeável até alcançar uma entrada de sistema de drenagem de águas pluviais (HAN; BURIAN, 2009), a qual segue para um corpo receptor. Para cada lote, a água pode escoar de um telhado para uma calçada; que por sua vez drena para um sistema de meio-fio e sarjeta na rua; desaguando em uma entrada de águas pluviais (bocas de lobo); transportando o escoamento através de infraestrutura de drenagem (como tubulações ou valas) para o corpo receptor (Figura 2.4).

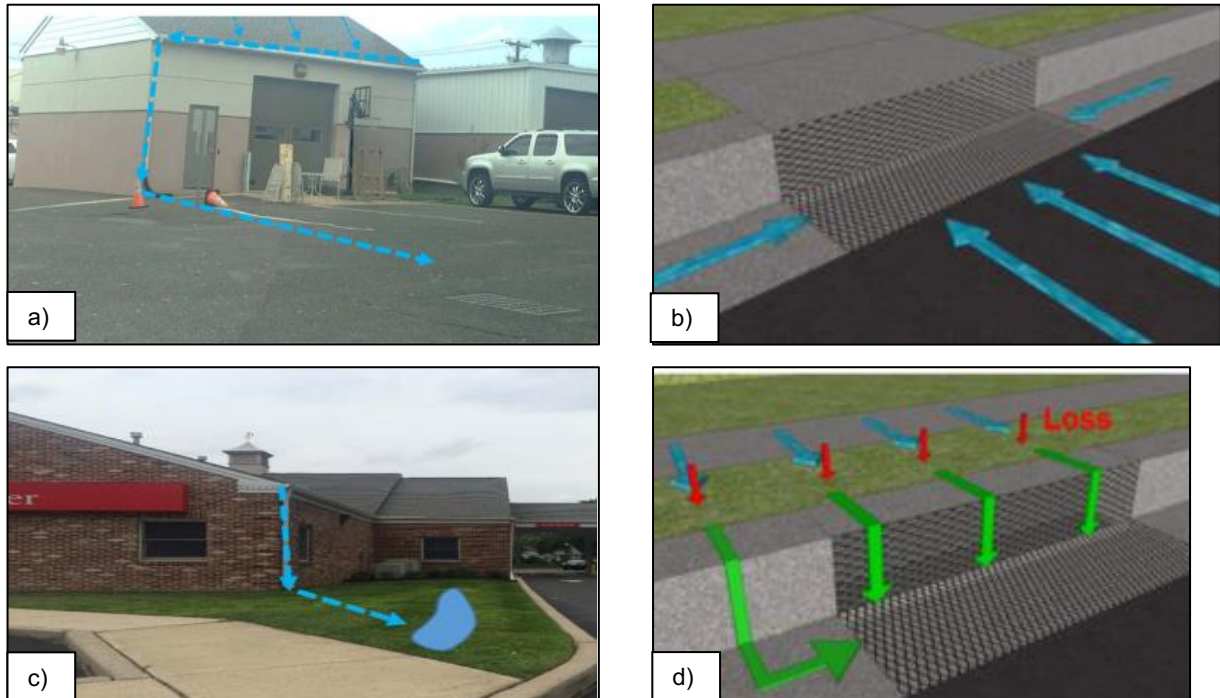
Figura 2.4- Modelo conceitual de relações de conectividade entre áreas de cobertura impermeáveis encontradas em áreas de uso do solo residenciais.



Fonte: Traduzido de Zimmerman (2012)

Cada componente impermeável pode ou não atuar em conjunto com os outros componentes e isso determinará quanto do sistema residencial está diretamente conectado a áreas impermeáveis ou desconectadas. Já o escoamento da AID, que é a diferença da AIT e AIDC, segue para superfícies permeáveis, onde a infiltração pode ou não ocorrer (e.g. evaporar). O escoamento da AID depende das características do solo, declive e cobertura do solo (BRABEC; SCHULTE; RICHARDS, 2002). Áreas impermeáveis que são "ilhas" dentro de superfícies permeáveis e telhados que drenam para áreas de gramado são exemplos de áreas impermeáveis desconectadas. No caso do escoamento ser direcionado para áreas permeáveis, mas escoar para os sistemas de drenagem (por saturação do solo ou outros motivos), estas áreas são chamadas de indiretamente conectadas. Exemplos destas áreas são apresentados na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Exemplo de conectividade Hidráulica: a,b) Área Impermeável Diretamente Conectada c) Área Impermeável Desconectada (Não Efetiva). d) Área Impermeável Indiretamente Conectada



Fonte: a,c) Obropta e Del Monaco (2018). b,d: Ball et al. (2019)

A AIT pode ser obtida a partir de mapas, enquanto AIDC é calculada com base em dados medidos em relação à resposta chuva-escoamento, sendo que esta última técnica apresenta uma série de incertezas no que se refere à retenção de água na superfície impermeável (armazenamento de depressão superficial), à interceptação da vegetação, à infiltração através de fissuras na superfície impermeável, retenção por bueiros impermeáveis e à conexão direta de calhas para os os sistemas pluviais (EBRAHIMIAN; GULLIVER, WILSON, 2016).

Hidraulicamente, o uso incorreto da AIT em vez da AIDC na modelagem hidrológica urbana leva a uma superestimação dos volumes e taxas de escoamento (ALLEY; VEENHUIS, 1983), resultando no superdimensionamento de estruturas hidráulicas. Em outras palavras, utilizar AIT nos cálculos indica que toda a precipitação que cai em uma área se tornará escoamento. Assim, o uso da AIDC tem melhorado a precisão das previsões de escoamento (SEO; CHOI; SCHMIDT, 2013). Já hidrológicamente, o uso da AIT é incompleto por dois motivos (BOOTH; JACKSON, 1997): A AIT ignora superfícies permeáveis que são suficientemente compactadas ou que tem uma permeabilidade tão baixa que a taxa escoamento superficial é semelhante ou indistinguível do pavimento. Além disso, a AIT inclui algumas superfícies pavimentadas que podem não contribuir significativamente para a resposta do escoamento da precipitação, como gazebos, tendas,

estruturas de madeira suspensas no chão. A AIDC é geralmente muito menor do que a AIT, mas conforme a densidade urbana aumenta, a AIDC aproxima-se da AIT (HAN; BURIAN, 2009). A AIDC tem implicações na hidrologia de bacias hidrográficas, na qualidade da água, no meio ambiente e nos serviços ecossistêmicos (EBRAHIMIAN; GULLIVER, WILSON, 2016).

A AIDC é frequentemente mais precisa do que a AIT (EBRAHIMIAN; GULLIVER, WILSON, 2016), já que ocorrem diversas incertezas sobre a medição deste último parâmetro. Desta forma, a AIDC é um preditor mais preciso do impacto do desenvolvimento urbano, representando uma relação direta entre a urbanização, as alterações dos processos hidrológicos e o comprometimento dos ecossistemas aquáticos pelo escoamento de águas pluviais canalizadas (ROY; SHUSTER, 2009). Desta forma, para restaurar de forma sustentável a qualidade dos córregos urbanos, a utilização da AIDC em vez da AIT deve ser utilizada (EPPS; HATHAWAY, 2018).

Contudo, a AIDC não é facilmente quantificável pois requer análise de conectividade de superfícies impermeáveis em uma bacia hidrográfica (BELL *et al.*, 2016). Assim, poucos estudos fazem a distinção entre ambos parâmetros (HAN; BURIAN, 2009; JANKE; GULLIVER; WILSON, 2011), sendo que um método preciso para a determinação da AIDC com base em dados disponíveis não existe (EBRAHIM; GULLIVER; WILSON, 2018) e, portanto, o desenvolvimento de ferramentas confiáveis para quantificar a AIDC é atualmente uma das lacunas de conhecimento mais importantes (FLETCHER; ANDRIEU; HAMEL, 2013).

Dentre os desafios citados para estimar a AIDC, tem-se o desconhecimento das rotas de escoamento, a dificuldade de obtenção espacial das redes de drenagem ou outros dados do sistema municipal e a morosidade do próprio processo de identificação destas áreas, que muitas vezes requer investigações de campo para complementação do cadastro. Desvendar a complexidade espacial do mosaico da cobertura da superfície urbana no que se refere à geração de escoamento e os caminhos de drenagem que levam esse escoamento para as águas receptoras é um grande desafio, já que as vias de drenagem são influenciadas pela elevação, infraestrutura (localização, tipo e condição), tipos de cobertura superficial e mudanças temporais nas condições de umidade do solo (EPPS; HATHAWAY, 2018).

Por essas razões, muitos estudos basearam-se em suposições para determinar AIDC, ou aplicaram uma única fórmula de regressão derivada de estudos anteriores. As suposições comuns incluem representar AIDC como um *buffer* localizado em uma certa distância da rede de drenagem (Yang *et al.* 2011), ou simplesmente considerar as estradas

como AIDC e negligenciar valores de AIDC relativamente pequenos de outros usos da terra (LEE; HEANEY, 2003; ENDRENY; THOMAS, 2009). Outras suposições são feitas a respeito dos processos de escoamento superficial e subterrâneo, caminhos de escoamento, estruturas de drenagem e sua conectividade.

Encontrar uma abordagem prática para estimar as AIDCs é urgente para a gestão de bacias hidrográficas e planejamento do uso da terra. Uma melhor orientação nesta área ajudaria os gestores a direcionar os recursos limitados de forma mais estratégica em toda a bacia hidrográfica (ou seja, onde eles são mais necessários) para abordar as questões de hidrologia ecológica que forem vinculadas às AIDCs (EPPS; HATHAWAY, 2018).

2.2.1. Métodos para estimar a Área Impermeável Diretamente Conectada

Atualmente, a AIDC pode ser estimada por meio de quatro abordagens.

- i) Análises de regressão de volume de precipitação (BOYD; BUFILL; KNEE, 1994; EBRAHIMIAN, 2015; EBRAHIMIAN, GULLIVER; WILSON, 2016);
- ii) Análise de dados espaciais com técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (HAN; BURIAN, 2009);
- iii) Adoção de relações AIDC/AIT ou de equações empíricas (ALLEY; VEENHUIS, 1983; SUTHERLAND, 2000) / Relações AIDC/AIT;
- iv) Medição direta nos locais de estudo (e.g. inspeção da conectividade da calha, identificação da conectividade da rua com o sistema de drenagem) (LEE; HEANEY, 2003; ROY; SHUSTER, 2009).

Todos estes métodos possuem suas vantagens e desvantagens (Quadro 2.6). Embora os modelos de regressão de volume de precipitação forneçam melhores resultados, esses dados podem ser caros de serem coletados e nem sempre estão disponíveis ou têm qualidade ou resolução suficientes para análise. Já as equações empíricas que estimam a AIDC a partir da AIT não podem ser utilizadas para todos os casos, sendo ineficazes em escala de lote dada as peculiaridades de cada um, mas úteis em escala de sub-bacia, já que é possível a previsão das condições de escoamento a partir da precipitação. As investigações de campo podem ser demoradas e caras, além de fornecer resultados limitados. Já o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e ferramentas baseadas em sensoriamento remoto para estimar a AIDC tornam-se particularmente atraentes devido à sua aplicabilidade a bacias hidrográficas não monitoradas e à crescente qualidade e disponibilidade de dados espaciais. De todo modo, nenhuma das técnicas utilizadas oferece uma solução universal para a estimativa da AIDC.

Quadro 2.6 – Vantagens e desvantagens dos métodos existentes pra quantificar a Área Impermeável Diretamente Conectada

Técnica	Vantagens	Desvantagens
Análises de regressão (chuva-vazão)	Produz melhores resultados	Requer monitoramento de chuva e vazão das bacias hidrográficas. Requer investimento considerável em instrumentação. O método não é capaz de determinar onde na bacia hidrográfica a AIDC está localizada.
Análise de dados espaciais com técnicas SIG	A associação destas técnicas é atraente devido à crescente qualidade e disponibilidade de dados espaciais. Fornece a localização da AIDC na bacia hidrográfica, permitindo o planejamento de melhores práticas de gerenciamento (BMPs).	Podem ser inadequadas para análises em micro-escala de águas pluviais. Requerem classificação detalhada em nível de pixel, o que exige imagens aéreas de alta resolução espacial. Requer familiaridade com ferramentas de software especializadas. O método pode ser caro e demorado.
Adoção de relações AIDC/AIT ou de equações empíricas	As estimativa de conectividade com base na AIT podem ser precisas quando analisadas em escala de sub-bacias, já que é possível a previsão das condições de escoamento. Método simples e mais fáceis de aplicar.	Muitos autores consideraram ineficaz a tentativa de prever a conectividade em escala de lote a partir de equações empíricas ou de relações AIDC/AIT, ainda mais para regiões climáticas diferentes.
Pesquisas de Campo	Método mais preciso para estimar AIDC.	Requer levantamentos detalhados nos lotes e ruas (com e sem meio-fio) para analisar a conectividade de canos, drenos e calhas. Para áreas grandes, o método não é viável, sendo demorado e caro, além de fornecer resultados limitados.

Fonte: Dados compilados a partir de Lee e Heaney (2003), Han e Burian (2009), Roy e Shuster (2009) e Ebrahimian, Gulliver e Wilson (2015)

2.2.1.1 Análise de Regressão - Chuva-vazão

A quantidade de AIDC em uma bacia é normalmente estimada por análise de tendências com dados de chuva-vazão. Este método é feito comparando registros de vazão com um pluviômetro representativo que está localizado dentro ou muito próximo da bacia. A chave para este método é isolar o escoamento que ocorre apenas das AIDCs, e não das outras áreas impermeáveis e permeáveis. Miller (1978) foi o primeiro a observar que a

porcentagem de AIDC identificada no mapa estava relacionada à inclinação da linha em um gráfico de chuva x vazão para eventos de chuva de até aproximadamente 38 mm no condado de Broward, na Flórida. A inclinação desta linha aproximava-se da porção da chuva que era escoada para canais.

Já Laenen (1983) estudou os dados de precipitação e escoamento superficial de 41 bacias na área metropolitana de Salem e Portland/EUA e desenvolveu a equação para AIDC em função de AIT como:

$$AIDC = 3,6 + 0,43AIT \quad (\text{Eq. 18})$$

Os valores de AIDC foram determinados pela calibração do modelo USGS de precipitação e escoamento e pesquisa em campo em 4 bacias. Foi observado que, embora essa equação não seja aplicável em todas as bacias, ela pode produzir resultados razoáveis para a maioria das áreas urbanas no Vale de Willamette, no mesmo Estado.

Alley e Veenhuis (1983) estimaram a AIDC a partir de uma equação descrita em relatório não publicado de 1981, que foi desenvolvida a partir de análises de regressão realizadas em cálculos de campo. O estudo de Alley e Veenhuis (1983) é muito citado na literatura científica e técnica sobre AIDC, mas não se tem maiores informações sobre a equação original (equação 19).

$$AIDC = (0,15 \times AIT)^{1,41} \quad (\text{Eq. 19})$$

Dezenove bacias urbanas de Denver/EUA foram amostradas como parte do estudo de Alley e Veenhuis (1983). Os resultados estão resumidos na tabela seguinte.

Tabela 2.7 – AIDC pra 19 bacias urbanas na região metropolitana de Denver

Uso da Terra	Tamanho do lote (m ²)	AIT média (%)	AIDC média (%)	AIDC/AIT
Familiar uniresidencial	< 1011,71	39	23	0,60
	1011,71- 2023,43	26	15	0,56
	2023,43 - 4046,86	15	8,5	0,58
Multifamiliar	-	60	42	0,65
Comercial	-	88	83	0,94
Industrial	-	60	46	0,77

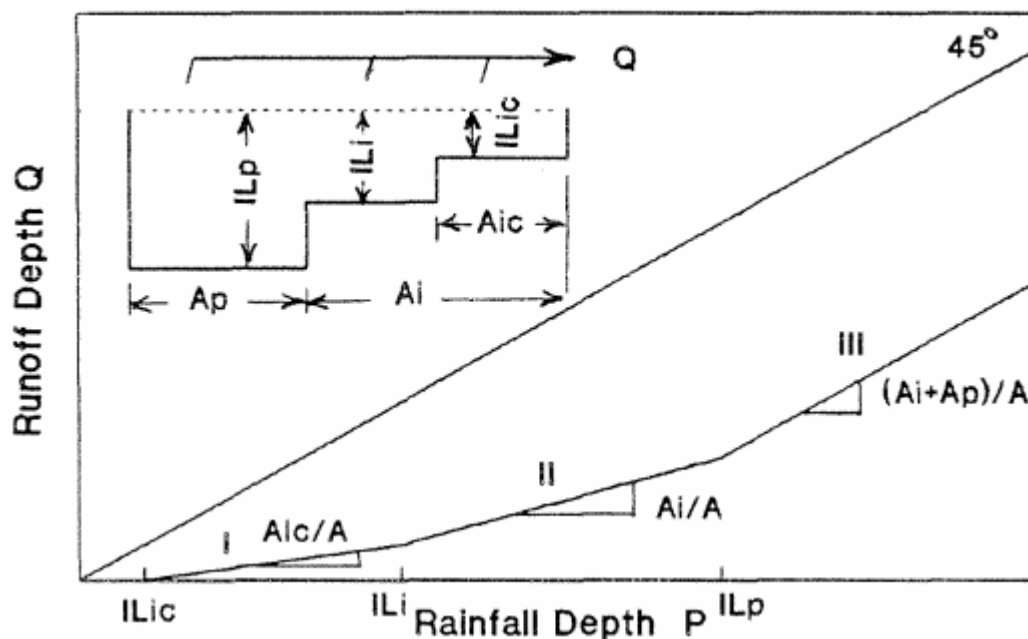
Fonte: Extraído de Alley e Veenhuis (1983).

É interessante observar que, para residências unifamiliares, quanto maior o tamanho do lote menor é a AIDC, ou seja, maior é o espaço para a infiltração. Os resultados sugeriram um grande potencial para o desenvolvimento de relações entre AIDC e AIT em áreas urbanas, seja por regressão entre as duas variáveis ou estimativas da razão entre

elas em função do uso da terra. Os autores concluíram que as pequenas variações na razão AIDC/AIT sugerem que o uso da AIT como substituto para a AIDC em abordagens de modelagem "caixa preta" pode ser razoável. No entanto, os dados reforçam a importância da distinção entre estas áreas para modelos determinísticos.

Boyd, Bufill e Knee (1993) usaram um método de regressão sucessiva para determinar a AIDC e analisar o escoamento provenientes de áreas impermeáveis e permeáveis em 9 bacias urbanas na Austrália e em outras 17 bacias urbanas em outros países, para comparação. Neste método, que analisa a altura da chuva-vazão, a altura do escoamento é traçada para cada registro de precipitação (Figura 2.6). Segundo os autores, com o cruzamento dos dados de chuva e escoamento superficial é possível identificar a AIDC.

Figura 2.6 - Relação esquemática chuva-vazão



Fonte: Boyd, Bufill e Knee (1993)

Sobre a imagem acima, descreve-se:

- a profundidade de escoamento (Q é igual ao volume de escoamento dividido pela área total da bacia (A), ou seja, é o volume de escoamento médio calculado sobre a bacia total;
- a inclinação de cada segmento dá a fração da bacia que está contribuindo para o escoamento. Assim, se toda a área conectada impermeável está contribuindo com escoamento, o segmento I tem inclinação A_{ic}/A . No segmento II, se todas as superfícies impermeáveis estão contribuindo, a inclinação é A_i/A . Da mesma forma, o segmento III representa o escoamento de todas as áreas impermeáveis

mais aquela parte da área permeável (A_{pc}) que contribui para o escoamento, e tem declividade $(A_i + A_{pc})/A$. Se toda a área permeável está contribuindo com escoamento, $A_{pc} = A_p$ e o segmento III tem inclinação 1:1;

- (c) cada segmento se afasta do anterior quando a altura da chuva excede a perda inicial correspondente para aquela superfície; e
- (d) se a chuva ocorreu antes de um evento, então os estoques de umidade do solo estarão parcialmente cheios e os pontos serão plotados acima das linhas mostradas. Como as perdas iniciais são pequenas em superfícies impermeáveis, isso não alterará muito os segmentos I e II. No entanto, o segmento III deve ser considerado como um limite inferior quando a umidade antecedente do solo das áreas permeáveis é baixa.

Foram consideradas duas séries de dados: com o escoamento superficial proveniente somente de AIT para chuvas de baixa intensidade; e escoamento superficial proveniente tanto de AIT quanto permeáveis, porém para chuvas mais intensas. Foram analisados 763 eventos de precipitação. Foi observada uma diferença significativa entre as bacias da Austrália e de outros países, nos quais os dados, nos outros países, tendiam a representar uma linha reta com pouca dispersão, com apenas alguns pontos isolados acima da linha. Isso indica que o escoamento está sendo gerado a partir de uma porção fixa da bacia conectadas ao sistema de drenagem (AIDC).

Contudo, oito bacias australianas tiveram um número significativo de pontos de dados plotados acima da linha, indicando escoamento adicional de áreas permeáveis ou de áreas impermeáveis não conectadas diretamente ao sistema de drenagem. Os autores comentam que a alta intensidade das chuvas australianas explica em parte essa diferença, uma vez que o escoamento de áreas desconectadas não atingirá o sistema de drenagem em pequenas chuvas, mas pode fluir através de superfícies permeáveis para drenos em grandes precipitações, fato que foi observado.

Dentre as principais observações e *insights* desta pesquisa, cita-se:

- (a) as pequenas bacias, com menos de 25 ha, que possuem um extenso sistema de drenagem pluvial, tendem a produzir apenas escoamento impermeável. Bacias maiores tendem a gerar escoamento permeável e impermeável;
- (b) as nove bacias que mostraram evidências claras de escoamento permeável tiveram grandes precipitações registradas no conjunto de dados (umidade antecedente alta);

Como ressalva, o método requer uma pessoa habilitada para separar corretamente as pequenas e as grandes chuvas. O usuário deve possuir um conhecimento muito bom da hidrologia local e dos padrões de precipitação, a fim de identificar e separar os eventos de chuva que seriam considerados 'pequenos' e 'grandes' no local de estudo.

Seguindo o mesmo método anteriormente descrito, Boyd, Bufill e Knee (1994) também realizaram pesquisas em três bacias de drenagem urbana de 445 a 2.690 ha em Canberra, Austrália, cujo uso predominante é residencial unifamiliar, com algum desenvolvimento comercial e grandes áreas de estacionamento. Na região, a precipitação anual é de 625mm, com chuvas concentradas nos meses mais quentes (outubro – maio). A pesquisa observou três mecanismos distintos de escoamento: escoamento de superfícies impermeáveis efetivas (AIDC); escoamento de superfícies permeáveis (variando de 2 a 5 mm) a partir de depósitos de solo de baixa capacidade de armazenamento, tanto para pequenas e grandes chuvas; e escoamento de superfícies permeáveis quando as profundidades de chuva excederam 40 milímetros.

Sutherland (2000) descobriu que a equação USGS para AIDC, elaborada por Laenen (1983) funciona bem para AITs entre 10% e 50% e fornece valores de AIDC irrealistas para áreas mais urbanizadas. O autor revisou o estudo de Laenen (1983) para mais de 40 bacias hidrográficas de Oregon/EUA e desenvolveu uma série de equações para descrever a relação entre AIDC e AIT em diferentes áreas urbanas (conhecidas como equações de Sutherland), com base nas condições de conexão de drenagem das bacias e sub-bacias. Essas equações são dinâmicas, pois mudam com os diferentes tipos de conectividade de bacias hidrográficas em comparação com as outras equações empíricas. Por este motivo, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) recomenda seu uso para as licenças municipais de sistemas separados de esgoto pluvial (MS4) e muitas concessionárias de águas pluviais utilizam estas equações para estimar as AIDC.

As equações estão na forma geral de:

$$AIDC = A \times AIT^B \quad (\text{Eq. 20})$$

Em que:

AIDC são as Áreas Diretamente Conectadas (em%), AIT são as áreas impermeáveis Totais (em %), e 'A' e 'B' são coeficientes que dependem das condições de conectividade da área impermeável da bacia ao sistema de drenagem pluvial. A conectividade do sistema de drenagem é categorizada em:

Quadro 2.7 - Classes de Uso da Terra da EPA e Equações de Sutherland Correspondentes

Uso da Terra	Critérios de Seleção de Bacias Hidrográficas (Conectividade)	Equação de Sutherland (em que AIT(%) ≥ 1)
Comercial ou Industrial, Público Urbano, Institucional, Terra Aberta	Média: Sistema pluvial com meio-fio e sarjeta, sem poços secos ou infiltração, telhados residenciais não conectados diretamente.	$AIDC = 0,1 \times AIT^{1,5}$
Residencial de Baixa Densidade	Um pouco desconectada: 50% sem sistema pluvial, mas aberto em seção de estrada, valas gramadas, telhados residenciais não conectados, alguma infiltração	$AIDC = 0,04 \times AIT^{1,7}$
Residencial de média densidade	Média: Principalmente sistema pluvial com meio-fio e sarjeta, sem poços secos ou infiltração, telhados residenciais não conectados diretamente	$AIDC = 0,1 \times AIT^{1,5}$
Residencial de alta densidade	Altamente conectado: O mesmo que acima, mas os telhados residenciais estão conectados	$AIDC = 0,4 \times AIT^{1,2}$
Agricultura ou Floresta	Principalmente desconectado: uma pequena porcentagem da área urbana é de esgoto pluvial, ou 70% ou mais é infiltrado/desconectado	$AIDC = 0,01 \times AIT^2$

Fonte: EPA (2010)

Já Dayaratne (2001) desenvolveu uma equação para AIDC em função da densidade domiciliar. A equação foi elaborada a partir da modelagem de chuva-vazão em 16 bacias residenciais calibradas em quatro municípios de Victoria/Austrália (Equação 18). Este estudo foi baseado em um intervalo de 7 a 14 casas por hectare. Além desse intervalo, a equação tem limitações significativas: a AIDC reduz com o aumento de domicílios por hectare para intervalos maiores que 15 domicílios por hectare. Além disso, a AIDC reduz abaixo de 0% para menos de 5 domicílios por hectare).

$$AIDC = -0,85hhd^2 + 23,38hhd - 101,19 \quad (R^2=0,90) \quad (\text{Eq. 21})$$

Em que hhd = número de casas por hectare (*Household density*).

Bochis e Pitt (2009) coletaram dados de avaliações de campo em 160 bairros em seis áreas de drenagem no Condado de Jefferson, Alabama (EUA), e desenvolveram uma equação de regressão para a relação entre AIT e AIDC para esta área. Sua equação ajustada era muito semelhante à equação de "bacias altamente conectadas" de Sutherland, com um R^2 de 0,71, mas falhou na análise residual (variabilidade nos resultados). Isso levou

os pesquisadores a concluírem que uma única equação para todos os usos da terra e regiões não pode estimar com precisão a AIDC.

Ebrahimian, Gulliver e Wilson (2016) apontaram diversas limitações do método de Boyd, Bufill e Knee (1993) e o atualizaram para fornecer um método estatístico mais imparcial, que rastreia eventos de precipitação entre AIDC ou agrupamentos não conectados, dependendo dos resíduos de regressão para melhorar a precisão de AIDC. O chamado 'método do mínimo generalizado em um processo de regressão sucessiva' é recomendado para bacias hidrográficas urbanas monitoradas e calibradas com precipitação e vazão. O método quantifica a fração de AIDC e a altura da água armazenada na superfície antes do início do escoamento,) categorizando eventos de precipitação em eventos AIDC (ou seja, eventos com escoamento apenas de áreas impermeáveis) ou eventos combinados (escoamento de áreas impermeáveis e permeáveis). Quando todos os eventos combinados são eliminados da regressão, tudo o que resta são os eventos menores, onde apenas as porções de AIDC da bacia hidrográfica estão criando escoamento. A inclinação da reta de regressão de volumes conhecidos de escoamento e de precipitação (por meio de monitoramento) fornece a fração de AIDC.

O método de Ebrahimian, Gulliver e Wilson (2016) foi aplicado em 39 bacias urbanas monitoradas, de diferentes tamanhos e condições hidrológicas, em Minnesota, Wisconsin, Texas, nos EUA, além de mais 11 bacias na Europa (Reino Unido, Dinamarca, França, Itália, Noruega e Sérvia, 1 em cada), Canadá (2) e Austrália (3). O principal uso da terra em todos os locais é residencial. A relação de AIDC/AIT variou de 0,08 (bacia hidrográfica de Sarita, Minnesota, com espaços abertos e áreas agrícolas) a 0,97 (em 2 bacias localizadas em Sydney e Canadá, que são altamente desenvolvidas e com telhados conectados). Na ausência de AIDC medida para validar os resultados, os autores compararam com revisão bibliográfica, obtendo estimativas semelhantes. Uma desvantagem de usar este método é que ele requer registros detalhados de precipitação e escoamento que não estão disponíveis em todas as bacias hidrográficas e sub-bacias, além de um conhecimento aprofundado em hidrologia. Apesar disso, Epps e Hathaway (2018) acreditam que este método representa o melhor meio de acoplar a hidrologia observada (processada por meio do método de regressão) à identificação espacial de AIDC e recomendam o uso de métodos mais apropriados para determinar a fração AIDC em bacias hidrográficas urbanas sem medição.

Já Mroczek (2018) desenvolveu uma equação empírica para a região costeira do sul da Califórnia/EUA a partir de dados de medição de chuva e escoamento de sete bacias hidrográficas da região, resultando na equação abaixo:

$$AIDC = 0,6539 \times AIT^{1,0116} \quad (\text{Eq. 22})$$

Os resultados desta equação foram comparados com outras 7 equações, sendo que os resultados obtidos pelo método de Boyd apresentou um ótimo ajuste ($R^2 = 0,9443$). Já a equação de Sutherland para áreas altamente conectadas e as equações de Mroczek empataram em precisão, ficando dentro do limite de erro de 15% quando comparado ao valor “verdade”. O autor destaca que cada equação contém uma grande variação nas porcentagens de erro entre as bacias hidrográficas e não há uma verdadeira equação empírica “única para todos” para o cálculo de AIDC. A equação de Mroczek chegou mais perto de ser uma equação universal para as bacias hidrográficas, uma vez que foi construída usando as relações AIDC/AIT ($R^2=0,9443$) das mesmas bacias hidrográficas.

Mroczek (2018) acredita que as equações de Sutherland (2000) são equações universais para estimativa das AIDC, mas ressalta que deve haver avaliação de campo e/ou dados aprofundados da bacia hidrográfica para identificar características de conectividade (tais como conexão do telhado a ruas / esgotos pluviais, planos de drenagem detalhados, número de poços secos e áreas de infiltração / BMPS no local). O problema é que muitas vezes a condição da bacia não é conhecida, então a seleção de uma equação de Sutherland é apenas com base em suposições que podem produzir resultados insatisfatórios. Apesar dos bons resultados, a pesquisa mostrou que os cálculos empíricos de AIDC podem ter uma grande quantidade de variabilidade e incerteza em seus resultados e devem ser testados para analisar se os resultados atingidos podem ser totalmente aceitos.

2.2.1.2 Análise de dados espaciais com técnicas SIG

Em geral, os poucos estudos existentes estimaram a AIDC a partir da intersecção da área impermeável com o sistema de drenagem combinado com pesquisas de campo e pelo uso de suposições adicionais sobre a conectividade de superfícies impermeáveis ao sistema de drenagem. Estas pesquisas têm sido amplamente aceitas entre os pesquisadores para distinguir AIT de AIDC (HWANG; RHEE; SEO, 2017). Foram encontrados os estudos de Lee e Heaney (2003), Han e Burian (2009), Wenger *et al.* (2008), Sahoo e Sreeja (2016), Hwang, Rhee e Seo (2017), Epps e Hathaway (2018), Ebrahim, Gulliver e Wilson (2018) e Sytsma *et al.* (2020).

Lee e Heaney (2003) realizaram um estudo sobre estimativa de impermeabilização e análise de seus impactos no sistema de drenagem urbana para um bairro residencial de

alta densidade de apartamentos, com 5,81 hectares, na cidade de Boulder, Colorado/EUA. A quantificação das áreas impermeabilizadas e AIDC foi detalhada em cinco níveis de exatidão, incluindo relações obtidas na bibliografia, geoprocessamento, fotografias aéreas e visitas de campo. Nas visitas de campo, foram verificadas a conectividade hidráulica e as condições de cada superfície impermeabilizada, inclusive das ruas e das estruturas de descargas de águas pluviais provenientes dos telhados. As ruas pavimentadas com meio-fio e sarjeta foram classificadas como AIDC, bem como os telhados localizados nesta região. Se houvesse calhas tanto em AIDC como em AID, era feita a contabilização de modo proporcional (e.g.: Se houvesse quatro calhas de um telhado e apenas uma saída localizada na superfície diretamente conectada, 25% do telhado era considerado como AIDC). Ruas sem meio-fio e sarjeta foram classificadas como AID, pois drenavam para valas permeáveis adjacentes.

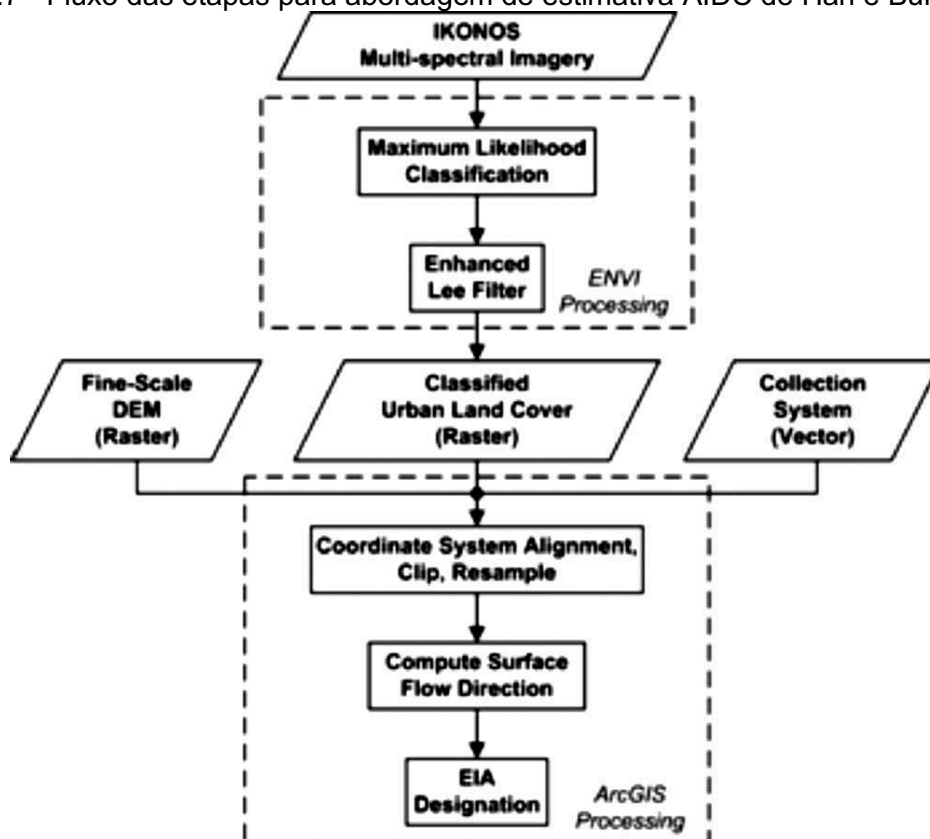
Os resultados para esta área de estudo mostraram área impermeabilizada total (AIT) de 35,9% e AIDC de 13%. Observou-se, ainda, que 97,2% da AIDC era ocupada por elementos de transporte (estradas, calçadas e estacionamentos). Esses resultados reforçam a descoberta de Schueler (1994) de que a impermeabilidade relacionada ao transporte muitas vezes exerce um maior impacto hidrológico do que a impermeabilidade relacionada aos telhados. No entanto, essa fonte de escoamento (domínio público) raramente é identificada como um usuário separado e tem seu custo efetivamente avaliado. O estudo mostrou que as etapas que usaram medições de campo foram mais precisas na medição de AIDC e dos volumes de escoamento resultantes quando comparada apenas com as medições da literatura. A modelagem hidrológica desta área mostra uma diferença nas vazões de pico da ordem de 265%, de acordo com a impermeabilização medida nos diferentes níveis de detalhamento. Segundo os autores, esses resultados sugerem a necessidade de focar as AIDC como o principal indicador dos efeitos da urbanização sobre a qualidade e aumento do escoamento superficial. As medições de campo não foram consideradas viáveis em áreas maiores ($> 3\text{km}^2$), pois o método é muito demorado e caro (a etapa de campo demorou 195 horas para uma área de $0,06\text{ km}^2$). O método pode ser considerado impreciso e impraticável para grandes bacias hidrográficas (HAN; BURIAN, 2009).

Visando corrigir estas limitações e reduzir a complexidade do método anterior, Han e Burian (2009) desenvolveram um método para estimar a AIDC automaticamente, que pode ser aplicável a bacias hidrográficas, inclusive àquelas não monitoradas. Este método identifica a AIDC percorrendo o caminho do escoamento. O método é composto por duas etapas (Figura 2.7):

1- Aplicação da técnica de máxima verossimilhança supervisionada (classificação automatizada de imagens): Os dados são classificados quanto à permeabilidade/impermeabilidade em quatro coberturas de solo urbano (telhados, asfalto/concreto, água e vegetação). Essas quatro classes foram selecionadas para fornecer um agrupamento conveniente de superfícies para diferenciar os dois tipos básicos de superfícies impermeáveis: telhados e sistemas de transporte (estacionamentos, estradas, calçadas);

2- A segunda etapa utiliza uma macro automatizada, escrita no Visual Basic for Applications (VBA) para integrar os dados em um SIG: A macro recebe as camadas de dados da AIT, MDE e do sistema de coleta como entrada e executa várias etapas de pré-processamento. A camada de dados do sistema de coleta de águas pluviais é rasterizada e todas as três bases são convertidas em um sistema de coordenadas. Após o pré-processamento, a macro executa duas etapas principais de processamento: i) traçado do caminho do fluxo superficial; e ii) designação das AIDC.

Figura 2.7 - Fluxo das etapas para abordagem de estimativa AIDC de Han e Burian (2009)



Fonte: Han e Burian (2009)

Em síntese, a macro traça o caminho do fluxo a partir de pixels classificados como asfalto/concreto, utilizando a metodologia de direção de fluxo de análise geoespacial de Jenson e Domingue (1988). A direção do fluxo de superfície entre as células raster foi

assumida como sendo da elevação mais alta para a mais baixa seguindo o caminho do gradiente de elevação mais íngreme. Se o caminho do fluxo cruzou uma entrada de drenagem (e.g. aberturas de meio-fio, bocas de lobo, sarjetas e elementos de transporte, como canais abertos, lagoas, sarjetas) antes de uma superfície permeável foi classificado como conectado e contabilizado na AIDC. Qualquer superfície impermeável drenando para uma área permeável foi classificada como desconectada (AID). O produto final do processo foi um conjunto de dados raster com todos os pixels classificados como telhados, AIDC, AID, água ou vegetação.

Observa-se que a macro só verifica a célula a jusante a partir de pixels de asfalto/concreto, sendo que as células de telhados, águas e vegetação de edifícios são ignoradas. As células classificadas como água foram ignoradas porque representavam uma fração insignificante de área para os estudos de caso e normalmente cobrem áreas insignificantes na maioria das cidades. Contudo, em áreas onde a água ocupa uma fração superficial significativa, ela deve ser identificada como conectada ou desconectada do sistema de drenagem a jusante. A água conectada é composta de estruturas de sistema de drenagem ou transportes naturais, como córregos, rios, canais de drenagem, lagoas de retenção, enquanto a água desconectada inclui feições hídricas (como lagoas de retenção, piscinas, fontes decorativas). Já as células de telhado não foram verificadas por ser uma própria limitação de métodos em SIG, que não permitem extrair a conectividade da calha de telhado, sendo impossível estabelecer uma abordagem padrão. A solução desenvolvida pelos autores foi exigir que o usuário designasse um único valor para representar a fração de telhados conectados em toda a bacia hidrográfica. Esta fração é multiplicada pela área do telhado para definir a área conectada e é adicionada à AIDC estimada a partir do fluxo de água, produzindo a estimativa geral da AIDC para a bacia hidrográfica. Uma breve revisão deste tema é apresentada na próxima seção.

Os autores testaram o método em uma pequena bacia hidrográfica localizada em Houston (EUA). A AIDC foi estimada em 16% da superfície da bacia, valor próximo ao valor real de 22% (obtido pela inspeção manual de fotos aéreas de alta resolução combinadas com conjuntos de dados de infraestrutura SIG). Como dificuldades encontradas na aplicação do método, os autores citam a menor acurácia na classificação das imagens devido à existência de árvores em áreas residenciais. Contudo, a inspeção visual indicou que os pixels permeáveis e impermeáveis classificados incorretamente foram equalizados quase aleatoriamente dentro das zonas de uso da terra, resultando em estimativas próximas. Também houve a necessidade de eliminar as áreas planas para análise do fluxo de escoamento. Apesar do método ser automatizado, os autores destacam que a

localização precisa dos elementos de drenagem foram realizadas manualmente, haja vista os cadastros falhos ou incompletos. Apesar disso, o método tem a vantagem de ser aplicável a bacias hidrográficas não monitoradas e também fornece a localização da AIDC na bacia hidrográfica, o que torna o método particularmente atraente para aprimorar o desenvolvimento e a colocação de BMPs (JANKE; GULLIVER; WILSON, 2011).

Wenger *et al.* (2008) calcularam a AIDC de forma manual em quinze locais (de áreas de 25-70 ha) dentro de uma bacia hidrográfica na Geórgia (EUA) com imagens aéreas de alta resolução espacial. Os autores delimitaram manualmente as superfícies impermeáveis e as diretamente conectadas. As áreas impermeáveis incluíam telhados, estradas, estacionamentos, calçadas e quaisquer outras superfícies impermeáveis artificiais que eram distinguidas nas fotos aéreas. As AIDCs, por sua vez, eram um subconjunto de superfícies impermeáveis que visualmente drenavam para a rede de transporte de águas pluviais. Essas conexões eram geralmente óbvias nas fotografias aéreas de alta resolução, embora houvesse ambigüidade ocasional; casos incertos foram considerados diretamente conectados. Os autores estimaram a AIDC a partir da equação de Alley e Veenhuis (1983), que, por sua vez, utilizam uma equação de um relatório não publicado de 1981, resultando como:

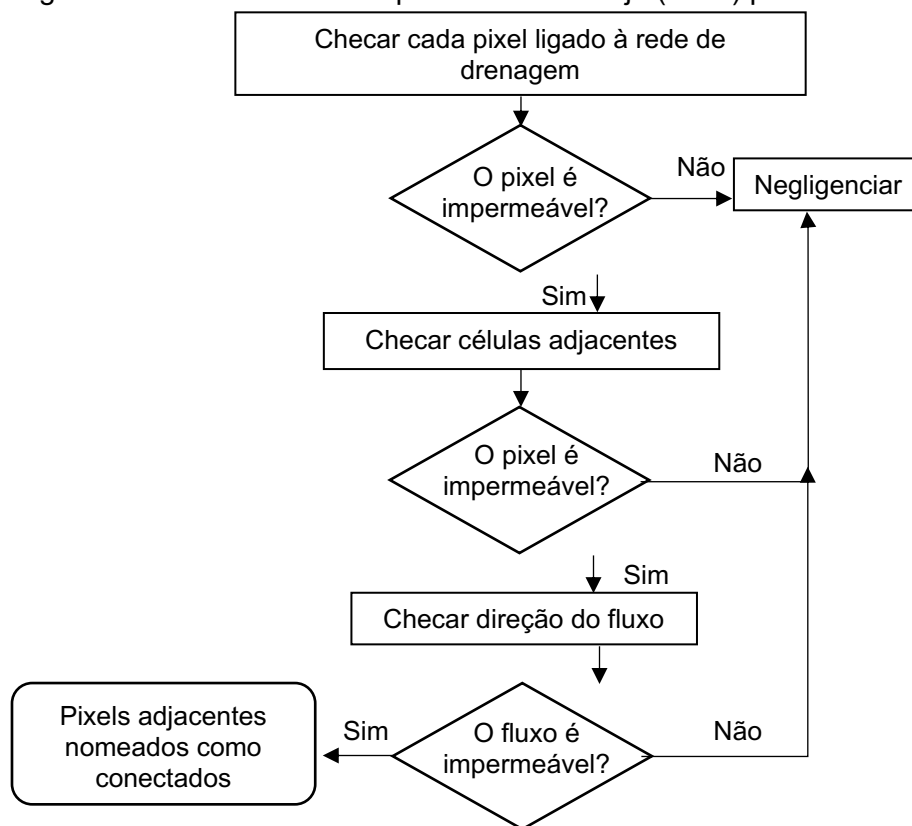
$$AIDC = (1,046 \times AIT) - 6,23\% \quad (\text{Eq. 23})$$

Em que AIDC e AIT estão em % da área da bacia hidrográfica e AIDC é 0 quando a % de AIT é inferior a 6,23%.

Posteriormente, Sahoo e Sreeja (2016) desenvolveram um método semiautomatizado em SIG para medir AIDC, integrando sensoriamento remoto, redes de drenagem e um MDE da área de estudo (nordeste da Índia). Essa metodologia consistiu basicamente no método de Han e Burian (2009), só que seguindo o caminho inverso, partindo da análise dos sistemas de drenagem. Em síntese, após a classificação da AIT, os autores verificaram todas as células conectadas à rede de drenagem. Se fossem da classe impermeável, eram selecionadas e seus pixels adjacentes eram verificados. Por sua vez, se os pixels adjacentes fossem da classe impermeável, eles eram selecionados, traçando-se um raster da direção do fluxo, até chegar-se na origem impermeável do escoamento. Esse conjunto de células foi designado como AIDC. Neste estudo foi assumido que, onde não havia menção à localização das sarjetas e bueiros na rede de drenagem, o sistema de drenagem era aberto em toda a sua extensão, permitindo a entrada

de águas pluviais em qualquer lugar ao longo de sua extensão. A metodologia é representada na figura seguinte.

Figura 2.8 - Método utilizado por Sahoo e Sreeja (2016) para estimar área conectada



Fonte: Modificado de Sahoo e Sreeja (2016)

Sahoo e Sreeja (2016) compararam os resultados obtidos em seu método SIG semiautomático com aqueles obtidos por meio das equações de Sutherland (2000) e Alley e Veenhuis (1983) e observaram que os valores estimados pela equação de Sutherland em sua área de estudo (sete bacias hidrográficas urbanas localizadas no Nordeste da Índia) foram geralmente próximos aos estimados pelo método SIG, superestimando os valores em no máximo quatro vezes os das medições diretas. Já as equações de Alley e Veenhuis superestimaram até vinte vezes em certas bacias hidrográficas. Os autores alertaram para a confiabilidade do uso de equações empíricas desenvolvidas para outras cidades / regiões, então eles desenvolveram sua própria equação para as bacias de estudo tendo como base a equação de de Sutherland (2000):

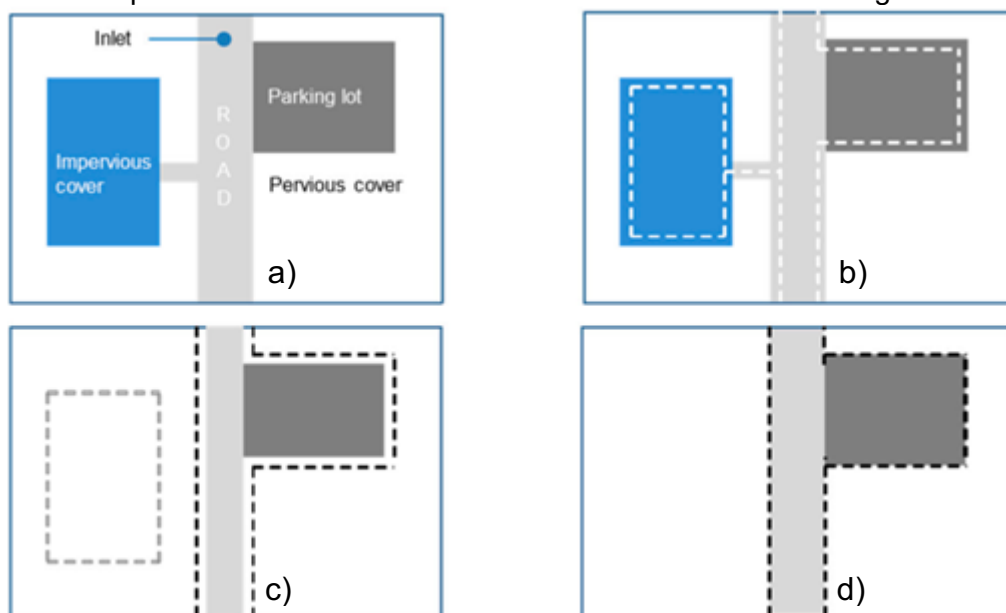
$$AIDC = 0,0035 \times AIT^{2,17} \quad (\text{Eq. 24})$$

Embora não tenham validado a equação que criaram, Sahoo e Sreeja (2016) acreditam que, para uma análise inicial rápida, as equações de Sutherland podem ser úteis para planejadores e tomadores de decisão, mas a generalidade da correlação entre

AIDC/AIT precisa ser avaliada para outras bacias urbanas na Índia. Os autores sugerem que a relação AIDC/AIT poderia ser generalizada para outras bacias com parâmetros semelhantes de AIT e densidade de drenagem.

Hwang, Rhee e Seo (2017) também estimaram a AIDC por meio de SIG, considerando o cruzamento da rede de drenagem, do fluxo do escoamento e do mapa de uso e cobertura da terra. A identificação das AIDC seguiu quatro passos: 1- Identificação e remoção das áreas impermeáveis isoladas (All), que são aquelas cercadas por cobertura permeável. Foram medidos os caminhos que conectavam as edificações às vias públicas e aquelas que apresentaram valor até 1 metro foram excluídas das AIDCs (processo apresentado na Figura 2.9); . 2- Identificação de All adicionais em áreas com sistemas de drenagem, por meio do processamento da direção do fluxo obtida pelo MDE. 3- Remoção dos elementos classificados em escolas e jardins, pois normalmente incluem áreas permeáveis não identificadas por imagens aéreas. 4- Também foram removidos apartamentos, já que geralmente incluem calçadas permeáveis, jardins, playgrounds e vielas verdes, no caso da realidade local (Bacia de Shinweol, Seul, Coreia do Sul).

Figura 2.9 - Procedimento para exclusão de áreas impermeáveis isoladas usando o valor de limite de conectividade e a função do *buffer* em um aplicativo SIG: a) Área impermeável conectada a uma estrada com um caminho estreito (≤ 1 metro). b) Com um *buffer* para o interior dos contornos, analisa-se a existência de caminhos estreitos (≤ 1 metro). c) Excluem-se os caminhos estreitos e expande-se o *buffer* para seu limite original. d) Exclui-se a edificação também, pois a área impermeável não está mais conectada ao sistema de drenagem.



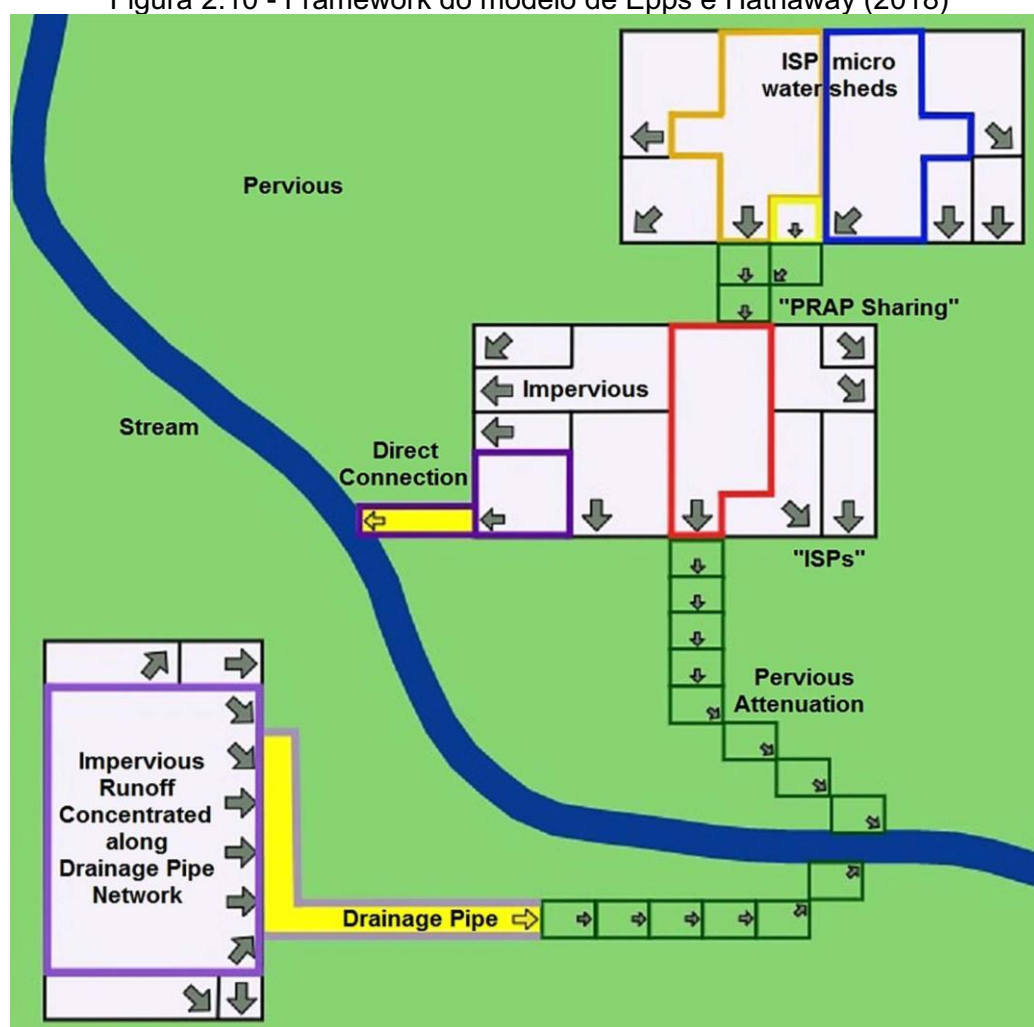
Fonte: Hwang, Rhee e Seo (2017)

Apesar do enfoque em All, o resultado mostrou que o discernimento destas áreas é muito incomum, e a maioria das áreas impermeáveis estão interconectadas entre si nas bacias de estudo. A AIDC foi próxima à AIT, ou seja, as AIDC não foram muito reduzidas

mesmo após a retirada das áreas impermeáveis isoladas (etapa 2). A área de estudo é composta por áreas altamente desenvolvidas com alta cobertura impermeável, com duas bacias com 85% a 95% de AIT.

Os métodos anteriormente descritos tinham foco em bacias hidrográficas não monitoradas, diferente do próximo método a ser apresentado. Epps e Hathaway (2018) propuseram um *framework* para a medição e identificação da AIDC em bacias monitoradas. O modelo mede a conectividade de superfícies impermeáveis em uma base volumétrica relacionada à produção e atenuação de escoamento em diferentes vias conforme ele se move em direção ao rio (Figura 2.10).

Figura 2.10 - Framework do modelo de Epps e Hathaway (2018)



Fonte: Epps e Hathaway (2018)

No modelo da Figura 2.10, a cobertura de superfície é dividida em quatro classes: impermeável, tubo de drenagem, córrego e permeável. Com o uso de um MDE, o fluxo é direcionado para a saída da bacia hidrográfica. *Rasters* da cobertura de superfície e direção de fluxo são convertidos em matrizes NumPy (VAN DER WALT; COLBERT; VAROQUAUX,

2011) para identificar pontos de transição superficial ao longo de caminhos de fluxo de escoamento (ou seja, mudanças na cobertura da terra ao longo do caminho de fluxo), pois esses são os pontos na bacia hidrográfica que definem conectividade.

Esses pontos são identificados na Figura 2.10 como setas direcionais apontando para longe da superfície impermeável ou tubos de drenagem, indicando transição para superfícies permeáveis ou o próprio riacho. Eles são referidos como pontos impermeáveis de bacias hidrográficas (ISPs). O escoamento de cada ISP é direcionado ao longo do caminho do fluxo em direção ao rio até que seja totalmente atenuado ou uma parte não atenuada atinja o rio. A atenuação do escoamento é definida no modelo como um decréscimo volumétrico do escoamento à medida que se move através de uma superfície permeável. A vazão destas áreas são estimadas por meio das áreas associadas aos pontos impermeáveis e da altura da chuva, e divididos pela área da bacia hidrográfica, rendendo uma medida equivalente à fração da bacia considerada AIDC.

Já Ebrahim, Gulliver e Wilson (2018) desenvolveram um método que estima a fração da AIDC em bacias hidrográficas urbanas usando dados disponíveis (cobertura da terra e grupo hidrológico do solo). Este método SIG-Curve Number (CN) é baseado na previsão do comportamento do CN em eventos de chuva-vazão a partir da cobertura da terra e tipos de solo em escala da bacia. O objetivo foi vincular a AIDC usando uma estrutura hidrológica simples, em vez de depender apenas de uma estrutura estatística obtida por uma análise de regressão. O número da curva assintótica (CN), que é um CN dependente de chuva e definido pela assíntota de uma relação exponencial entre CN e altura da chuva, fornece a estrutura para captar as características de escoamento das bacias hidrográficas.

O método é capaz de estimar a fração AIDC em função do CN assintótico de bacias hidrográficas e prever CN em termos de fração AIT (f_{AIT}) e condutividade hidráulica saturada representativa do solo (K_{sat}) como estimado a partir de grupos de solos hidrológicos em uma bacia hidrográfica urbana. Assim, a fração AIDC é definida em função desse índice. Este método pode ser resumido em três passos:

- 1- Obtenção da área impermeável total (AIT) e distribuição dos grupos hidrológicos de solo para a bacia hidrográfica de estudo pela análise geoespacial da cobertura da terra e dados de solo. Na sequência, faz-se o cálculo da fração de AIT e determinação da condutividade hidráulica saturada média ponderada do solo para a bacia hidrográfica;
- 2- - Estimativa do número da curva assintótica da bacia hidrográficado da bacia hidrográfica (CN) em função da fração de AIT e da condutividade hidráulica saturada utilizando a equação abaixo ou a Figura 2.11.

$$CN_{\infty} = 67,8 + 30,0f_{AIT} - 15,1(1 - f_{AIT})^{0,5} \log \frac{k_{sat}}{ksat_Ref} \quad (\text{Eq. 25})$$

Em que:

CN_{∞} = valor assintótico correspondente a uma altura de chuva infinita

f_{AIT} = fração de Área Impermeável total;

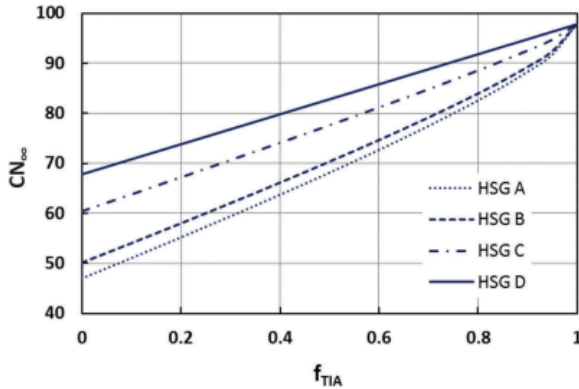
$ksat$ = condutividade hidráulica saturada;

$ksat_{ref}$ = condutividade hidráulica saturada do grupo hidrológico de solo D

3- Determinação da fração da AIDC (f_{AIDC}) em função do CN_{∞} , usando a Equação seguinte ou Figura 2.12.

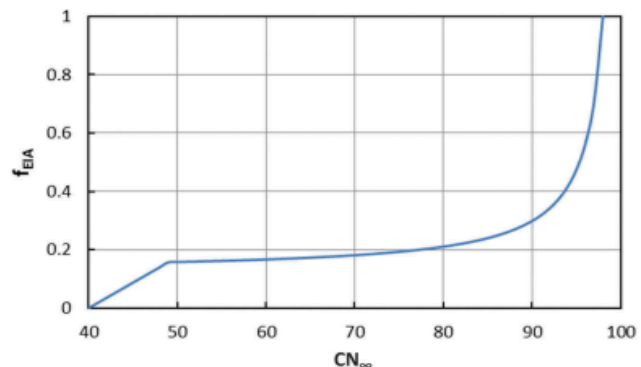
$$f_{AIDC} = \begin{cases} 0,0175CN_{\infty} - 0,6987 & \text{se } 40 \leq CN_{\infty} \leq 49 \\ \frac{16 - 0,14CN_{\infty}}{114 - 1,14CN_{\infty}} & \text{se } 49 \leq CN_{\infty} \leq 98 \end{cases} \quad (\text{Eq. 26})$$

Figura 2.11 - Representação gráfica da Equação 19 para estimar CN_{∞} com base em f_{AIT} e Grupos de Solo



Fonte: Ebrahim, Gulliver e Wilson (2018)

Figura 2.12 - Gráfico de f_{AIDC} versus CN_{∞} com base na Equação 20 para a estimativa de f_{AIDC} em bacias hidrográficas urbanas em termos de CN_{∞}



Fonte: Ebrahim, Gulliver e Wilson (2018)

Os autores testaram o método em 35 bacias urbanas de Minnesota e Texas (EUA) com diferentes tamanhos e características físicas para prever o CN_{∞} assintótico. O estudo encontrou que cerca de metade das superfícies impermeáveis das bacias hidrográficas residenciais era conectada hidráulicamente ao sistema de drenagem. Para comparar as curvas apresentadas de vazão vs fração de AIDC com os valores observados (ou seja, validação), a altura de escoamento foi calculada. A tendência geral dos dados observados vai ao encontro das curvas propostas para todas as alturas de chuvas, contudo, mais dispersão é vista para maior precipitação ($P = 50$ mm). Os autores explicam que isso ocorre devido à quantidade de contribuição da área permeável na bacia, conforme também

constatato nos estudos anteriormente descritos. Uma limitação do método é que ele não determina a localização da AIDC na bacia hidrográfica, além da dependência de uma base de dados confiável de tipos hidrológicos de solo.

Sytsma *et al.* (2020) criticam o uso da AIDC e AID, afirmando que se tratam apenas de medidas físicas entre dois pontos, linhas ou polígonos. Segundo os autores, essas métricas de conectividade física não levam em conta os processos ou interações hidrológicas, portanto, podem ou não se correlacionar com a conectividade hidrológica real. Assim, os autores elaboraram um método para a conectividade hidrológica – a que se refere à conectividade de caminhos de água em uma paisagem. O modelo separa as superfícies impermeáveis em duas categorias: Conectadas direta ou fisicamente (A_{phys}) e conectadas de forma variável (A_{var}) (impermeáveis que drenam para permeáveis), cujo somatório compõe a chamada área impermeável hidrológicamente conectada (HCIA). Os autores assumem que o escoamento é gerado como excesso de fluxo superficial da infiltração. A HCIA é estimada conforme a equação seguinte e demonstrada na Figura 2.13:

$$HCIA = \emptyset_{phys}A_{phys} + \emptyset_{var}A_{var} \quad (\text{Eq. 27})$$

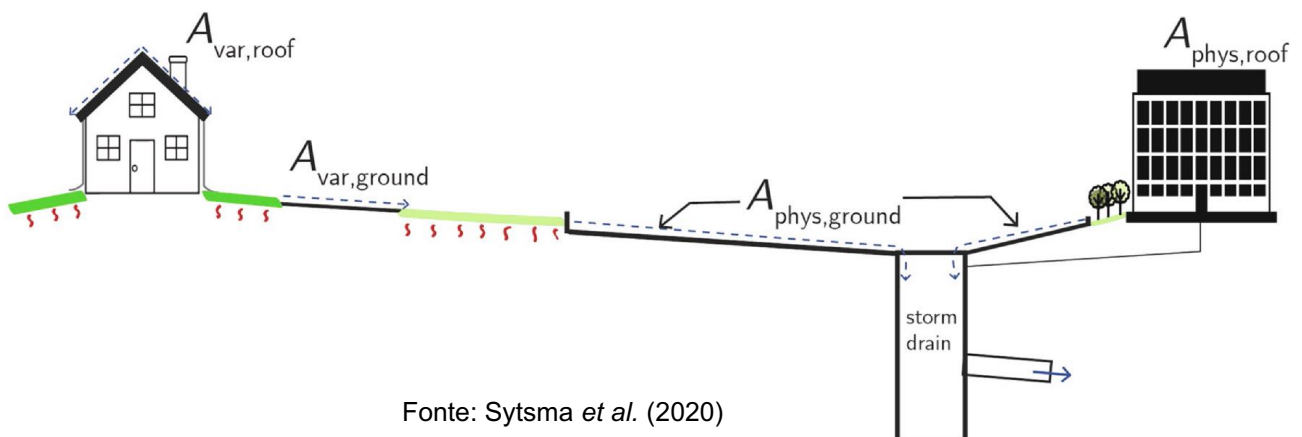
Em que:

\emptyset_{phys} e \emptyset_{var} = fração de precipitação que contribui para o escoamento pelas superfícies impermeáveis (\emptyset_{phys}) ou permeáveis (\emptyset_{var}), este último ocorre em função dos parâmetros de chuva, umidade do solo e textura do solo e geometria (área total, largura, fração permeável e inclinação).

A_{phys} = Áreas conectadas fisicamente (impermeáveis); que é a soma da área dos telhados ($A_{phys,roof}$) e da superfície impermeável no nível do solo ($A_{phys,ground}$).

A_{var} = Áreas conectadas de forma variável; que é a soma da área dos telhados ($A_{var,roof}$) e da superfície impermeável no nível do solo ($A_{var,ground}$).

Figura 2.13 - Modelo conceitual de categorias de superfície impermeáveis: direta ou fisicamente conectada (A_{phys}) e variavelmente conectada (A_{var}) (impermeável que drena para permeável).



Fonte: Sytsma *et al.* (2020)

Em outras palavras, os parâmetros físicos referem-se à AIDC; enquanto os parâmetros variáveis referem-se à All, parâmetro já utilizado em estudos anteriores. Para os eventos de precipitação e solos avaliados, a textura do solo definida pela condutividade hidráulica saturada (K_s) foi a característica mais importante na determinação do grau de conectividade hidrológica superficial impermeável. Os resultados sugeriram que, para bacias hidrográficas que consistem em solos altamente impermeáveis, A_{var} contribui para HCIA de tal forma que HCIA se aproxima de AIT, mas para bacias hidrográficas com solos altamente permeáveis, A_{var} não contribui significativamente para HCIA, e assim AIDC pode ser usado como um substituto adequado para HCIA.

2.2.1.2.1. Conectividade dos Telhados

Conforme citado, métodos de sensoriamento remoto ou SIG não são capazes de estimar a AIDC relacionada aos telhados e, por isso, Han e Burian (2009) indicaram, em seu método, que o usuário designe um único valor para representar a fração dos telhados conectados às áreas impermeáveis. Assim, os telhados dos edifícios foram tratados separadamente para que o usuário possa inserir um fator de AIDC. Cada cidade tem fração de conectividade amplamente variada: Denver: menos de 25% (ALLEY; VEENHUIS, 1983), Boulder, Colorado: 2,8% (LEE; HEANEY, 2003) e quase todos os telhados estavam diretamente conectados para várias pequenas bacias hidrográficas na Austrália (BOYD *et al.*, 1994), por exemplo.

No método proposto por Han e Burian (2009), a fração escolhida pelo usuário é multiplicada pela área do telhado para definir a AIDC dos telhados. No estudo (Houston/EUA), aproximadamente 69% das áreas de telhados estavam conectadas ao sistema de coleta de águas pluviais, valor considerado elevado, mas coerente, já que são áreas institucionais com sistemas de drenagem implantados. Esta área é adicionada à AIDC final a partir do rastreamento do fluxo de escoamento para produzir a estimativa geral da AIDC para a bacia hidrográfica. Assim, o raster final é uma camada de dados composta por categorias de AIDC, AID, água, vegetação e telhados.

Alguns métodos podem ser empregados para melhorar as estimativas de conectividade do telhado. O primeiro é o uso de levantamentos locais na bacia hidrográfica do estudo para determinar a parte de cada telhado que está conectada por calhas ou drenos à rua ou rede de drenagem. Esta estimativa pode ser auxiliada com o uso de fotografia aérea ou de uma abordagem simples que divide a área total do telhado com base no número de calhas conectadas e desconectadas por telhado (LEE; HEANEY, 2003). Dependendo do tamanho da bacia hidrográfica, isso pode ou não ser viável.

Uma segunda opção é especificar a conectividade por telhado ou tipo de cobertura e calcular um valor composto para a bacia hidrográfica ponderado pela distribuição de áreas de cada tipo de telhado (HAN; BURIAN, 2009). Isto permite que seja feita uma distinção entre tipos de telhado muito diferentes, por exemplo, entre 'antigo residencial', que teria uma conectividade de telhado baixa e 'Industrial', que pode ter um valor de 90% ou superior. No entanto, há uma série de variáveis locais como histórico de uso da terra, códigos de desenvolvimento, programas de retrofit locais e preferência do proprietário - que influenciam a conectividade das áreas do telhado (SYTSMA *et al.*, 2020). Na verdade, há uma ampla gama de valores de conectividade de telhado. Já Keeley (2007) sugere que o próprio morador possa confirmar as áreas cobertas por superfícies impermeáveis, a partir de questionários, bem como confirmar a conexão de superfícies impermeáveis ao sistema de drenagem, retirando assim a necessidade de inspeção *in loco*.

Em busca de analisar a conectividade dos telhados, Sytsma *et al.* (2020) avaliaram os códigos de construção atuais e históricos na cidade de Denver, sendo que o regramento mais atual orienta que o escoamento do telhado de residências unifamiliares seja descarregado em áreas planas, como gramados, quando possível. Por meio do Google Street View e Google Maps, os autores confirmaram que a maioria das casas direcionam o escoamento do telhado para jardins ou gramados, enquanto a maioria dos edifícios comerciais com telhados planos parecem usar drenagem interna do telhado (visível em imagens de satélite). Assim, os autores consideraram que todas as áreas de telhado de uso comercial / industrial estavam diretamente conectadas à rede de drenagem.

2.2.1.2.2. Principais destaques dos métodos baseados em SIG

A partir da análise dos estudos existentes sobre AIDC a partir de SIG, vários *insights* podem ser aqui destacados.

Conectividade Hidráulica Urbana: Em geral, os métodos podem identificar a conectividade do caminho do escoamento. Para isso, o MDE fornece a direção de fluxo, que permite identificar pontos de descontinuidade superficial que diferenciam o AIDC e AIT.

Resolução Espacial dos dados: A microtopografia urbana e a representação da infraestrutura precisam ser captadas. Como exemplo, Epps e Hathaway (2018) citam que as estruturas de entrada de água pluvial são normalmente muito menores do que um quadrado de 4 m (16 m²), como no caso do estudo de Han e Burian (2009). Qualquer fluxo direcionado para o quadrado de 4 m classificado como uma entrada de água pluvial, seria conectado, o que torna a análise equivocada. Por outro lado, uma resolução detalhada,

como no caso do MDE de 1m do estudo de Han e Burian (2009), gerou ruídos no mapa da direção do fluxo. Os autores indicaram o uso de resoluções mescladas de 4m e 1m.

Classificação de imagens: A presença de árvores é citada em muitos estudos como causas de erros na classificação de AIT. Recomenda-se o uso de métodos de filtragem para classificar corretamente.

Cadastro Técnico de Drenagem: Muitos autores destacam a inexistência de cadastros de drenagem, ou, se existente, muitos erros foram encontrados. Isso ocorre porque esses cadastros não foram desenhados para aplicações de engenharia, mas para propósitos gerais de gestão.

Condição Limite das ruas: Se bancos de dados SIG precisos estiverem disponíveis, incluindo a condição do limite da rua, é possível verificar se a rua está conectada ao meio-fio e sarjeta, sendo considerada AIDC. Se não houver estes elementos, pode-se considerar que a rua é aberta em toda a sua extensão (área desconectada).

Dominialidade: As ruas estão em terrenos públicos e as edificações estão em terrenos privados⁹. No entanto, calçadas estão parcialmente em terras públicas e privadas. Foi ressaltado que a maior parte do escoamento está relacionada aos elementos de transporte, mas que raramente essa fonte de escoamento (áreas públicas) é identificada como um usuário separado e tem seu custo avaliado de modo justo.

Conexão dos telhados: Em nível internacional, pode-se dizer que o escoamento gerado a partir dos telhados residenciais é de baixa significância. Alguns estudos verificaram que a maior parte das áreas conectadas eram zonas comerciais ou industriais. A opção mais viável constitui em questionário autodeclaratório para o morador para confirmar a conexão de superfícies impermeáveis ao sistema de drenagem, retirando assim a necessidade de inspeção *in loco*.

Inspeções de Campo: Embora sejam viáveis para investigações em sub-bacias ou em escala de lotes, análises de maior escala (cidade ou bacia) continuam sendo uma tarefa árdua e muitas vezes inviável, impossibilitando a aplicação de alguns estudos para estudos espaciais maiores.

Relação AIDC/AIT: Esta relação tende a diminuir à medida que o tamanho do lote aumenta.

Uma síntese das técnicas de estimativa de AIDC a partir de SIG, com seus principais insights, vantagens e desvantagens, é apresentada no quadro seguinte.

⁹ Uma discussão mais aprofundada é apresentada no item 2.3 - Características Econômicas e Regulatórias dos serviços de Drenagem Urbana no Brasil

Quadro 2.8 – Síntese dos estudos levantados para estimativa de Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas (AIDC)

Estudo	Principais insights /Suposições	Vantagens	Desvantagens
Lee e Heaney (2003)	<ul style="list-style-type: none"> - Avalia conectividade física de cada calçada, garagens, telhados (existência de calhas); - Avalia condições limites das ruas: A drenagem de meio-fio e sarjeta é a principal fonte de AIDC, enquanto a contribuição dos telhados é de baixa significância; - Maior parte AIDC situa-se em áreas públicas, essa fonte de escoamento raramente é identificada como um usuário separado e tem seu custo avaliado de modo justo; - Os terrenos públicos dentro da faixa de servidão podem ser a área mais importante para gerenciar a impermeabilidade urbana, e a superfície do pavimento da rua é a mais significativa. 	Simplicidade	As medições de campo não foram consideradas viáveis , método é muito demorado e caro. Além disso, o método é impreciso e impraticável para grandes bacias hidrográficas.
Han e Burian (2009)	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizam o fluxo de análise geoespacial de Jenson e Domingue (1988), eliminando áreas planas; - Na classificação das imagens, citam a interferência de árvores na paisagem residencial contribuindo para as imprecisões observadas da AIT, - As células do telhado, da água e da vegetação do edifício foram ignoradas, - Destacam a importância de identificar com precisão os locais de meio-fio e sarjeta nas estradas para estimar AIDC, - Conceitua água conectada e desconectada: Conectada é composta de estruturas de sistema de drenagem ou transportes naturais, como córregos, rios, canais de drenagem, lagoas de retenção, enquanto a água desconectada inclui feições hídricas (como lagoas de retenção, piscinas, fontes decorativas), -A aplicação em escala de bacia hidrográfica validou ainda mais a abordagem de estimativa AIDC/AIT como sendo capaz de fornecer estimativas razoáveis para grandes bacias hidrográficas com tempo e esforço relativamente mínimos. - Concluem que o uso de uma imagem multiespectral mesclada de 4 m e pancromática de 1 m provavelmente melhoraria o desempenho da abordagem automatizada de estimativa de AIDC. O processo utilizou uma resolução de 4 m para classificar os dados de cobertura de superfície produzidos por imagens, o que também foi apontado como um fator no erro de estimativa da AIDC, especialmente em áreas urbanas com cobertura de superfície 	<ul style="list-style-type: none"> - Método automatizado, aplicável a bacias hidrográficas, inclusive àquelas não monitoradas, - Fornece a localização da AIDC na bacia hidrográfica, o que torna o método particularmente atraente para aprimorar o desenvolvimento e a colocação de BMPs, - Consome menos tempo que o método anterior 	<ul style="list-style-type: none"> - Usuário deve designar um único valor para representar a fração dos telhados conectados às áreas impermeáveis. - Script utilizado não está disponível, - A resolução espacial utilizada (4m) não capta a microtopografia urbana.

Estudo	Principais insights /Suposições	Vantagens	Desvantagens
	heterogênea, que não é bem capturada nesta resolução.O uso isolado de MDE de 1m também não foi aconselhável, pois gerou muito ruído no mapa de direção do fluxo.		
Wenger <i>et al.</i> (2008)	- Classificação manual em imagens de alta resolução. As AIDCs eram um subconjunto de superfícies impermeáveis que visualmente drenavam para a rede de transporte de águas pluviais. Essas conexões eram geralmente óbvias nas fotografias aéreas de alta resolução, casos incertos foram considerados diretamente conectados.	Mais preciso	- Classificação manual é viável somente para pequenas áreas, - Necessidade de imagens aéreas de alta resolução.
Sahoo e Sreeja (2014)	Realizaram um caminho invertido do método de Han e Burian (2009): Cada camada impermeável conectada à camada de rede de drenagem foi verificada. Neste estudo foi assumido que, onde não havia menção à localização das sarjetas e bueiros na rede de drenagem, o sistema de drenagem era aberto em toda a sua extensão, permitindo a entrada de águas pluviais em qualquer lugar ao longo de sua extensão. Os telhados foram classificados erroneamente por causa de sua cor e material. Por isso, os autores recomendam que sejam utilizadas imagens de satélite de resolução fina para melhorar a precisão da determinação da AIT.	- Aplicável à bacias não monitoradas, - Fornece a localização da AIDC na bacia hidrográfica, o que torna o método particularmente atraente para aprimorar o desenvolvimento e a colocação de BMPs.	- Script utilizado não está disponível.
Hwang, Rhee e Seo (2017)	Conceitaram e removeram Áreas Impermeáveis Isoladas (All), com descrição detalhada da metodologia. Contudo, a remoção de All pouco alterou o resultado da AIDC; - Suposições: Remoção dos elementos classificados em escolas e jardins, pois normalmente incluem áreas permeáveis não identificadas por imagens aéreas. Também foram removidos apartamentos, já que geralmente incluem calçadas permeáveis, jardins, playgrounds e vielas verdes, no caso da realidade local (Bacia de Shinweol, Seul, Coreia do Sul).	- Método mais justo, mas pouco altera o resultado final da AIDC, - Descrição detalhada,	- Alto nível de detalhamento de imagens, requerendo imagens aéreas de alta resolução espacial (1m).
Epps e Hathaway (2018)	O modelo mede a conectividade de superfícies impermeáveis em uma base volumétrica relacionada à produção e atenuação de escoamento em diferentes vias conforme ele se move em direção ao rio. Uma suposição do modelo é que nenhum escoamento é atenuado em superfícies impermeáveis ou tubos de drenagem, os tubos de drenagem são bem conhecidos por vazarem no aquífero, e isso representa uma perda de escoamento impermeável para o fluxo de base.	- Método aplicável a bacias monitoradas, - Consideram o volume e a atenuação do escoamento. - A conexão do telhado às redes de tubulação podem ser estudadas ainda mais na	- Necessidade de cadastro preciso (tubulações) e de dados de chuva, - Necessário conhecimento em programação; - Assume potencial de atenuação de escoamento

Estudo	Principais insights /Suposições	Vantagens	Desvantagens
		<p>estrutura de modelagem, dada a precisão suficiente dos dados da tubulação e a representação da conectividade da calha.</p>	<p>idêntico para todas as superfícies permeáveis, - Maior complexidade.</p>
<p>Ebrahim, Gulliver e Wilson (2018)</p>	<p>Este método SIG-CN foi baseado na previsão do comportamento do CN, um índice da bacia que representa as características do escoamento, em eventos de chuva-vazão a partir da cobertura da terra e tipos de solo em escala da bacia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser aplicado a bacias hidrográficas urbanas não calibradas, - As curvas desenvolvidas fornecem uma ferramenta para avaliar o impacto da redução da AIDC (por exemplo, implementando práticas de infraestrutura de águas pluviais) 	<ul style="list-style-type: none"> - Não determina a localização da AIDC, - Dependência de uma base de dados confiável de tipos hidrológicos de solo.

2.2.1.3 Adoção de Relação AIDC/AIT

Outro método que vem sendo utilizado para o cálculo da AIDC é o uso de relações empíricas baseadas na análise de regressão dos percentuais de AIT para AIDC. É um método relativamente simples e rápido e são frequentemente utilizados devido sua facilidade de aplicação (SULTANA *et al.* 2020), pois requerem apenas um parâmetro (AIT). Ball *et al.* (2019) fizeram uma compilação de algumas relações citadas na literatura (Quadro 2.9):

Quadro 2.9 - Visão geral da literatura internacional sobre AIDC/AIT

País	Autores	Bacias Hidrográficas analisadas	AIDC/AIT média
Austrália	Phillips <i>et al.</i> (2014)	8	65%
Dinamarca	Jensen (1990)	6	90%
	Boyd <i>et al.</i> (1993)	1	76%
Estados Unidos	Alley e Veenhuis (1983)	19	56% (unifamiliar) 77% (industrial) 94% (comercial)
	Janke, Gulliver e Wilson (2011)	2	32 a 33%
Finlândia	Melanen e Laukkanen (1981)	7	75%

Fonte: Adaptado de Ball *et al.* (2019)

Além da relação AIDC/AIT, Phillips *et al.* (2014) também estimaram a AIDC utilizando outros dois métodos: regressão de dados chuva-vazão e SIG (Quadro 2.10). A análise de regressão identificou que a AIDC é de 55 a 65% da AIT, embora haja algumas exceções. O método SIG tendeu a superestimar a AIDC da análise de regressão, que foi 70% do valor estimado por meio de SIG.

Quadro 2.10 – Síntese das estimativas de AIDC de Phillips *et al.* (2014)

Bacia	Fração AIT urbana	AIDC/AIT	AIDC (SIG)/AIT	AIDC (regressão)/AIT
Albany Drain (WA)	35%	59%	83%	71%
McArthur Park (NT)	45%	66%	93%	70%
Giralang (ACT)	46%	74 - 80%	95%	82%
Parra Hills Drain (SA)	55%	56%	87%	64%
Kinkora Road (VIC)	66%	59%	87%	68%
Powells Creek (NSW)	68%	59 - 63%	81%	75%

Fonte: Phillips *et al.* (2014)

Com base na literatura internacional, e na ausência de quaisquer dados locais de vazão e precipitação, Ball *et al.* (2019) acreditam que a relação AIDC/AIT de 50% a 70% parece ser apropriada para a grande maioria das bacias urbanas. Dentro desta faixa, Phillips *et al.* (2014) sugerem o uso de 55% a 65% para lotes unifamiliares australianos, sendo que áreas comerciais/industriais a conectividade é maior. Na escolha do valor do AIDC/AIT, Ball *et al.* (2019) sugerem as seguintes considerações:

- Se as áreas do telhado estão conectadas à infraestrutura de águas pluviais, sendo assim maior a AIDC;
- Se a infraestrutura de drenagem é encanada ou se os recursos WSUD (como valas) são adotados. Alguns estudos internacionais sugerem que grandes extensões de valas de drenagem (em vez de tubulações) resultam em uma redução da AIDC/AIT, embora não haja dados suficientes para caracterizar adequadamente esse efeito;
- Se os resultados das bacias hidrográficas foram baseadas em relações dos EUA, atentar-se que os estudos sugerem que, para áreas industriais e comerciais altamente impermeáveis, há um nível mais alto de conectividade, resultando em uma relação AIDC/AIT muito mais alta. No entanto, os autores comentam que isso não foi observado nos dados da Europa, e os dados dos EUA não parecem se correlacionar com os resultados europeus ou australianos. Pode ser apropriado adotar valores mais altos para AIDC/AIT para áreas industriais, comerciais e metropolitanas altamente impermeáveis (AIT maior que 80%).

Conforme visto, estudos mostram que as relações empíricas são específicas para cada região e estimam o escoamento de maneira imprecisa quando aplicadas em outras áreas para as quais foram desenvolvidas (SAHOO; SREEJA, 2016). Além disso, há uma grande variação na porcentagem de conectividade entre os lotes e a AIDC não pode ser prevista com precisão a partir de relações empíricas com a AIT (ROY; SCHUSTER, 2009).

2.2.1.4 Medição Direta/ Investigação de campo

Na técnica de medição direta ou manual, geralmente combinadas às tecnologias SIG, as áreas de todos os telhados, ruas, calçadas e outras superfícies impermeáveis são medidas diretamente. A fonte desses dados pode ser levantamento no local, mapas de uso da terra, modelagem de imagens de satélite e fotografia aérea. A medição direta da AIDC é complexa, cara, demorada e poucas análises tem sido realizadas (BOOTH; JACKSON, 1997; LEE; HEANEY, 2003), sendo impraticáveis em grandes bacias hidrográficas.

Roy e Shuster (2009) delimitaram a AIDC e AIT uma bacia hidrográfica de 1,85 km² em Cincinnati, Ohio/EUA, usando uma combinação de compilação de dados SIG, interpretação de fotos aéreas (para estimativa da AIT) e avaliações de campo (pesquisa junto aos proprietários sobre a conectividade ao sistema de drenagem). Os autores utilizaram as avaliações de campo para determinar com precisão a extensão espacial e os tipos de superfícies impermeáveis. Contudo, a maior parte dessas superfícies adicionais estavam desconectadas da rede pública, sugerindo que as avaliações de campo podem não ser decisivas para avaliar a impermeabilidade. Os autores ressaltam que mapas precisos do transporte de águas pluviais e da direção do fluxo do escoamento são necessários para se avaliar com precisão a AIDC em escala de bacia hidrográfica.

Roy e Shuster (2009) desenvolveram e testaram uma equação de regressão ($AIDC = (0,627 \times AIT) - 1,86$) e compararam seus resultados com os obtidos usando as equações de Alley e Veenhuis (1983) e Wenger *et al.* (2008). Os resultados indicaram que todas as equações foram imprecisas ($R^2 = 0,57$), o que foi atribuído à existência de muita variação nas medições de AIT e AIDC entre os lotes devido às diferentes práticas de uso da terra.

Lee e Heaney (2006) foram auxiliados por 195 pessoas por hora para investigar uma área de 0,06km², enquanto Han e Burian (2009) demandaram 40 pessoas por hora para completar uma área de 2,3 km². Roy e Shuster (2009) receberam menos ajuda, utilizando apenas 2 pessoas para cobrir 1,85km², totalizando 54 horas, ou aproximadamente 15 minutos/propriedade (total de 222), além de mais 5 horas (1,4 min por propriedade) adicionais para pesquisa das calçadas (para os imóveis que os pesquisadores não tiveram acesso).

Em nível nacional, também se observa uma escassez de estudos que avaliam a AIDC *in loco*. Garotti e Barbassa (2010) fizeram várias investigações de campo para a quantificação da conectividade hidráulica urbana em 11 tipos de lotes (institucional, comerciais e industriais, mistos, residenciais, sendo este último dividido em 7 diferentes tamanhos e em edifícios verticalizados), que totalizaram 198 lotes visitados na cidade de Ribeirão Preto/SP. Na vistoria, os autores identificaram a presença de AID e fizeram o detalhamento dos telhados. Como resultado, os autores observaram que a impermeabilização cresce com a redução da área do lote, semelhante aos resultados obtidos por Faria (2013) em vistoria de 125 lotes em Cuiabá-MT, bem como em estudos internacionais. A comparação de ambas pesquisas para os mesmos estratos mostra resultados semelhantes com relação à AIDC/AIT (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 – Relação de AIDC/AIT de estudos realizados no Brasil

Estrato	Descrição	AIDC/AIT	
		Garotti e Barbassa (2010)	Faria (2013)
1	Prestadores de serviços e templos	94%	96%
2	Comércios e indústrias	90%	98%
3	Misto	100%	98%
4	Lotes Residenciais <125m ²	99%	100%
5	Lotes Residenciais 125-200m ²	88%	99%
6	Lotes Residenciais 201-300m ²	94%	94%
7	Lotes Residenciais 301-400m ²	86%	90%
8	Lotes Residenciais 401-600m ²	90%	84%
9	Lotes Residenciais 301-1200m ²	89%	90%
10	Lotes Residenciais >1201m ²	95%	77%
11	Lotes vazios	-	95%
12	Verticalizados	99%	-

2.3. Características Econômicas e Regulatórias dos serviços de Drenagem Urbana no Brasil

A Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007) define que os serviços públicos de saneamento básico devem ter “a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança dos serviços” (art. 29). Esta remuneração deve ocorrer na forma de tributos, inclusive taxas, ou tarifas e outros preços públicos (Lei Federal nº 14.026/2020).

Tributo é toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada (Lei Federal nº 5.172/1966). Assim, o tributo não pode ter caráter punitivo, com a respectiva indenização dos efeitos nocivos decorrentes das atividades humanas (LEGLER; MENDES, 2013).

As taxas, segundo a Lei Federal nº 14.026/2020, têm dois fatos geradores para a cobrança; o exercício regular do poder de polícia, ou a utilização, efetiva ou potencial, de serviço público específico e divisível, prestado ao contribuinte ou posto à sua disposição. Estes serviços podem ser:

I - utilizados pelo contribuinte:

a) efetivamente, quando por ele usufruídos a qualquer título;

b) potencialmente, quando, sendo de utilização compulsória, sejam postos à sua disposição mediante atividade administrativa em efetivo funcionamento;

II - específicos, quando possam ser destacados em unidades autônomas de intervenção, de utilidade, ou de necessidades públicas;

III - divisíveis, quando suscetíveis de utilização, separadamente, por parte de cada um dos seus usuários.

Os requisitos são cumulativos e dão os contornos necessários à exigibilidade da taxa de serviços. Os serviços gerais ou *uti universi* são aqueles que a administração presta sem ter usuários determinados, para atender à coletividade, como os serviços de iluminação pública, calçamento e policiamento, os quais satisfazem indiscriminadamente à população. Estes serviços são indivisíveis, pois não são mensuráveis na sua utilização, o que justifica serem mantidos por tarifas e outros preços públicos (MEIRELLES, 2007). Assim, a cobrança por esta modalidade é utilizada quando o serviço implica alternativa, quando o indivíduo pode escolher entre usá-lo ou não. É o que ocorre nos serviços de transporte público, telefonia ou distribuição de energia elétrica domiciliar (CANÇADO; NASCIMENTO E CABRAL, 2005).

Por outro lado, na prestação *uti singuli*¹⁰, tais como o abastecimento de água, a coleta de esgoto e a energia elétrica domiciliar, os usuários são determinados, com utilização particular e mensurável para cada destinatário, é possível identificar-se o beneficiário e, assim, cobrar diretamente dele. Esses serviços, quando implantados, devem ser remunerados por taxa ou tarifa. A partir do momento em que o Estado aparelha-se para executar o serviço, está atendida a exigência de especificação. Se o serviço for divisível, a taxa pode ser instituída. Logo, o que importa é a divisibilidade e não a especificidade do serviço (DA SILVA AMARO, 2003).

Há uma discussão acadêmica relativamente longa (e.g. BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; SILVEIRA, FORGIARINI; GOLDENFUM, 2009; LENGLER; MENDES, 2013) sobre os regimes jurídicos de cobrança por meio de uma taxa ou tarifa¹¹. Pinheiro (2009) afirma que serviços com medição, variáveis no tempo de acordo com o uso/quantidade do proprietário, como água e esgoto, são cobrados na forma de tarifa, enquanto serviços não medidos, como resíduos sólidos e drenagem urbana, onde é possível diferenciar os beneficiários, são cobrados em forma de taxa por propriedade. Os acadêmicos afirmam ser por taxa, mas Ribeiro (2016) afirma ser por tarifa por se tratar de preço público, já que as despesas com o manejo de águas pluviais de uso comum do povo, ou seja, aquelas que se precipitam diretamente nas vias públicas, devem ser custeadas pelo poder público mediante receitas gerais, e não pode ser objeto de cobrança específica.

¹⁰ de fruição individual, divisíveis, são aqueles para os quais se pode identificar facilmente um usuário, dada a divisibilidade da prestação.

Ribeiro (2016) também afirma que, como o usuário pode optar por armazenar ou infiltrar toda a água pluvial que se precipitar sobre sua propriedade ou enviá-la para o sistema público, o uso do serviço público de DMAPU não seria compulsório. Assim sendo, a tarifa seria instrumento próprio para a recuperação dos custos deste serviço público.

Motta e Feitosa (2019) complementam a discussão, reforçando que o financiamento de águas pluviais como um imposto pode levantar algumas questões legais, porque o imposto é um dinheiro exigido obrigatoriamente para apoiar serviços públicos que podem ser individualizados (*uti singuli*) em termos de custos e benefícios. Os benefícios do controle de enchentes (*uti universi*) são difusos para toda a comunidade e não podem ser individualizados. Os custos são estimados com base na contribuição impermeabilizante para o escoamento geral das águas pluviais, o que já foi contestado tecnicamente (NAFSMA, 2006). Os utilitários de águas pluviais beneficiam a todos. Por isso, os autores também acreditam que a gestão de águas pluviais são bens públicos que só podem ser financiados por impostos gerais.

Contudo, no meio acadêmico predomina a opção por taxa. O Quadro 2.11 apresenta os requisitos que uma taxa deve possuir bem como demonstra que estas características estão presentes nos serviços de drenagem urbana, a partir da visão de outros autores.

Quadro 2.11- Requisitos de uma taxa aplicados à drenagem

Requisitos de uma taxa	Características do serviço com o Manejo de Águas Pluviais
Utilização pelo contribuinte efetivamente ou potencialmente	O cidadão tem duas opções: Poderá optar por gerenciar as águas pluviais de sua propriedade, infiltrando-a, tratando-a, reutilizando-a ou outro uso, ou poderá optar por usufruir do serviço público de MAPLU ao lançar as águas para as vias públicas, desde que exista o serviço disponibilizado pelo município (Ribeiro, 2016). O proprietário renuncia à propriedade sobre as águas pluviais e o poder público é obrigado a recebê-las. Muitas vezes, essas águas podem acarretar apenas ônus para o poder público, que deve se preocupar com as questões qualitativas e quantitativas por meio do manejo adequado. Com isso, adquirir tal propriedade significa, na realidade, adquirir uma obrigação ao município. Poderia haver recusa no recebimento, por parte do poder público, ordenando as ações por meio das normas de uso e ocupação do solo, ou condicionar o recebimento ao pagamento de remuneração como uma indenização pelo ônus. Tal pagamento configura-se na

	remuneração dos serviços públicos de manejo de águas pluviais. (Ribeiro, 2016).
Especificidade	Os serviços de drenagem são específicos (<i>uti singuli</i>), ou seja, o serviço é destacável em unidades autônomas de utilização, permitindo-se identificar o sujeito passivo ou discriminar o usuário (Gomes <i>et al.</i> , 2008).
Divisibilidade	Da possibilidade de avaliar-se o usuário de modo individual e mensurável, há divisibilidade (Carrazza, 2003). A indivisibilidade, ocorre na oferta e não na demanda (Cançado <i>et al.</i> , 2005; Gomes <i>et al.</i> , 2008).

Fonte: Compilado pelo autor

Por fim, cita-se a opinião de Ataliba (1969), que comenta que o dilema entre taxa ou tarifa é uma mera escolha do tomador de decisão, que de modo efetivamente arbitrário, dá ou não a forma de taxa ao pagamento, assim, trata-se de mera forma. Cançado, Nascimento e Cabral (2005) comentam que a definição adequada da cobrança possibilita que esta cumpra algumas funções, o que depende do objetivo a ser alcançado com a receita tarifária. Seis funções podem ser enumeradas:

Quadro 2.12- Funções desejadas com a receita tarifária

Função	Objetivo
Cobrir os custos de produção dos serviços	Sustentabilidade financeira dos serviços: ressarcimento dos custos de investimento, operação e manutenção necessários à prestação dos serviços, além de gerar um excedente para ampliação dos mesmos. Estes investimentos são geralmente rebatidos ao longo de um período de amortização propiciado por empréstimos levantados para financiamento das obras.
Gerar os recursos financeiros para a expansão da rede de serviços	
Sinalizar para o consumidor a escassez relativa da oferta	Propiciar eficiência econômica nos serviços de drenagem, por meio do estímulo ao uso racional do solo a fim de evitar a impermeabilização desnecessária deste.
Papel racionalizador do consumo	
Remunerar o capital utilizado na produção	Remunerar adequadamente os agentes econômicos envolvidos no empreendimento. A receita gerada pela prestação dos serviços constitui parte da composição do capital a ser empregado no investimento e define a maior ou menor necessidade de recursos financeiros complementares.

Função	Objetivo
Ser instrumento da política social do governo	Utilizar a taxa sobre os serviços públicos como instrumento de redistribuição de renda.

Fonte: Elaborado a partir de Cançado, Nascimento e Cabral (2005)

Definida a função desejada com a cobrança, deve-se analisar a modicidade tarifária a ser utilizada, conforme o Quadro 2.13. Nesta pesquisa, não se aprofundará nos temas de regulação econômica, mas se apresenta o objetivo da regulação, conforme a Lei Nacional de Saneamento Básico:

IV - definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos quanto a modicidade tarifária, por mecanismos que gerem eficiência e eficácia dos serviços e que permitam o compartilhamento dos ganhos de produtividade com os usuários.

Assim, a regulação tarifária deve promover uma receita tarifária para o prestador de serviços, que seja a mais economicamente eficiente, mas que também atenda aos princípios da equidade, capacidade de pagamento, modicidade tarifária e equilíbrio econômico-financeiro.

Quadro 2.13 - Modelos de Cálculo Tarifário

Determinação de Tarifas/Taxas	Definição	Situação	Vantagens	Problemas
= Custo Marginal	É o custo a mais que a empresa vai ter para aumentar a produção de um determinado bem/produto. A atividade poderá ser viável se a variação dos rendimentos obtidos estiver maior ou igual do que a variação nos custos, através do custo marginal.	Mercado Concorrencial	Maximização do bem-estar social	Falta de interesse ou impossibilidade de definir a tarifa a este nível: monopólio natural; maximização de lucros por uma empresa monopolista; tarifas com funções redistributivas etc.
= Custo Marginal de Longo Prazo	É o custo marginal de produção, quando todos os custos são variáveis.	Eficaz, principalmente quando, com o aumento da escala de produção, os custos marginais aumentarem de forma mais acelerada que os custos médios do sistema.	Forma dinâmica de tarifação, com a incorporação de cenários futuros de planejamento. Possibilidade de maximização do bem-estar social no longo prazo.	- Dificuldades para conhecer os custos marginais de longo prazo (incertezas, mudanças tecnológicas etc.).

Determinação de Tarifas/Taxas	Definição	Situação	Vantagens	Problemas
= Benefício Marginal	É o valor máximo que um cliente está disposto a pagar pelo bem ou serviço extra.	-Consumo não rival -Custo marginal nulo e custo fixo positivo - Provisão monopolística	Aloca-se o bem de acordo com o retorno econômico para cada usuário. A capacidade de pagamento do consumidor é central na metodologia.	- Omitir os verdadeiros benefícios. Incentivo ao carona.
Preços Ramsey A tarifa aproxima-se do custo marginal.	Correspondem a um sistema de precificação em que o preço de um bem ou serviço está inversamente relacionado à sua elasticidade de demanda. Em palavras mais simples, os preços de Ramsey afirmam que quando as pessoas são mais sensíveis a um aumento de preço, um preço mais baixo deve ser definido. Por outro lado, quando as pessoas são menos sensíveis ao preço, um preço mais alto deve ser definido.	Discriminação de preços sobre serviços ou sobre consumidores.	Maximização do bem-estar social com garantia de receita que cubra os custos.	- As tarifas podem ser indesejáveis do ponto de vista distributivo. - Requer informações detalhadas sobre as demandas individuais. Devido aos requisitos de relatórios e às críticas de que são injustos, geralmente não são aplicados pelos reguladores.
= Custo Médio	Corresponde ao custo total dividido pela quantidade produzida	- Necessidade de cobrir custos (custos marginais pequenos e custos fixos muito elevados)	- Definição de tarifa não abusiva que garanta a viabilidade financeira da firma. - Relativa facilidade de implementação.	- Privilegia-se a sustentabilidade financeira. A maximização do bem-estar social não é garantida. - Determinação dos verdadeiros custos da firma.
= Custo Médio de Longo Prazo	É o custo médio de produção, quando todos os custos são variáveis.	Forma dinâmica de tarifação, com a incorporação de cenários de planejamento futuros.	Forma dinâmica de tarifação, com a incorporação de cenários futuros de planejamento to. Possibilidade de garantir recursos financeiros para expansão do	- Dificuldades para conhecer os custos de longo prazo (incertezas, mudanças tecnológicas etc.).

Determinação de Tarifas/Taxas	Definição	Situação	Vantagens	Problemas
			sistema no longo prazo.	

Fonte: Adaptado de Cançado, Nascimento e Cabral (2005)

Cançado, Nascimento e Cabral (2005) ressaltam que, como no Brasil praticamente inexistem informações precisas sobre a demanda dos serviços de drenagem, com análises de elasticidade¹² e de benefícios marginais, e sem experiências de medição do consumo individual dos serviços e a sua cobrança, existem muitas dificuldades na utilização metodológica das alternativas marginalistas (alternativas que contemplam primordialmente a eficiência econômica). Como solução alternativa, estes autores sugerem a definição de uma taxa equivalente ao custo médio de produção, priorizando o financiamento do sistema com a recuperação dos custos associados ao mesmo. O modelo de Custo Médio, assim, pode ser utilizado para os serviços públicos de MAPLU, haja vista a existência de custos marginais pequenos e custos fixos muito elevados. Esse modelo tem relativa facilidade de implementação e privilegia a sustentabilidade financeira, procurando-se a determinação dos verdadeiros custos do serviço (COSSENZO, 2021).

Desta forma, para definição de uma cobrança sobre os serviços de MAPLU associada ao custo médio torna-se obrigatório o conhecimento dos custos associados a sua prestação. Em geral, os custos dos serviços podem ser divididos principalmente em duas categorias: Custeio e Investimento (CANÇADO; NASCIMENTO; CABRAL, 2005; MONTENEGRO, 2017), conforme apresentado no Quadro 2.14. Na categoria custeio, estão inclusos os gastos com operação e manutenção (O&M), incluindo a gestão administrativa e técnica. A infraestrutura de drenagem é relativamente grande e complexa, necessitando de constante manutenção para que ela esteja à disposição. Na categoria de investimentos, incluem-se a renovação do sistema, atualização e modernização dos serviços e a expansão no atendimento.

Quadro 2.14 - Componentes dos custos de custeio e investimento

Custeio	Investimento (Capital)
Manutenção – limpeza e reparos em bocas de lobo, poços de visita galerias, dispositivos de retenção, detenção, e tratamento etc.	Renovação – substituição de ativos que atingiram o final da vida útil.

¹² Na economia, este conceito diz respeito à quanto de variação na demanda ocorrerá em face a uma variação no preço de um determinado produto.

Custeio	Investimento (Capital)
Operação – monitoramento das condições de galerias, monitoramento de áreas inundáveis, monitoramento hidrológico, fluviométrico e de qualidade da água, operação de sistemas de alerta, vistorias, etc. São custos associados ao desgaste da rede, à deposição de lixo e sedimentos no sistema, aos problemas de projeto etc	Atualização/modernização – modernização tecnológica da prestação.
Gestão administrativa e técnica – equipe administrativa e técnica, incluindo-se remuneração, encargos, benefícios, provisões, e demais custos da administração do prestador de serviços.	Expansão – custo de expansão (ou implantação) do sistema de micro e macrodrenagem (planejamento, projeto, construção etc). Os custos de expansão do atendimento podem ser divididos nos necessários para a superação do déficit e nos necessários para o atendimento do crescimento vegetativo. Envolve grande aporte de recursos para cobri-lo. Pode ser considerado fixo, pois é determinado a partir do dimensionamento do sistema que se baseia na perspectiva de demanda máxima.

Fonte: Elaborado a partir de Cançado, Nascimento e Cabral (2005), Pinheiro (2009) e Montenegro (2017)

Conforme o modelo escolhido, os resultados e, conseqüentemente, as tarifas poderão ser diferentes, o que pode afetar a capacidade de pagamento dos usuários. Não se pode desconsiderar que o acesso ao serviço público representa para o usuário a realização de um direito, muitas vezes vinculado à sua dignidade (RIBEIRO, 2015). Conforme Mankiw (2016, p. 233):

Outra maneira de avaliar a equidade de um sistema tributário é chamada princípio da capacidade de pagamento, segundo o qual os impostos devem ser cobrados das pessoas de acordo com a capacidade que elas têm de suportar o encargo.

O princípio da capacidade de pagamento leva a dois conceitos de equidade: vertical e horizontal. Segundo a equidade vertical, os contribuintes com maior capacidade de pagamento devem contribuir com uma quantia maior. Segundo a equidade horizontal, os contribuintes com capacidade de pagamento semelhantes devem contribuir com a mesma quantia.

Desta forma, uma das principais formas de utilização social da tarifa ou taxa sobre os serviços públicos, no Brasil, ocorre via concessão de subsídios dos usuários de maior poder aquisitivo para os de menor, assim como dos grandes para os pequenos usuários (CANÇADO; NASCIMENTO; CABRAL, 2005). Assim, algumas tarifas ficam acima da tarifa média (subsidiadores) e outras abaixo (subsidiados), indo ao encontro do art. 36 da Lei do

Saneamento Básico, que cita que a cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas poderá considerar o nível de renda da população da área atendida.

Por fim, relembra-se que a drenagem urbana é financiada, ainda que de maneira genérica, pelo IPTU. Assim, a implementação de uma taxa de drenagem não significa um aumento de impostos na população. Significa que o custo da drenagem é individualizado para cada contribuinte por meio de uma taxa, o que pode desonerar a cobrança realizada por meio do IPTU. Em alguns casos, como em áreas não ocupadas, o valor de impostos, incluindo o IPTU, poderá baixar. Em contrapartida, propriedades com maior demanda pluvial escoada à rede pública poderão ter uma cobrança maior.

3 METODOLOGIA

A abordagem para desenvolvimento da estrutura da taxa¹³ de drenagem envolve uma etapa principal (estruturação da cobrança) e outras etapas secundárias (aplicação da taxa de drenagem em um estudo de caso, incluindo a comparação com outros métodos e a avaliação da capacidade de pagamento dos usuários).

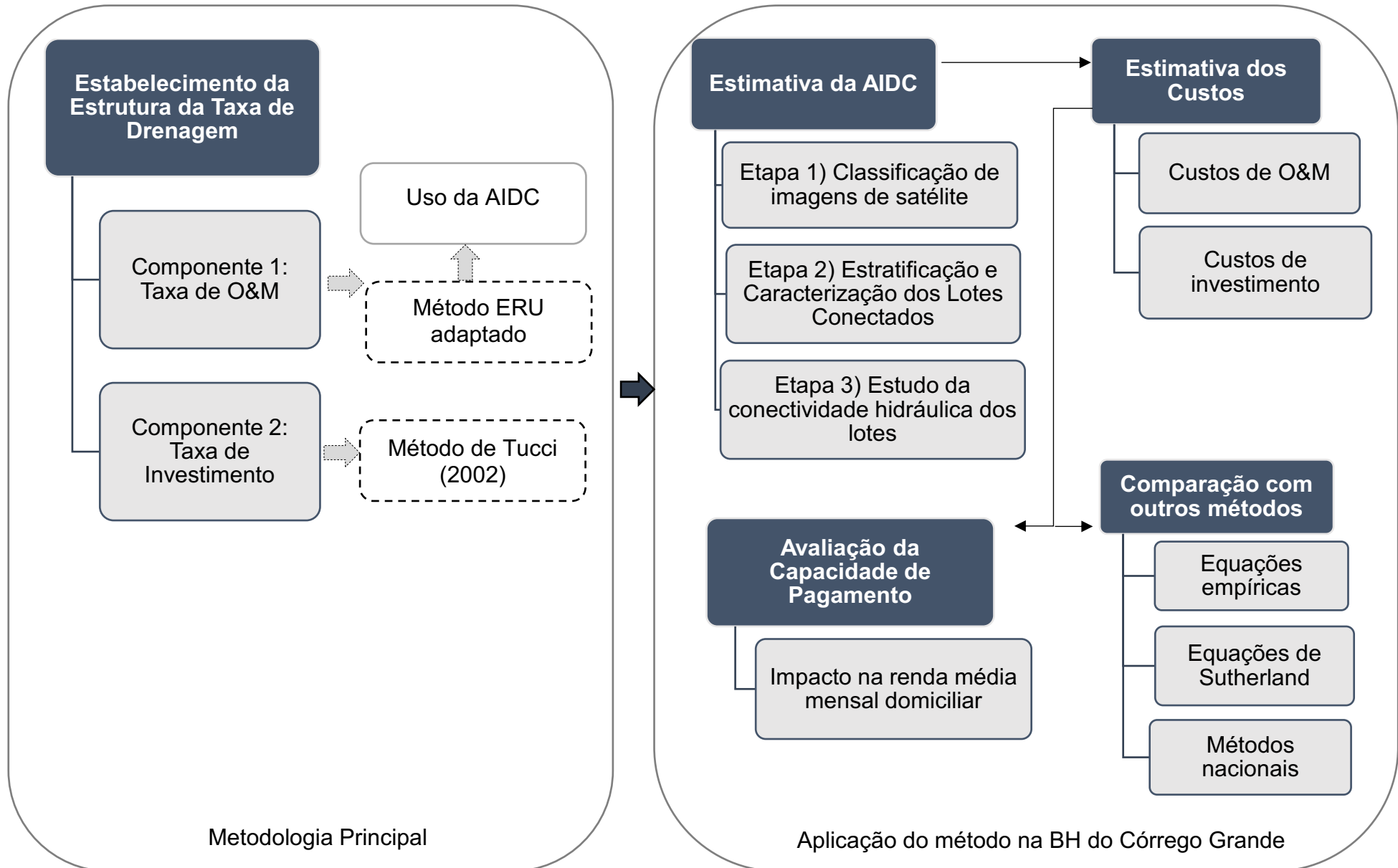
Primeiramente, uma taxa para custear os serviços urbanos de manejo de águas pluviais foi desenvolvida. A cobrança possui dois componentes; o primeiro refere-se aos custos médios de Operação & Manutenção, que foi embasado pelo método Unidade Residencial Equivalente (ERU), método amplamente utilizado nos EUA. O método ERU foi modificado, substituindo a Área Impermeável Total (AIT) pela Área impermeável Diretamente Conectada (AIDC) como base de cobrança, tornando o método mais justo. A Unidade Residencial Equivalente foi renomeada como Unidade Residencial Conectada (URC), que equivale à média das áreas residenciais impermeáveis diretamente conectadas (AIDC) ao sistema de drenagem em uma dada bacia hidrográfica. Já para o segundo componente da cobrança (custo médio de investimento) foi utilizado o método proposto por Tucci (2002). Ambos os componentes são aplicados em nível de bacia hidrográfica, tal como deve ser o planejamento das águas urbanas e gestão dos recursos hídricos.

Na sequência, aplicou-se o método desenvolvido para a bacia hidrográfica do Córrego Grande, unidade localizada na cidade de Florianópolis, em Santa Catarina. A aplicação é descrita detalhadamente. Para comparação dos resultados, a AIDC também foi estimada por outros métodos. Após, foi avaliada a capacidade de pagamento dos usuários tendo-se por base a renda média mensal domiciliar em setores censitários, já que a inserção de uma nova cobrança é sempre motivo de cautela, principalmente por parte dos gestores municipais.

O fluxograma seguinte apresenta a estruturação das principais etapas desta pesquisa.

¹³ Com relação ao tipo de tributo, a presente tese assume a mesma opinião de Ataliba (1969): (...) o dilema taxa ou tarifa é uma mera escolha do tomador de decisão, que de modo efetivamente arbitrário, dá ou não a forma de taxa ao pagamento, assim, trata-se de mera forma. Deste modo, não se aprofundará em temas de Direito Tributário e a presente pesquisa assume que a cobrança pode ser feita por meio de uma taxa.

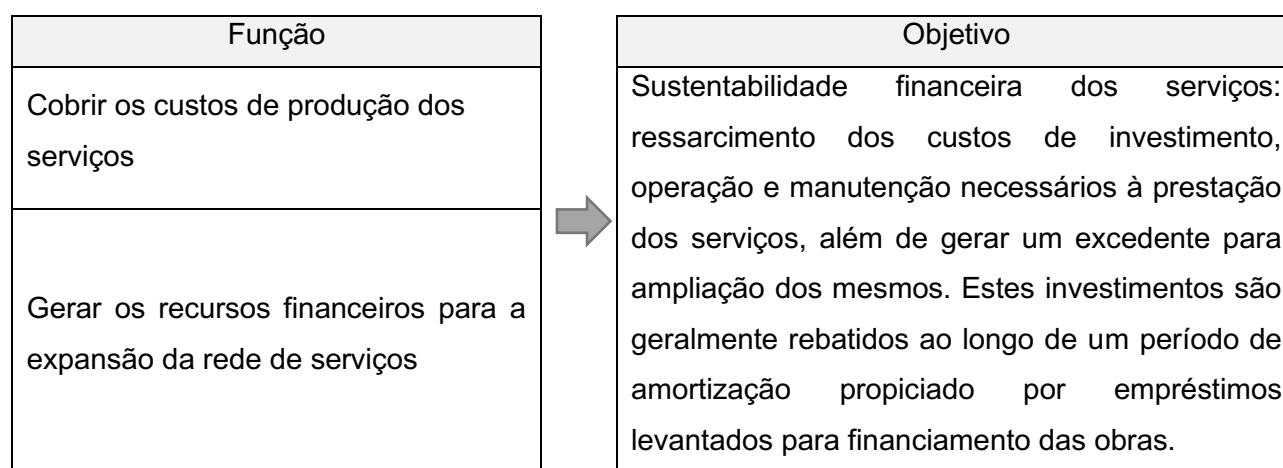
Figura 3.1- Fluxograma com os métodos utilizados nesta pesquisa



3.1. Estabelecimento da Estrutura da Taxa de Drenagem

Nesta pesquisa, propõe-se a recuperação dos custos despendidos com a prestação dos serviços de drenagem urbana e manejo de águas pluviais (MAPLU) com o objetivo de propiciar a sustentabilidade financeira dos serviços. Entende-se que a sustentabilidade financeira, conforme elencado no Quadro 2.2 e Quadro 2.12, deve cobrir tanto os custos de investimento, operação e manutenção, quanto garantir que a gestão do sistema a longo prazo seja sustentável.

Figura 3.2 - Funções desejadas com a cobrança por meio de uma taxa



Desta forma, considerou-se que um modelo de cálculo justo é composto por esses dois componentes:

- 1- Componente de Custeio, ou seja, de Operação e Manutenção (O&M),
- 2- Componente de Investimento.

Assim, a taxa desenvolvida é apresentada na equação abaixo, cujos parâmetros são apresentados na sequência.

$$\text{Taxa de drenagem} = C_{m\ O\&M} + C_{mi} \quad (\text{Eq. 28})$$

Em que:

$C_{m\ O\&M}$ = Custo médio de Operação & Manutenção

C_{mi} = Custo médio de investimento.

Como os investimentos são realizados, via de regra, por bacias hidrográficas, bem como os planos de saneamento utilizam a bacia hidrográfica como unidade de referência, além do próprio dimensionamento das infraestruturas de MAPLU estar associado a fatores como regime de chuvas e características de bacias hidrográficas, esta taxa possui a bacia hidrográfica como referência. Contudo, os custos são individualizados para cada lote.

Este estudo limita-se a apenas sistemas separados de drenagem, aqueles que não são combinados com sistemas de esgoto (águas residuais). A taxa não deve ser aplicada para sistemas combinados, o que implicaria em adicionar outros custos e parâmetros.

3.1.1. Custo Médio de Operação e Manutenção ($C_{m\ o\&M}$)

Para elaboração do componente 1, $C_{m\ o\&M}$, avaliou-se as metodologias existentes quanto a quatro parâmetros:

- Área impermeável, que é o parâmetro associado à urbanização e escoamento;
- AIDC, que é o que de fato escoar para a rede pública,
- Simplicidade no cálculo, para que possa ser realmente aplicado e atualizado;
- Fácil entendimento, para que o fator gerador da cobrança possa ser assimilado pelos usuários/moradores (aceitação popular).

O quadro seguinte apresenta a avaliação e os critérios utilizados.

Quadro 3.1 – Avaliação dos modelos de taxa de drenagem já existentes

Método de Taxa	Critérios de Cálculo		Valores	
	Área impermeável	AIDC	Simplicidade	Fácil entendimento
Intensidade de Desenvolvimento (ID)	x			
Transporte Alternativo Distribuído (TAD)	x			
Unidade residencial equivalente (ERU)	x		x	x
Área Hidráulica Equivalente (AHE)	x			
Alternativa hidrológica (AH)	x			
Fator Equivalente Residencial (REF)	x			
Área Total da Propriedade (TPA)	x		x	
Taxa fixa			x	x
Taxa dupla				
Taxa de uso da água			x	
Sistema de Camadas (categorias)			x	

Dentre estes modelos, verifica-se que o sistema Unidade Residencial Equivalente (ERU), principal método utilizado nos Estados Unidos, é o que mais preenche os requisitos desejáveis. Contudo, o modelo não utiliza a AIDC em seu parâmetro, o que tornaria o método mais justo. Embora vários dos artigos revisados discutam os desafios da implementação, raramente há discussões sobre quais valores ou barreiras formaram a base do modelo. Deste modo, fez-se uma adaptação do sistema ERU, inserindo-se o parâmetro

AIDC. Substituiu-se a Unidade Residencial Equivalente pela Unidade Residencial Conectada (URC) como base de cobrança, a qual equivale à média das áreas residenciais impermeáveis diretamente conectadas (AIDC) à rede pública de drenagem (Eq. 29) para uma determinada área de análise. Esta área pode ser bacia hidrográfica, unidade de planejamento, bairro, cidade, dentre outros, devendo os requisitos (entradas) para a taxa serem compatíveis à área selecionada. Conforme apresentado, esta taxa utiliza a bacia hidrográfica como unidade espacial.

Desta forma, a diferença da ERU para a URC reside na substituição da AIT pela AIDC (Eq. 29), parâmetro que não foi encontrado na revisão bibliográfica em aplicações de taxas de drenagem. A média de conectividade é considerada como o valor de referência para o cálculo da taxa para cada lote residencial e, por isso, é intitulada de URC referência. Isso não quer dizer que a cobrança é aplicada somente às residências, mas que as residências são as referências para a cobrança da taxa.

O total de URCs na bacia hidrográfica também é outro indicador, que mede a proporção total de áreas conectadas com relação à unidade de referência (Eq. 30). Esses valores podem ser monitorados ao longo do tempo, tornando-se um indicador ambiental de referência para o desenvolvimento na BH.

A divisão do orçamento anual estimado em O&M pelo total URC revela quanto é necessário cobrar por m² médio (URC) para cobrir seus custos anuais de águas pluviais (Eq. 31). A taxa por URC constitui uma repartição dos custos de operação e manutenção entre todos os proprietários conectados à rede pública de drenagem urbana, não apenas aos residenciais. Para a cobrança, é necessário avaliar o valor por m² e multiplicar este valor pela AIDC de cada lote (Eq. 32), individualizando assim a cobrança.

$$1 \text{ URC (m}^2\text{)} = \frac{\sum \text{de AIDC residencial na BH (m}^2\text{)}}{\sum \text{de lotes residenciais conectados na BH (n)}} \quad (\text{Eq. 29})$$

$$\text{Total de URCs na BH} = \frac{\sum \text{de AIDC na BH (m}^2\text{)}}{1 \text{ URC}} \quad (\text{Eq. 30})$$

$$\text{Taxa por 1 URC (R\$)} = \frac{\text{Custos de operação e manutenção de águas pluviais (R\$)}}{\text{Total de URCs na BH}} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$\text{Taxa por lote} = \frac{\text{Taxa por 1 URC (R\$)}}{1 \text{ URC (m}^2\text{)}} \times \text{AIDC no lote} \quad (\text{Eq. 32})$$

O quadro abaixo apresenta o meio de obtenção indicado para cada parâmetro das equações. Ressalta-se que, como toda pesquisa que envolve conectividade das áreas impermeáveis, suposições diversas devem ser feitas. Neste caso, as suposições foram feitas com base em dados secundários, trazidos por uma extensa revisão bibliográfica, e por dados primários. Estas suposição não são rígidas, para diferentes suposições, basta o pesquisador modificar as considerações para o que fizer mais sentido à realidade local.

Quadro 3.2 – Obtenção dos parâmetros para obtenção da taxa de drenagem

Parâmetro	Obtenção/ Suposições
\sum de lotes residenciais conectados na BH (Eq. 29)	Inicialmente, deve-se identificar e segregar os lotes residenciais e, após, verificar quais estão conectadas à rede pública de drenagem. Para a quantificação dos lotes conectados, considerou-se as suposições aplicadas nas experiências internacionais (item 2.2.1.2.2). Estas pesquisas citam que a existência de infraestrutura de drenagem (como meio-fio, bocas-de-lobo e sarjetas) presumem a conexão da rua à rede pública. Desta forma, lotes situados nestas ruas podem ser considerados conectados. Esta suposição resolve o problema de inspeção em campo e pode ser confirmada em questionário autodeclaratório pelo usuário.
\sum de AIDC residencial na BH (Eq. 29)	Com os lotes residenciais situados em áreas conectadas, identificados na etapa anterior, deve-se realizar suposições ou estudos sobre a conectividade hidráulica dos lotes. Nesta pesquisa, foram realizadas vistorias por SIG e por visitas de campo em amostras representativas para quantificar a conectividade hidráulica dos lotes ao sistema.
\sum de AIDC na BH (Eq. 30)	Para os demais lotes, também foram realizadas vistorias por SIG e por visitas de campo em amostras representativas para quantificar a conectividade hidráulica dos lotes ao sistema
Custos de operação e manutenção de águas pluviais (Eq. 31)	Este custo deve ser fornecido pela concessionária prestadora do serviço de águas pluviais. Na inexistência desta informação direta, como é o caso da maior parte dos municípios do Brasil, mais suposições devem ser feitas. Em nível de Brasil, sugere-se a utilização de custos de O&M como 5% do total do investimento em drenagem. Este valor foi levantado por Cruz (2004) em pesquisa de doze anos de gestão no município de Porto Alegre.
AIDC no lote (Eq. 32)	A AIDC final compõe uma média estimada a partir da junção dos métodos SIG e vistoria de campo para cada estrato.

3.1.2. Custo Médio de Investimento (C_{mi})

Para elaboração do componente 2 da taxa, C_{mi} , verificou-se, dentre as metodologias descritas na revisão, aquelas que possuíam/consideravam:

- Bacia hidrográfica como unidade de análise;
- Retorno dos investimentos/Geração de recursos.
- Simplicidade no cálculo, para que possa ser realmente aplicado e atualizado;

- Fácil entendimento, para que o fator gerador da cobrança possa ser assimilado pelos usuários/moradores (aceitação popular).

Nas metodologias pesquisadas, não se observou detalhamento das cobranças praticadas no meio internacional no que tange este componente. No âmbito nacional, há as propostas de Tucci (2002) e Gomes, Baptista e Nascimento (2008) para avaliação quanto aos parâmetros anteriormente descritos.

Quadro 3.3 – Avaliação dos modelos de taxa de drenagem para custeio de investimentos

Método	Critérios de Cálculo		Valores	
	Bacia hidrográfica	Retorno dos investimentos	Simplicidade	Fácil entendimento
Tucci (2002)	x	x	x	x
Gomes, Baptista e Nascimento (2008)	x	x		

O modelo desenvolvido por Tucci (2002) cumpre integralmente os requisitos desejáveis. Neste caso, o modelo será considerado na íntegra, sem necessidade de adaptação, já que o investimento ocorre, de fato, para ações estruturantes do plano de drenagem (e não na AIDC propriamente dita).

Conforme o método, tem-se custos para lotes urbanizados e sem impermeabilização, já que esses últimos também se beneficiam das melhorias ao longo na bacia hidrográfica (como a melhoria da qualidade das águas e redução de enchentes). Logo, considerou-se esta cobrança a todos os lotes da bacia hidrográfica, conectados ou não. Em uma área urbana, as áreas impermeáveis podem ser desdobradas na expressão:

$$A_i = \alpha \cdot i_m + \beta \cdot i_l \quad (\text{Eq. 33})$$

Em que:

A_i = áreas impermeáveis;

α = parcela da área de arruamentos e logradouros públicos, como parques e praças;

i_m = parcela impermeável desta área (%);

β = parcela da área ocupada pelos lotes urbanos;

i_l = parcela de impermeabilização do lote (%).

Considerando que $\beta = 1 - \alpha$, a equação anterior fica:

$$A_i = \alpha \cdot i_m + (1 - \alpha) \cdot i_l \quad (\text{Eq. 34})$$

Desta forma, reescrevendo a método de Tucci (2002) (Eq. 6) para rateio dos custos para implementação das obras de plano de drenagem, tem-se:

$$T_{inv} = \frac{A \cdot C_{tp} \cdot [\alpha \cdot i_m + (1 - \alpha) \cdot i_l]}{A_b \cdot A_i} \quad (\text{Eq. 35})$$

Em que:

T_{inv} = Custo para cada área de lote;

A é a área do terreno (em m²);

C_{tp} é o custo total do plano;

α = parcela da área de arruamentos e logradouros públicos, como parques e praças;

i_m = parcela impermeável desta área (%);

i_l é a área impermeável do lote (em %)

A_b = área da bacia;

A_i é a área impermeável de toda a bacia (em %).

3.2. Estudo de caso: Aplicação do método de Taxa de Drenagem desenvolvido para a bacia do Córrego Grande

3.2.1. Descrição da Área de Estudo

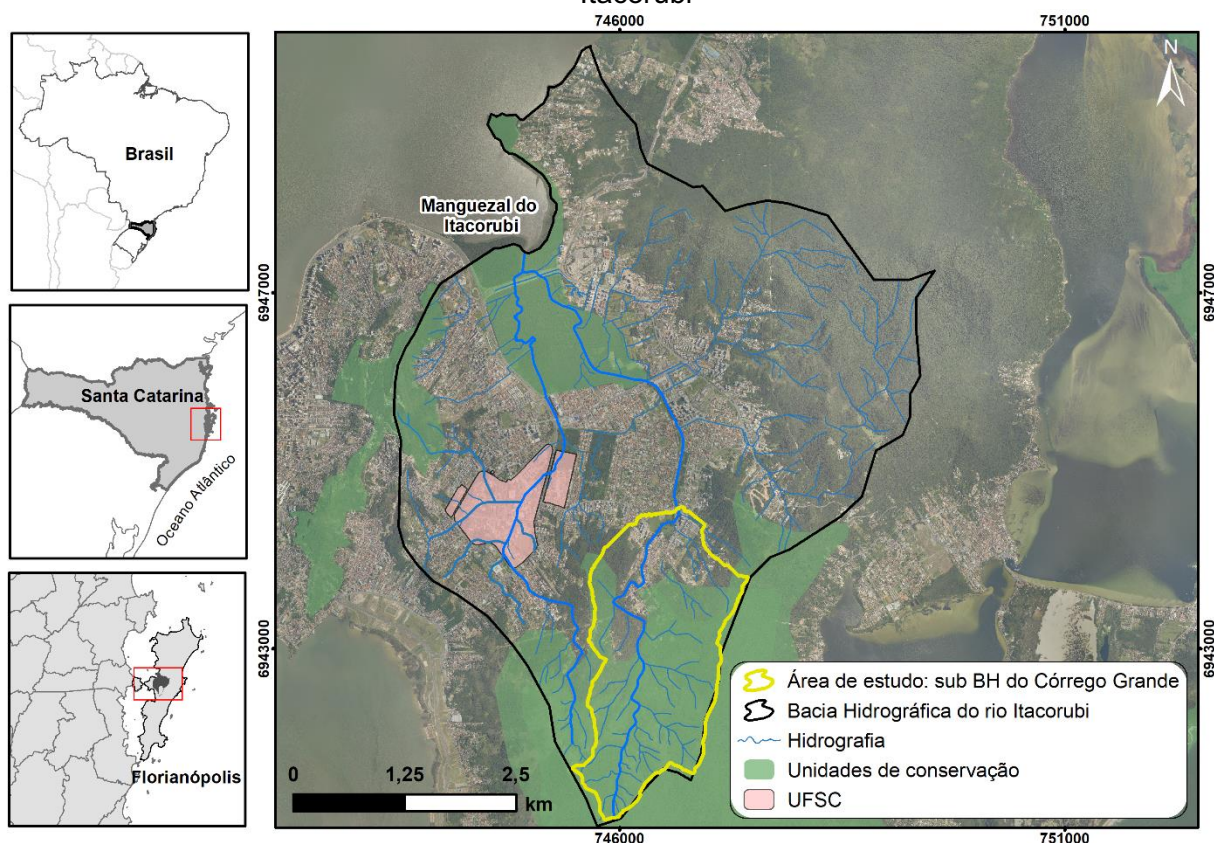
Para testar o método desenvolvido, uma bacia hidrográfica do bairro Córrego Grande, localizada na cidade de Florianópolis/Santa Catarina, foi delimitada. A bacia selecionada, aqui intitulada de bacia hidrográfica (BH) do Córrego Grande, com rio principal de mesmo nome, é uma microbacia que faz parte da BH do rio Itacorubi, segunda maior BH de Florianópolis (com 25km²).

A BH do Córrego Grande tem uma área de 4,12 km², e a população do bairro era de cerca de 10.563 habitantes, segundo o último censo nacional brasileiro (IBGE, 2011). No entanto, há uma grande população flutuante e considerável urbanização devido à localização de importantes atividades administrativas, comerciais e educacionais nesta área. Este alto adensamento é, também, motivado pela proximidade com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), exercendo uma forte pressão nos recursos hídricos existentes, que, por sua vez, desaguam no manguezal do Itacorubi, área de proteção ambiental que possui o segundo maior mangue urbano do Brasil. Este mangue possui características que o classificam como altamente sensível devido aos processos de degradação sofridos nas últimas décadas. De modo geral, os recursos hídricos da região

estão assoreados e poluídos por resíduos sólidos e esgotos domésticos (TASCA *et. al* 2020).

A Figura 3.3 mostra os limites da sub-bacia do Córrego Grande, bem como da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, apresentando o contexto da problemática (urbanização).

Figura 3.3- Localização da área de estudo, a sub bacia do Córrego Grande, em relação à bacia do Itacorubi



Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfa, ou seja, subtropical constantemente úmido, com verões quentes e sem estação seca (Alvares *et al.*, 2013). Com temperatura média de 20 °C, a região possui precipitação total anual de 1500 mm, com 140 a 158 dias chuvosos por ano (Thomé *et al.*, 1999). A BH já registra inundações desde 1980 (SILVA, 2010), demonstrando a fragilidade dos sistemas de drenagem.

Em Florianópolis, o setor da drenagem e manejo das águas pluviais caracteriza-se pela fragilidade dos instrumentos de planejamento e gestão, insuficiência de recursos, deficiências de estrutura técnico institucional e ausência de rotinas e procedimentos padronizados para prestação dos serviços (FINOTTI *et al.*, 2021a). Isto resulta em problemas diversos à gestão das águas pluviais urbanas, em especial à bacia hidrográfica do Itacorubi, bacia da qual a área de estudo é componente. A BH do rio Itacorubi é a região que apresenta maior diversidade de problemas relacionados aos sistemas de drenagem: Alagamentos, inundações, enxurradas, inundações costeiras, erosão/ instabilidade paredes

ou fundo do canal, assoreamento de canal, interceptação e construção em drenagem natural e obstrução da drenagem, além da carência de um programa de manutenção periódica nos sistemas de drenagem. A implantação de uma taxa é uma das ações que podem ajudar a resolver os problemas da drenagem da região.

3.2.2. Aplicação da Taxa de Drenagem

As etapas principais para aplicação da taxa são:

- i) Estimativa da AIDC (Classificação de imagens de satélite, estratificação dos lotes conectados, estudo da conectividade hidráulica dos lotes e estimativa da AIDC por estrato);
- ii) Estimativa dos Custos.

Para todo o processamento de SIG, foi utilizado o software ESRI ArcGIS Desktop versão 10.8. O quadro seguinte apresenta todos os dados utilizados nestas subetapas.

Quadro 3.4 – Dados em SIG utilizados para estimativa da AIDC

Dado	Tipo de dado	Resolução espacial	Fonte
Imagem área (ortofoto 2016)	Raster	1:1000	PMF (2016)
Edificações	Vetorial (Polígono)	1:1000	PMF (2012)
Ruas/Vias	Vetorial (Linha)	1:45.000	PMF (2012)
Modelo Digital de Elevação	Raster (Dado processado)	2m	SDE (2016)
Cadastro do sistema de drenagem	Vetorial (Linha)	1:45.000	Atualizados a partir de Finotti <i>et al.</i> (2021b) e Caprario (2022)
Cadastro dos lotes	Vetorial (Polígono)	1:45.000	PMF (2012)
Setor censitário	Vetorial (Polígono)	1:45.000	IBGE (2020)
Solo	Vetorial (Polígono)	1:250.000	EMBRAPA (2018)

3.2.2.1 Etapa 1: Estimativa da AIDC

Para estimar a AIDC, são necessárias as seguintes etapas:

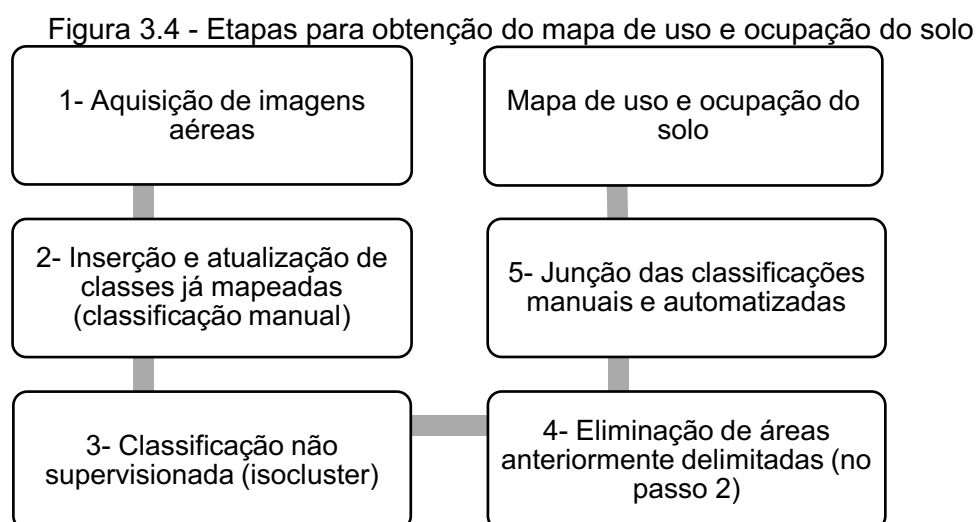
- i) Classificação das imagens de satélite,
- ii) Estratificação dos lotes Conectados (tipo e tamanho),
- iii) Estudo da conectividade hidráulica dos lotes.

3.2.2.1.1. Subetapa 1: Classificação de imagens de satélite

A primeira subetapa é estimar as áreas impermeáveis totais (AIT) da área de estudo por meio de sensoriamento remoto. A área impermeável refere-se à terra que é coberta e não pode absorver água (*e.g.* acesso residencial, telhados, calçadas, piscinas e edifícios).

As informações de extração podem ser realizadas a partir da interpretação manual da imagem ou usando métodos automatizados de processamento de computador. Neste estudo, fez-se uma combinação destas duas técnicas, iniciando pela inserção das informações pré-existentes da área de estudo (edificações, vias e cursos d'água), etapa que foi seguida de uma atualização manual destes dados.

Na sequência, extraiu-se o restante das áreas impermeáveis (mancha urbana) de modo automatizado, também pela imagem aérea. Para isso, foi realizada uma classificação não supervisionada de imagens a fim de separar automaticamente as áreas permeáveis das impermeáveis (2 classes de feições) por meio do algoritmo Iso Cluster do ArcGis. Esta técnica de classificação procura agrupar regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas. As etapas são apresentados na Figura 3.4.



São necessários dados de resolução espacial e temporal alta e moderada, porque imprecisões no cálculo significam que o proprietário pagará uma quantia desproporcional. Neste estudo, a extração das superfícies impermeáveis foi realizada a partir das ortofotos digitais de Florianópolis, disponíveis no GeoPortal, na composição Red/Green/Blue (RGB) e escala de 1:1.000.

3.2.2.1.2. Subetapa 2: Estratificação e Caracterização dos Lotes Conectados

A estratificação tem por objetivo agrupar um subconjunto de lotes que apresentam usos semelhantes, prevendo-se comportamento hidrológico semelhante. A estratificação dos lotes urbanos foi realizada conforme a caracterização urbanística, i.e., com relação à ocupação do solo e tamanho do lote, no caso de lotes residenciais.

Toda a área impermeabilizada foi segregada em 13 estratos, conforme a segregação utilizada nos estudos de Garotti e Barbassa (2010) e Faria (2013). Os estudos mostraram valores semelhantes para as cidades de Ribeirão Preto/SP e Cuiabá/MT. As áreas residenciais foram divididas em 7 estratos conforme o tamanho do lote (estratos 1.1 a 1.7), enquanto as demais foram segregadas quando ao uso e ocupação (verticalizados, comércio e indústrias, misto, institucional, vagos e estradas/ calçadas com meio fio):

- Estrato 1.1: lotes residenciais com área menor que 125 m²;
- Estrato 1.2: lotes residenciais com área entre 125 m² e 200 m²;
- Estrato 1.3: lotes residenciais com área entre 201 m² e 300 m²;
- Estrato 1.4: lotes residenciais com área entre 301 m² e 400 m²;
- Estrato 1.5: lotes residenciais com área entre 401 m² e 600 m²;
- Estrato 1.6: lotes residenciais com área entre 601 m² e 1200 m²;
- Estrato 1.7: lotes residenciais com área superior a 1200 m²;
- Estrato 2: lotes verticalizados, ou seja, ocupados por edifícios em altura igual ou superior a três pavimentos, independentemente do uso;
- Estrato 3: lotes comerciais e industriais, ocupados por empresas de capital privado;
- Estrato 4: lotes mistos e outros, ou seja, lotes ocupados com múltiplas utilizações ou que não se encaixam em outras classificações;
- Estrato 5: lotes sem ocupação/impermeabilização (vagos);
- Estrato 6: formado por lotes institucionais, ou seja, ocupados por edificações ou áreas voltadas ao atendimento de interesses públicos, de capital público ou privado.
- Estrato 7: Estradas e calçadas com meio fio.

Os estratos 5 e 7 não foram segregados nas pesquisas de Garotti e Barbassa (2010) e Faria (2013). Os lotes permeáveis podem gerar escoamento, mas este estudo considera que 100% do escoamento gerado no lote será infiltrado, não se convertendo em AIDC e não possuindo base para cobrança. Essa opção visa incentivar à manutenção de áreas permeáveis nos centros urbanos. Para qualquer suposição diferente desta, basta considerar um valor de AIDC/AIT para este grupo. De modo oposto, considerou-se que todo o escoamento gerado em estradas e calçadas com meio fio é direcionado para os sistemas públicos de drenagem. Conforme levantado na pesquisa, a maior parte do escoamento está relacionada aos elementos de transporte e raramente essa fonte de escoamento (áreas

públicas) é identificada como um usuário separado e tem seu custo avaliado de modo justo. Deste modo, este estrato foi inserido e considerado como totalmente conectado. Por estes motivos, ambos os estratos foram adicionados.

Os seguintes parâmetros também foram analisados:

- Área média das edificações;
- Taxa de ocupação (TO), que é a relação entre a área construída em projeção horizontal e a área do lote (%);
- Taxa de ocupação e impermeabilização (TOI), que é a relação entre a área construída em projeção horizontal acrescida da área impermeabilizada e a área do lote (%), este parâmetro é referente à impermeabilização total existente no lote;
- Área média permeável.

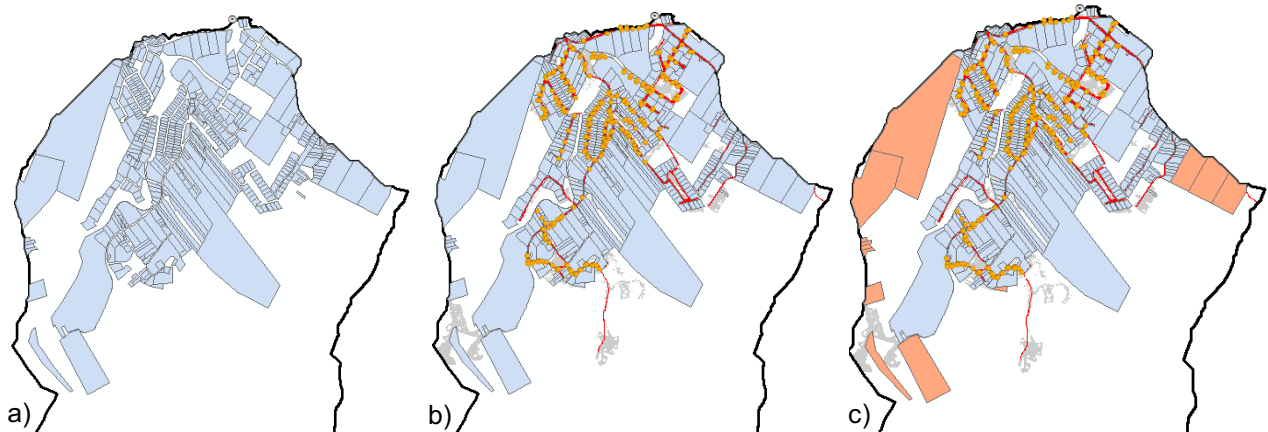
Deve-se estratificar e quantificar os lotes conectados para a estimativa de dois parâmetros: Unidade Residencial Conectada (Eq. 29) e o Total de URCs na bacia hidrográfica (Eq. 30). Para a estimativa da URC, são necessários os lotes conectados residenciais divididos por tamanho do lote. Então, além de segregar as áreas residenciais, deve-se segregar pelo tamanho do lote residencial. Para o total de URCs na bacia, consideram-se todos os lotes conectados. Neste último caso, relembra-se que o indicador mede a proporção total de áreas conectadas com relação à unidade de referência, parâmetro necessário para se estimar o custo por URC.

O cadastro técnico municipal de lotes de Florianópolis (PMF, 2012) foi recortado para a área de estudo (Figura 3.5a), contendo assim 489 lotes. Na sequência, fez-se a sobreposição deste cadastro com as vias urbanas e com o cadastro sistema de drenagem da região (Figura 3.5b), que foi atualizado manualmente a partir de Finotti *et al.* (2021b) e Caprario (2022)¹⁴. Finotti *et al.* (2021) elaboraram o primeiro cadastro piloto para a cidade com base em projetos de pavimentação das vias urbanas implantadas entre o período de 2000 a 2016. Desta forma, redes que não constavam nos arquivos, o que inclui em especial redes mais antigas e redes posteriores a 2016, não constam no cadastro piloto. Caprario (2022) complementou o cadastro (bocas de lobo) a partir de vistorias realizadas através do Google Street View, atividade que também foi realizada nesta pesquisa. O cadastro inclui a caracterização das tubulações (tamanhos), dispositivos de entrada (bocas de lobo) e

¹⁴ Nota: Geralmente, os estudos destacam que os cadastros de drenagem estão falhos, incompletos ou são inexistentes, podendo ser necessário produzir um totalmente novo. Neste estudo não foi diferente.

técnicas compensatórias instaladas. O próximo passo deu-se pela retirada dos lotes notadamente não conectados à rede drenagem (Figura 3.5c), i.e., lotes que estão localizados em áreas sem infraestrutura de drenagem, resultando em 474 lotes conectados.

Figura 3.5- Processo de estratificação por lotes: a) Inserção do cadastro técnico municipal de lotes. B) inserção do cadastro do sistema de drenagem e das vias c) Retirada de lotes notadamente desconectados (em vermelho claro)



3.2.2.1.3. Subestapa 3: Estudo da conectividade hidráulica dos lotes

Nesta etapa, selecionou-se uma amostra representativa de lotes para estudo detalhado da AIDC. Considerando as vantagens e desvantagens de todas as técnicas, fez-se uma junção de técnicas SIG, por meio do Google Street View e Google Earth, e por visita *in loco*, para validar as suposições utilizadas por SIG. A relação final da AIDC compõe uma média estimada a partir da junção de ambos os métodos. Conforme já relatado, os poucos estudos existentes que estimaram a AIDC a partir da intersecção da área impermeável com o sistema de drenagem aliado às pesquisas de campo têm sido amplamente aceitas entre os pesquisadores para distinguir AIT de AIDC (HWANG; RHEE; SEO, 2017).

Para definição do número de lotes para estudo da AIDC, foi realizado um cálculo do tamanho da amostra (Eq. 37).

$$n = \frac{\frac{z^2 \times p \times (1 - p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times P(1 - p)}{e^2 \times N} \right)} \quad (\text{Eq. 36})$$

Em que:

z = grau de confiança em desvios padrões (95%);

e = margem de erro escolhida (4%);

N = tamanho da população (474 lotes);

p = constante igual a 0,5

Com esses dados, obteve-se uma amostra (n) de 202 lotes a serem analisados, os quais foram divididos de modo proporcional à representação de cada estrato no conjunto amostral (424 lotes ocupados). A amostragem de cada estrato é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Amostragem necessária a cada estrato

Estrato	Descrição	Lotes	%	Quantidade amostral (n)	Estrato	Descrição	Lotes	%	Quantidade amostral (n)
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	1	0%	1	1.7	Lotes Residenciais >1201m ²	74	17%	35
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	9	2%	4	2	Edifícios verticais	33	8%	16
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	12	3%	6	3	Comércios e indústria	22	5%	10
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	98	23%	46	4	Ocupação mista	1	0%	1
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	80	19%	38	6	Institucionais	8	2%	4
1.6	Lotes Residenciais 301-1200m ²	86	20%	41	Total			202	

Nota: Os estratos 5 (lotes vagos) e 7 (estradas) não foram analisados, já que se utilizou a suposição de conectividades equivalentes a 0% e 100% respectivamente. Reforça-se que, em casos de aplicação da metodologia desta pesquisa, diferentes suposições podem ser utilizadas.

Após análise SIG das AIDC destes 202 lotes, fez-se uma inspeção *in loco* para 50% destas amostras, com a finalidade de verificar e validar as medidas estimadas por SIG. A inspeção *in loco* demandou 2 dias de trabalho de campo e foram realizadas nos dias 07 e 08 de janeiro/2023.

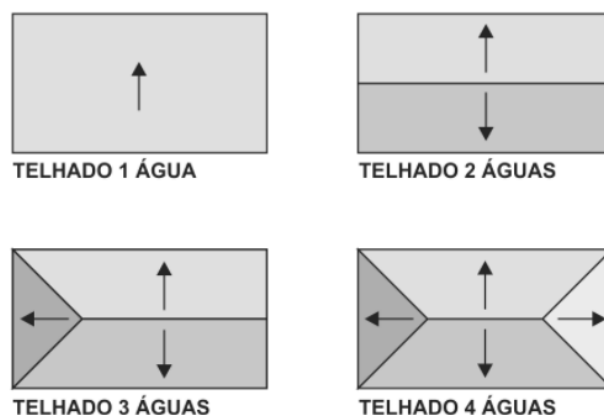
Em síntese, as análises tiveram o seguinte roteiro:

- 1- Seleção aleatória dos lotes, procurando-se selecionar lotes de ruas distintas e que cobrissem espacialmente a área de estudo;
- 2- Com o lote a ser analisado, comparou-se a classificação da imagem (Subetapa 1) e a imagem de satélite no Google Earth, priorizando-se áreas que não tiverem o seu uso alterado significativamente;
- 3- Com o Google Street View, foram traçados polígonos cuja conexão à rede pública era visível. Essas áreas compunham áreas de telhados, áreas de pátio, garagens e demais áreas impermeáveis. Assim, tem-se a medida estimada da área diretamente conectada.
- 4- Inspeção *in loco* para validação da estimativa realizada por meio de SIG.

O passo 3, *per si*, não foi de simples e rápida observação, cabendo algumas orientações sobre os procedimentos utilizados.

- i) Seleção Aleatória do lote: Mesmo a amostra sendo aleatória, a existência de muros altos já era suficiente para exclusão do lote da análise em SIG, partindo-se para o próximo lote com visualização suficiente.
- ii) A classificação da imagem (subetapa 1) aliada à observação da imagem de satélite via Google Earth permite suposições sobre a conexão, principalmente no caso de Áreas Impermeáveis Isoladas (aquelas cercadas de vegetação). No caso dessas Áreas, considerou-as desconectadas, observando-se também a imagem frontal por meio do Google Street View, na qual se pesquisou a existência e direção das canalizações.
- iii) Para residências unifamiliares, o google Street View permitiu a visualização de muitas calhas de telhado e o seu respectivo local de lançamento, o que pode ser útil para dispensar inspeções *in loco*. Por outro lado, observou-se muitas casas sem a existência de calhas e, nestes casos, considerou-se a direção da chuva conforme Figura abaixo, analisando-se o possível caminho do escoamento (ver também Figura 2.4). Para isto, observou-se se o caminho do escoamento era permeável ou impermeável, bem como a inclinação desta área. Para a área de estudo, casas situadas abaixo do nível da rua (soleira baixa) foram comuns. De modo geral, esses níveis também puderam ser observados via Google Street View.

Figura 3.6 - Esquema em planta dos tipos de telhado

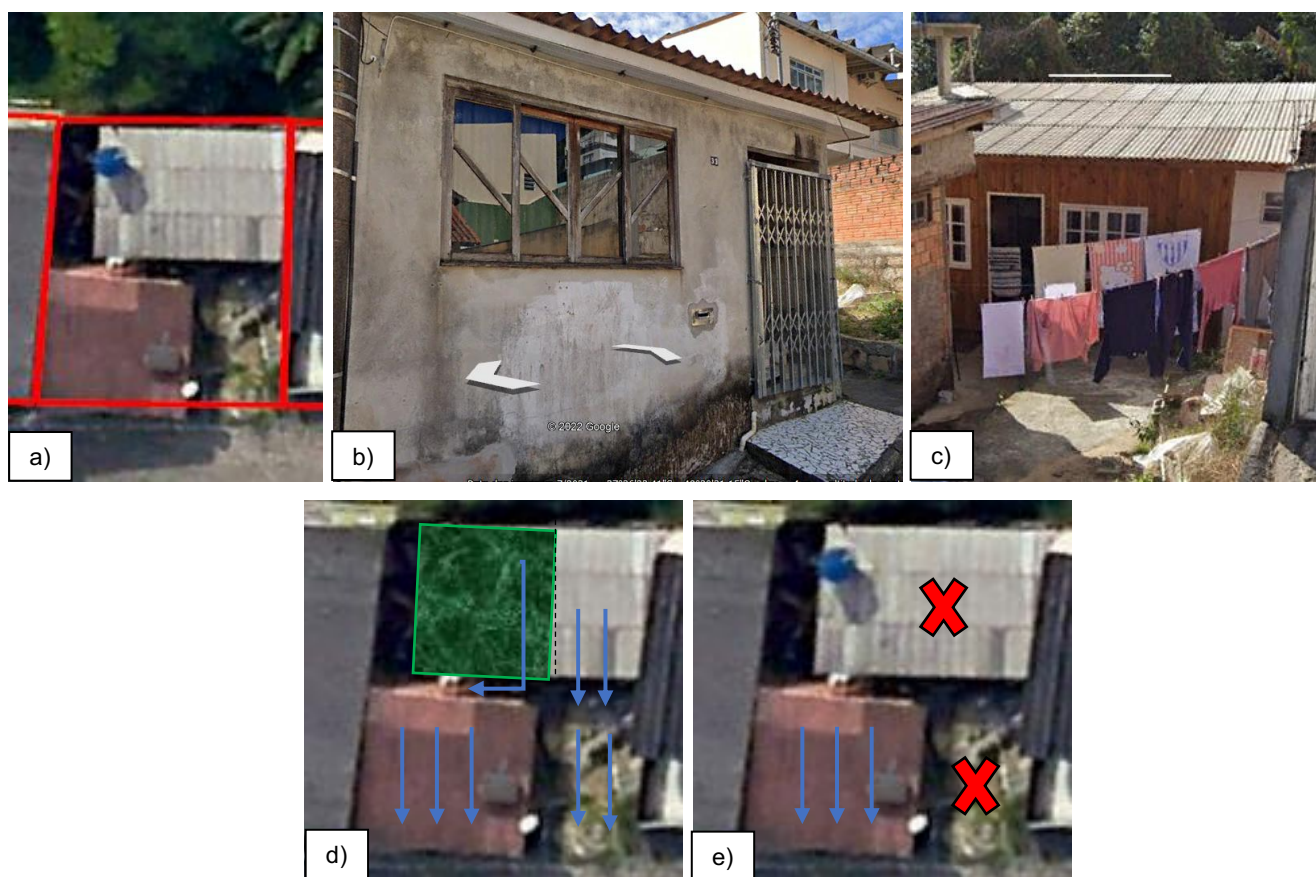


- iv) Para edifícios verticais (estrato 2), a observação de condutos verticais de transporte das águas pluviais foi mais complexa. Nos prédios mais novos, esta tubulação não era visível, sendo a estimativa da AIDC complementada com a análise das áreas impermeáveis e permeáveis do lote. Na área de estudo, a maior parte dos lotes possuía área quase que completamente

impermeável, com a permeabilidade resumida a poucos jardins na parte frontal do edifício, sem aparente lançamento pluvial.

As figuras seguinte representa um tipo de análise realizada por meio de SIG:

Figura 3.7 - Análise SIG da conectividade em nível de lote: a) Sobreposição do arquivo do lote sobre o Google Earth. b) Visualização no modo *Street View*, edificação frontal, telhado sem calha, telhado do tipo 1 água (escoando diretamente na rua), c) edificação ao fundo do lote: sem calha, telhado do tipo 1 água, contudo, considerou-se que o escoamento era dividido parte para área permeável e parte para área impermeável, do qual seguia para a rua. d) Estimativa da Área Impermeável Conectada, resultando em 50% da AIT. e) Na inspeção in loco, viu-se que a área impermeável do jardim (imagem c) possuía inclinação pro fundo do lote, sendo possivelmente direcionada à área permeável. A AIDC foi ajustada para 34% da AIT.



Desta forma, a relação AIDC/AIT compõe uma média das estimativas da junção de ambos os métodos, isto é, a relação foi estimada inicialmente por SIG e corrigida após vistoria em metade dos lotes.

3.2.2.2 Etapa 2: Estimativa dos Custos

Para aplicação da taxa de drenagem é necessária a estimativa de dois tipos de custos:

- Custo Médio de Operação e Manutenção (O&M),

- Custo Médio de Investimento.

A Prefeitura de Florianópolis, titular dos serviços, não possui os custos individualizados pela prestação dos serviços de MAPLU, havendo necessidade de se estimar os dois tipos de custos. Para estimativa dos custos médios de O&M, utilizou-se a pesquisa de Cruz (2004) em Porto Alegre. O autor pesquisou doze anos de gestão e observou que o valor de operação e manutenção equivale a 5% do total do investimento em drenagem, fazendo-se então necessário o custo de investimento. O custo de investimento é geralmente estimado em Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais Urbanas ou Planos de obras de macrodrenagem, instrumentos inexistentes em Florianópolis.

Nesta pesquisa, considerou-se como custos de investimentos os valores para a realização de renovação da rede, atualização/modernização tecnológica da prestação e da expansão do sistema de micro e macrodrenagem constantes no Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Florianópolis (PMF/MPB, 2013). As ações consideradas constam no Quadro 3.5, com valores atualizados pelo Índice Nacional da Construção Civil (aumento de 100,27% no período). Contudo, observa-se ainda que o plano de investimentos não é apresentado para cada bacia hidrográfica (ou Unidade Territorial de Análise Planejamento - UTP¹⁵), apresentando valores gerais para um dado conjunto de UTPs. Para a individualização para a área de estudo estimou-se todos os custos por km², de acordo com a área de cada UTP citada (ações 159,160 e 162) ou para o conjunto de todas UTPs (ações 170, 171 e 172), multiplicando-se este valor pela área da BH Córrego Grande, gerando assim a estimativa de investimento.

Quadro 3.5 – Investimentos necessários para investimentos na Drenagem urbana

Ação do Plano	Investimentos estimados em 2013 (R\$)	Investimentos atualizados – 2022 (R\$) ¹	Investimentos individualizado para a área de estudo (R\$)
Ação 159 - dimensionar projetos de drenagem para atender aos critérios técnicos definidos e redimensionar os projetos existentes subdimensionados na UTP 1, 4, 21 e 12;	2.000.000,00	4.005.400,00	125.779,33
Ação 160 - realizar cadastro técnico e mapeamento cartográfico em banco de dados georreferenciado do sistema de drenagem das UTPs 1, 4, 21 e 12;	1.200.000,00	2.403.240,00	75.467,60
Ação 162 - implementação de projetos de drenagem elaborados na ação 160.	35.000.000,00	70.094.500,00	2.201.138,26

¹⁵ Unidades definidas pela prefeitura como unidades básicas para o planejamento territorial e do saneamento. Coincidem ou tem semelhança com as delimitações de bacias hidrográficas. A área de estudo integra a UTP 4 (Itacorubi).

Ação do Plano	Investimentos estimados em 2013 (R\$)	Investimentos atualizados – 2022 (R\$) ¹	Investimentos individualizado para a área de estudo (R\$)
Ação 170 - proposição de medidas para recuperação ambiental para proteção das áreas de mananciais.	1.000.000,00	2.002.700,00	12.216,65
Ação 171 - elaboração de projeto e implantação de sistema de infiltração e retenção de águas pluviais nas áreas urbanas, com prioridade para áreas de maior risco de inundação, através de tecnologias como pavimentação permeável, calhas vegetadas, valas de infiltração, filtros de areia, bacias de retenção e reservatórios submersos	10.000.000,00	20.027.000,00	122.166,48
Ação 172 - elaboração de projeto e implantação de sistema de retenção e aproveitamento de águas pluviais (para fins potáveis e não potáveis) nas áreas públicas urbanas, com prioridade para áreas de maior risco de inundação, com a utilização de tecnologias como cisternas e piscinas;	20.000.000,00	40.054.000,00	244.332,96
Total			R\$ 2.781.101,27

Nota: ¹ Corrigidos de 1/1/2013 até 1/10/2022.

Desta forma, o custo de investimento para a área de estudo é de R\$ 2.781.101,27, não se sabendo o período de execução. Pela descrição dos itens, considerou-se viável a execução durante o período de um ano. Desta forma, o custo de O&M (5%) é de R\$ 139.055,06. Ressalta-se que este valor também é anual, devendo ser atualizado todos os anos conforme os novos investimentos e implantação de programas de O&M. Este valor sempre terá influência da prioridade dada à gestão de MAPLU. Assim, tem-se os dois valores necessários à aplicação da taxa de drenagem.

3.2.3. Comparação com outros Métodos

A AIDC levantada por meio deste método foi comparada com outros métodos, que utilizam a AIDC ou a AIT como parâmetro principal:

- Equações empíricas existentes,
- Relações AIDC/AIT,
- Equações de Sutherland,
- Metodologias acadêmicas do Brasil.

3.2.3.1 Equações Empíricas

A AIDC deste estudo foi comparada com equações empíricas levantadas na literatura (Quadro 3.6), sendo necessário apenas um parâmetro da área de estudo, a Área Impermeável Total (AIT). Neste caso, utilizou-se a AIT das áreas conectadas (365.124,63m²), não a AIT total da bacia hidrográfica (502.189,69m²). Comparou-se ainda com os custos médios de O&M por m² de área impermeável.

Quadro 3.6 - Equações para estimativa de AIDC para comparação com o método proposto

Equação	Autor(es)
$AIDC = 3,6 + 0,43 AIT$	Laenen (1983)
$AIDC = 0,15 \times AIT^{1,41}$	Alley e Veenhuis (1983)
$AIDC = (1,046 \times AIT) - 6,23\%$	Wenger <i>et al.</i> (2008)
$AIDC = 0,6539 \times AIT^{1,0116}$	Mroczek (2018)
$AIDC = 0,842 \times AIT - 2,1594$	Sultana <i>et al.</i> (2020)

3.2.3.2 Equações de Sutherland

A AIDC estimada a partir das equações empíricas de Sutherland (2000) foram simuladas para cada sub-bacia que compõe a bacia hidrográfica do Córrego Grande. Estas equações têm por base as condições de conexão de drenagem das bacias e sub-bacias de Oregon/ EUA, logo são aplicadas em nível de bacia hidrográfica. Apesar de serem equações desenvolvidas para outro país, alguns pesquisadores, como Mroczek (2018), acredita que as equações de Sutherland (2000) são equações universais para estimativa das AIDC, desde que haja uma avaliação de campo e/ou dados aprofundados da bacia hidrográfica para identificar características de conectividade (tais como conexão do telhado a ruas / esgotos pluviais, planos de drenagem detalhados, número de poços secos e áreas de infiltração / BMPS no local). Além disso, Sahoo e Sreeja (2016) obtiveram resultados próximos ao utilizar esta equação por método SIG para uma região do nordeste da Índia. Por este mesmo motivo, o método foi selecionado para comparação com o método desenvolvido neste trabalho.

$$AIDC = A \times AIT^B \quad (\text{Eq. 37})$$

Em que:

AIDC são as Áreas Diretamente Conectadas (em%), AIT são as áreas impermeáveis Totais (em %), e 'A' e 'B' são coeficientes que dependem das condições de conectividade da área impermeável da bacia ao sistema de drenagem pluvial. A conectividade do sistema de drenagem é categorizada em:

Quadro 3.7 - Classes de Uso da Terra da EPA e Equações de Sutherland Correspondentes

Uso da Terra	Crítérios de Seleção de Bacias Hidrográficas (Conectividade)	Equação de Sutherland (em que $AIT(\%) \geq 1$)
Comercial ou Industrial, Público Urbano, Institucional, Terra Aberta	Média: Sistema pluvial com meio-fio e sarjeta, sem poços secos ou infiltração, telhados residenciais não conectados diretamente.	$AIDC = 0,1 \times AIT^{1,5}$
Residencial de Baixa Densidade	Um pouco desconectada: 50% sem sistema pluvial, mas aberto em seção de estrada, valas gramadas, telhados residenciais não conectado, alguma infiltração	$AIDC = 0,04 \times AIT^{1,7}$
Residencial de média densidade	Média: Principalmente sistema pluvial com meio-fio e sarjeta, sem poços secos ou infiltração, telhados residenciais não conectados diretamente	$AIDC = 0,1 \times AIT^{1,5}$
Residencial de alta densidade	Altamente conectado: O mesmo que acima, mas os telhados residenciais estão conectados	$AIDC = 0,4 \times AIT^{1,2}$
Agricultura ou Floresta	Principalmente desconectado: uma pequena porcentagem da área urbana é de esgoto pluvial, ou 70% ou mais é infiltrado/desconectado	$AIDC = 0,01 \times AIT^2$

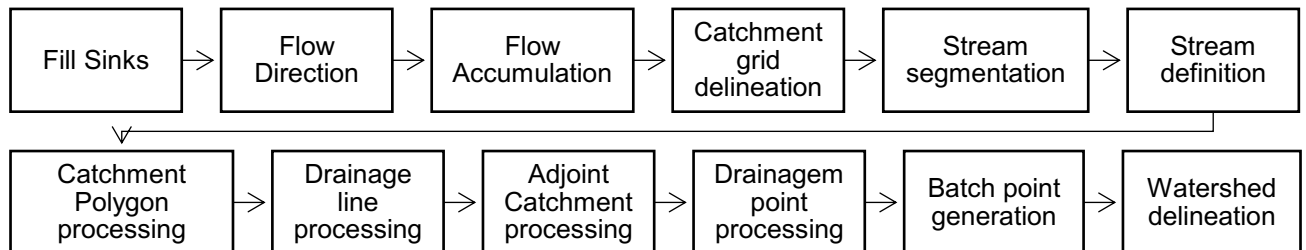
Fonte: EPA (2010)

Observa-se, por este método, que a conectividade é analisada por bacia hidrográfica. Para um resultado mais exato, já que os parâmetros envolvem encargos financeiros, sub-bacias hidrográficas foram delimitadas dentro da área de estudo. As sub-bacias foram delimitadas automaticamente a partir de uma série de processamentos do Modelo Digital de Elevação (MDE) a fim de determinar as direções dos fluxos e acúmulo da água de uma região. Deve-se utilizar uma resolução que capture os detalhes de recursos da infraestrutura urbana. Estudos alertam que a resolução espacial ideal é entre 2 e 5 m para a representação efetiva das feições urbanas (ARRIGHI; CAMPO, 2019). Neste estudo foi utilizado um MDE com resolução de 2 metros, que foi reamostrado a partir de um MDE de 1 metro (o qual havia se mostrado, previamente, muito detalhado e moroso para processamento de SIG).

O processamento iniciou com a correção de falhas no MDE (remoção ou preenchimento de sumidouros e vazios), seguida do cálculo da direção do fluxo, que é assumida como sendo do *pixel* de elevação maior para o menor (considerando 8 direções ao redor do *pixel*). Após, a acumulação do fluxo é determinada, seguida da extração da rede de drenagem e a delimitação de sub-bacias a partir do informe dos exutórios desejados. Para estes processamentos em ambiente SIG, utilizou-se a extensão ArcHydro, que é um conjunto de ferramentas (*toolbox*) específicas para a análise hidrológica desenvolvidas no Centro de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade do Texas.

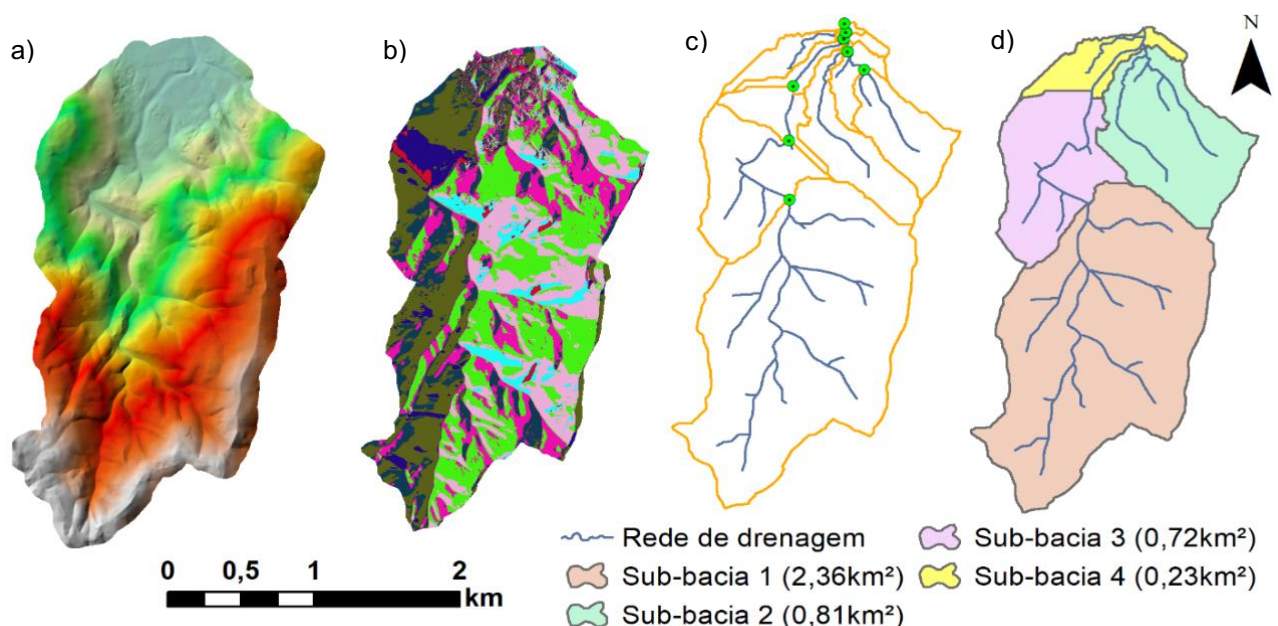
A caixa de ferramentas é um software livre de código aberto e é gratuitamente distribuída pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) pela web (<https://blogs.esri.com/esri/web>). Os procedimentos utilizados no ambiente SIG são apresentados abaixo.

Figura 3.8-Comandos utilizados no ArcHydro para delimitamento das sub-bacias.



Na penúltima ação (*batch point generation*) foram informados 4 exutórios para a delimitação das sub-bacias. Essa escolha deu-se visualmente de acordo com as características físicas (permeável e impermeável) da bacia, previamente visualizada na Subetapa 1. Desta forma, foram geradas 4 sub-bacias hidrográficas, a maior delas com 2,36km², abrangendo praticamente a totalidade das áreas verdes, enquanto as demais abrangem as áreas urbanizadas.

Figura 3.9- Ilustração dos principais procedimentos para delimitação de sub-bacias: a) MDE reamostrado para 2m, b) Direção do Fluxo (Flow Direction), c) Extração da rede de drenagem, inserção de pontos de exutória e bacias acumuladas (Adjoint catchment) d) Processamento de shapes para a seleção final das sub-bacias.



Definidas as quatro sub-bacias, deu-se início à análise de conectividade descrita no Quadro 3.7. Para escolha da equação a ser utilizada para cada sub-bacia, utilizou-se da vistoria de campo realizada quando do estudo da conectividade hidráulica dos lotes (item

3.2.2.1.3). Fez-se a sobreposição dos lotes, uso e ocupação do solo, área das sub-bacias, classificação da região quanto à densidade (disponível no setor censitário). A análise da conectividade de cada sub-bacia é apresentada junto aos resultados.

3.2.3.3 Metodologias acadêmicas nacionais

A parcela de O & M para a taxa proposta foi comparado com outras metodologias acadêmicas nacionais:

- Tucci (2002) – intitulado Método 1;
- Gomes, Baptista e Nascimento (2008) – intitulado Método 2;
- Cançado, Nascimento e Cabral (2005) – intitulado Método 3;
- Tasca, Finotti e Goerl (2019) – intitulado Método 4.

Os métodos são apresentados resumidamente na sequência, bem como os parâmetros de entrada e a equação final de Taxa de O&M calculada por meio de cada método.

Tabela 3.2 - Síntese do Método 1 - Tucci (2002)

Método	Taxa O&M	Em que
1	$T_{O\&M} = \frac{A \cdot C_{ui}}{100} \cdot (15,8 + 0,842 \cdot i_l)$ $C_{ui} = \frac{100 \cdot C_t}{[A_b \cdot (15,8 + 0,842 \cdot A_i)]}$	<p>C_{ui} = Custo unitário das áreas impermeáveis, em R\$/m²; A = Área do imóvel, em m²; i_l = é o percentual de área impermeabilizada do lote, em %. C_t = Custo total (R\$) para realizar a operação e manutenção do sistema; A_b = Área da bacia; A_i = Área impermeável de toda a bacia em %.</p>

Tabela 3.3 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O & M pelo Método 1

Parâmetros	Valores
C_t (R\$)	139.055,06
A_b (m ²)	4.123.553,60
A_i (%)	12
C_{ui} (R\$/m ²)	0,13
A_i^1	$A_i = 16 + (0,84) \cdot i_l$
$T_{O\&M}$	$T_{O\&M} = \frac{A \cdot C_{ui}}{100} \cdot (29,27 + 0,71i_l)$

¹ Nota: Valor obtido no tópico 4.1.1.2

Tabela 3.4 - Síntese do Método 2 - Gomes, Baptista e Nascimento (2008)

Método	2
Taxa O & M	$T_{O\&M} = \frac{C_{manp}}{A_l} \cdot S_l \cdot (1 - T_i) + \frac{C_{mani}}{A_l} \cdot S_l \cdot T_i + \frac{C_{manp}}{A_l} \cdot \frac{A_{svp}}{A_b} \cdot S_l + \frac{C_{mani}}{A_l} \cdot \frac{A_{svi}}{A_b} \cdot S_l$
Em que:	<p>C_{manp} = Custo de manutenção associado a áreas permeáveis (R\$), ($C_{manp} + 6,33C_{manp} = C_{mani}$)</p> <p>$A_l$ = Área total de lotes urbanizados ou não, em m²;</p> <p>S_l = Área de cada lote, urbanizado ou não, em m²;</p> <p>T_i = Índice de impermeabilização do lote, em %;</p> <p>C_{mani} = Custo de manutenção associado a áreas impermeáveis (R\$); ($C_{mani} = C_{manp} * 6,33$)</p> <p>$A_{svp}$ = Áreas públicas (praças) e do sistema viário permeáveis, em m²;</p> <p>A_b = Área total da bacia, em m²;</p> <p>A_{svi} = Áreas públicas (praças) e do sistema viário impermeáveis, em m².</p>

Tabela 3.5 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O& M pelo Método 2

Parâmetros	Valores
C_{manp} (R\$)	18.970,68
C_{mani} (R\$)	120.084,38
A_l (m ²)	1.005.928,88
A_{svp} (m ²)	226,51
A_b (m ²)	4.133.553,60
A_{svi} vias (m ²)	56.627,6
$T_{O\&M}$ (R\$)	$T_{O\&M} = 0,019 \cdot S_l \cdot (1 - T_i) + 0,119 \cdot S_l \cdot T_i + 0,000001 \cdot S_l + 0,00164 \cdot S_l$

Tabela 3.6 - Síntese do Método 3 - Cançado, Nascimento e Cabral (2005)

Método	Taxa O&M	Em que
3	$T_{O\&M} = \frac{CT}{a_{ivias} + \sum a_{ij}} \cdot a_{il}$	<p>CT = Custo total (R\$);</p> <p>$a_{ivias}$ = Área impermeabilizada das vias (m²);</p> <p>a_{il} = Área impermeabilizada do imóvel (m²).</p>

Tabela 3.7 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O& M pelo Método 3

Parâmetros	Valores
CT (R\$)	139.055,06
a_{ivias} (m ²)	56.627,6
a_{ij} (m ²)	308.497,00
$T_{O\&M}$ (R\$)	$T_{O\&M} = 0,3808,43 \cdot a_{ij}$

Tabela 3.8 - Síntese do Método 4 - Tasca, Finotti e Goerl (2019)

Método	Taxa O&M	Em que
4	$T_{O\&M} = \frac{CT}{\sum a_{il}} \cdot a_{il}$	<p>CT = Custo total (R\$);</p> <p>$a_{il}$ = Área impermeabilizada do imóvel (m²).</p>

Tabela 3.9 – Parâmetros de entrada para cálculo da taxa de O& M pelo Método 4

Parâmetros	Valores
CT (R\$)	139.055,06
a_{ij} (m ²)	308.497,00
$T_{O\&M}$ (R\$)	$T_{O\&M} = 0,45075 \cdot a_{ij}$

Os métodos 1 e 2 consideram as áreas permeáveis, enquanto os métodos 3 e 4 consideram apenas as áreas impermeáveis. Observa-se também que a diferença entre os métodos 3 e 4, após simplificação das equações deste último método, reside no uso dos custos das áreas impermeáveis das vias públicas no método 3, enquanto o método 4 aplica somente as AIT dos lotes.

3.2.4. Avaliação da Capacidade de Pagamento dos usuários

Dada a preocupação popular com a capacidade de pagamento dos usuários, foi realizada uma análise para quantificar a acessibilidade a cada uma das parcelas da taxa (Custo 1- Operação & manutenção e Custo 2- investimentos). As análises baseadas em renda são mais populares para essa quantificação (MACK; WRASE, 2017). No Brasil, não há um banco de dados nacional representativo sobre preços de águas pluviais. Isso torna as avaliações do nível de acessibilidade desafiadoras. Por este motivo, foi utilizado como base o preço de outros serviços de saneamento. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) propõe que as famílias gastem, no máximo, 4,5% de sua renda familiar média em serviços de água e esgoto. Este valor é semelhante (5%) ao referencial de renda recomendado pelo Banco Mundial (MACK; WRASE, 2017). Despesas superiores a esse valor são consideradas inacessíveis.

Neste estudo, a avaliação da capacidade de pagamento (acessibilidade) foi avaliada de forma semelhante ao referencial de acessibilidade recomendado pelo Banco Mundial (gasto de no máximo 5% da renda familiar mensal). Contudo, ponderou-se a % comprometida com cada item do saneamento básico conforme a sua importância para a manutenção da vida e saúde da população (Tabela 3.10). Considerou-se o componente água como o de maior importância, atribuindo-se um peso igual para esgotamento sanitário e resíduos sólidos, deixando-se um menor peso ao manejo de águas pluviais urbanas.

Tabela 3.10 - % de comprometimento do saneamento básico na renda mensal domiciliar

Componente do saneamento básico	% máxima de comprometimento da renda mensal domiciliar
Água	2,000
Esgoto	1,125

Componente do saneamento básico	% máxima de comprometimento da renda mensal domiciliar
Resíduos Sólidos	1,125
Manejo de Águas Pluviais Urbanas	0,750
Total	5,000

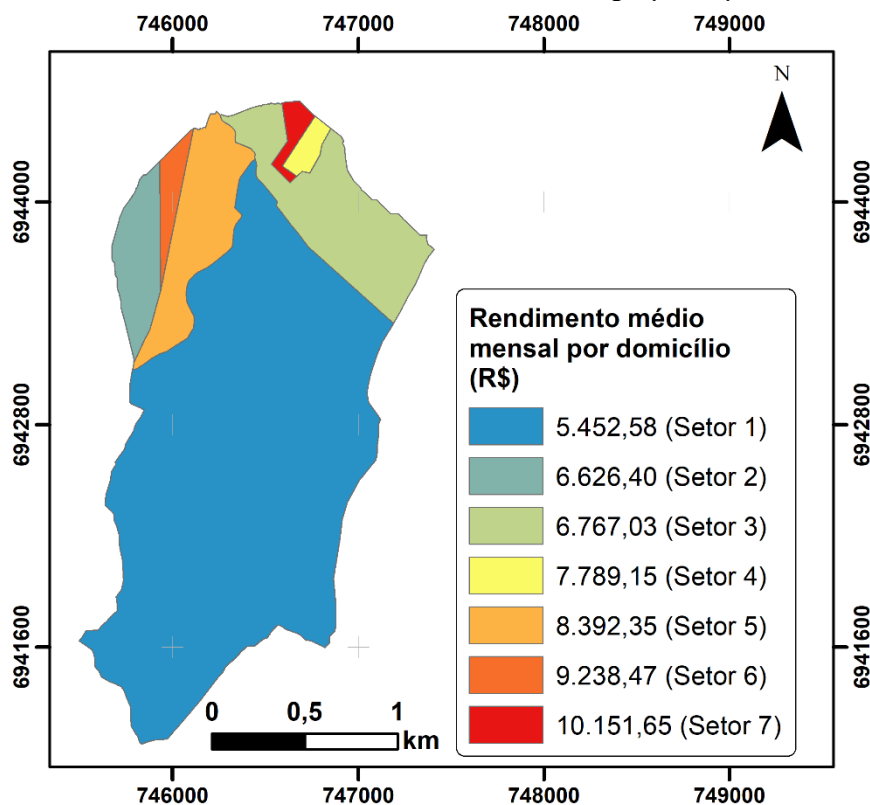
Taxas de MAPLU que comprometam mais de 0,75% da renda média familiar foram consideradas inacessíveis, enquanto as taxas que comprometam menos que esta % da renda média mensal foram consideradas acessíveis. Para esta análise, as duas parcelas das taxas, que foram calculadas por lote de cada estrato, foram agrupadas por bloco censitário, gerando uma taxa média para cada setor. Um bloco censitário é uma unidade territorial estabelecida para controle cadastral, formada por uma área urbana ou rural contínua, que contém uma certa quantidade de domicílios. Esta é a menor unidade de análise que pode ser discretizada por meio de dados oficiais do censo no Brasil. Não há dados discretizados para cada lote, tornando-se esta análise uma média de um dado bloco de domicílios.

Os dados mais recentes disponíveis referem-se ao ano de 2010, último ano do censo nacional (IBGE, 2011). Desta forma, os valores de renda foram atualizados para o ano de 2022 de acordo com o percentual de aumento do salário mínimo nesse período (138%).

A sub-bacia do Córrego Grande possui 07 setores censitários, totalizando 1.767 domicílios e 4.698 moradores¹⁶. A renda média mensal dos domicílios da área de estudo é de R\$ 7.773,94, variando de R\$ 5.452,58 (setor 420540705000366) a R\$ 10.151,64 (setor 420540705000367), conforme Figura 3.10.

¹⁶ A população da área de estudo é inferior à do bairro, já área de estudo não contempla os limites territoriais do bairro, mas da bacia hidrográfica.

Figura 3.10 - Rendimento médio mensal domiciliar - agrupado por setor censitário



Para simplificação devido à extensão da nomenclatura oficial dos setores censitários, os setores foram renomeados conforme o quadro abaixo.

Quadro 3.8 - Simplificação utilizada para a nomenclatura dos setores censitários

Código oficial	Nomenclatura utilizada
420540705000366	Setor 1
420540705000185	Setor 2
420540705000188	Setor 3
420540705000190	Setor 4
420540705000187	Setor 5
420540705000186	Setor 6
420540705000367	Setor 7

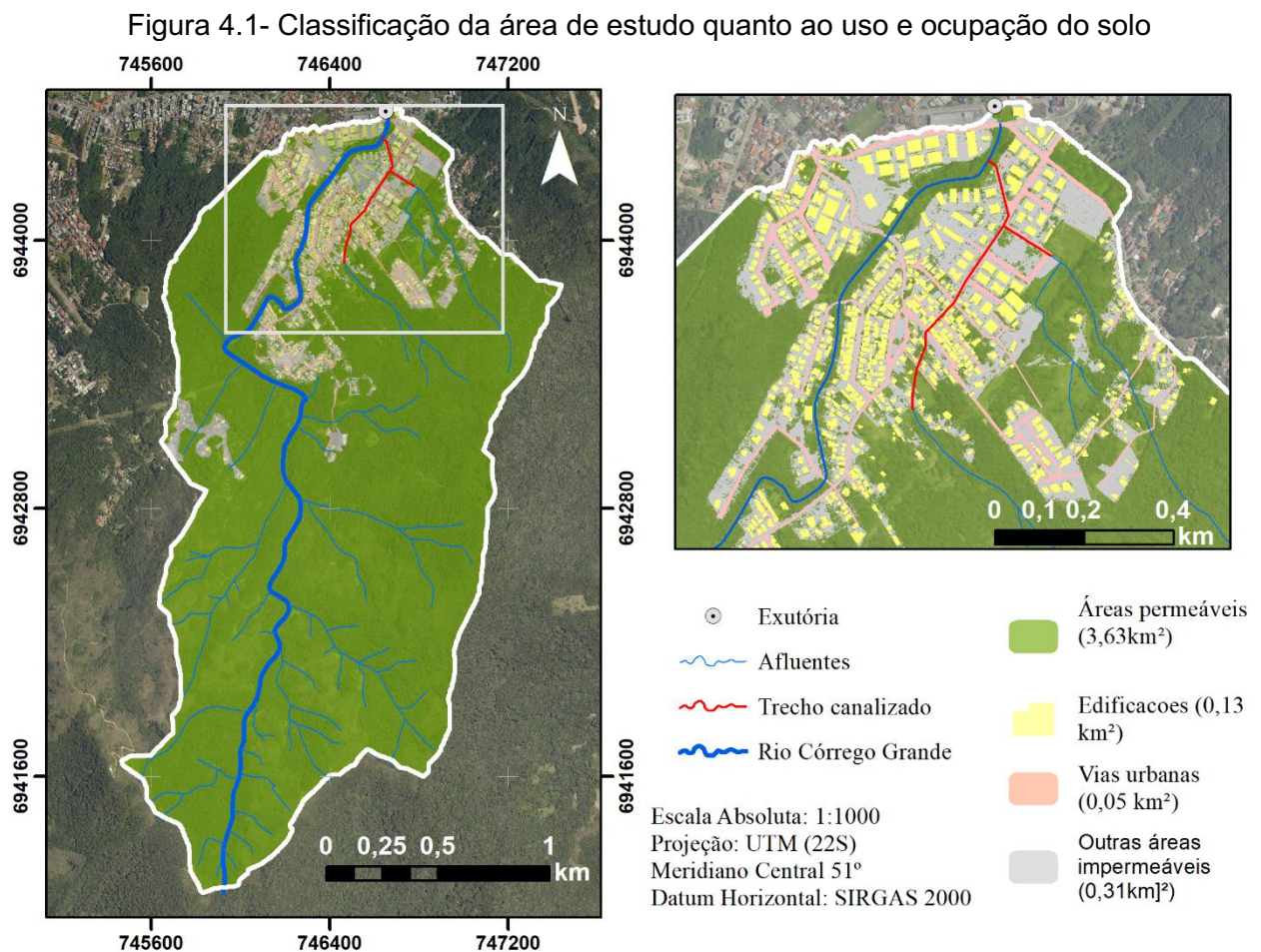
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Aplicação da taxa de drenagem

4.1.1. Estimativa da AIDC

4.1.1.1 Classificação de imagens

Este processo resultou na identificação dos componentes impermeáveis (edificações, vias urbanas, outros) e permeáveis. Para a área de estudo, a AIT corresponde a apenas 12% (0,50km²) da área total, enquanto as áreas permeáveis ocupam a maior parte (88%) da sub-bacia do Córrego Grande (Figura 4.1). Contudo, ao descontar-se Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Preservação com Uso Limitado e Unidade de Conservação (UC), que totalizam aproximadamente 3,51 km² (85% da bacia), tem-se apenas 0,61km² (15%) disponíveis à ocupação, dos quais 80% já estão impermeabilizados.



4.1.1.2 Estratificação e Caracterização dos lotes conectados

Os 474 lotes conectados foram estratificados conforme o seu uso e ocupação e sobrepostos ao mapa resultante da classificação das imagens de satélite (Figura 4.1), permitindo caracterizá-los quanto suas áreas impermeáveis e permeáveis (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Síntese das informações por estrato

Estrato	Descrição	Lotes (n)	Resultados médios por estrato					
			Área média dos lotes (m ²)	Área média das edificações (m ²)	TO ¹ (%)	AIT média (m ²)	TOI ² (%)	Área média permeável (m ²)
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	1	99,1	70,0	71%	89,0	90%	10,0
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	9	171,1	68,9	40%	136,4	80%	32,4
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	12	249,3	60,0	24%	170,3	68%	72,3
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	98	365,2	159,1	44%	305,1	84%	59,6
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	80	477,1	162,5	34%	350,7	73%	143,2
1.6	Lotes Residenciais 301-1200m ²	86	842,9	229,9	27%	572,0	68%	267,6
1.7	Lotes Residenciais >1201m ²	74	5.985,0	567,4	9%	1.670,8	28%	4.298,4
2	Edifícios verticais	33	2.234,95	541,21	24%	1.374,06	61%	856,60
3	Comércios e indústria	22	898,38	221,63	25%	640,18	71%	251,45
4	Ocupação mista	1	5.511,97	588,00	11%	1.056,00	19%	4.420,00
5	Lotes vagos	50	813,47	0	0%	0,00	0%	813,47
6	Institucionais	8	4.092,48	195,50	5%	1.733,00	42%	2.350,50
7	Estradas e calçadas com meio fio	-	-	-	-	56.627,63	-	-
Média			1.811,75	238,68	26%	674,80 ³	57%	1.131,29

Notas:

¹ Taxa de ocupação (TO): relação entre a área construída em projeção horizontal e a área do lote (%);

² Taxa de ocupação e impermeabilização (TOI): relação entre a área construída em projeção horizontal acrescida da área impermeabilizada e a área do lote (%), este parâmetro é referente à impermeabilização total existente no lote;

³ Excluindo-se o estrato 7, considerando-se apenas lotes.

Observa-se que o estrato 6 (institucional) é a classe com maior estimativa de áreas impermeáveis (AIT), excluindo-se o estrato 7, que não possui lotes. A revisão de literatura mostrou que, em geral, quanto menor a área do lote residencial, maior é a porcentagem impermeabilizada do lote. Essa tendência também pode ser observada neste estudo, excetuando-se, os estratos 1.3 e 1.4.

Também se observa que a área média dos lotes é alta, 1.811,75m², refletindo as peculiaridades da área de estudo: Tem-se grandes áreas de loteamentos residenciais fechados, de edificações verticais, de ocupações mistas e de lotes institucionais, sendo uma

região de forte especulação imobiliária. Já a AIT média das áreas conectadas é de 4.978,86m², totalizando 365.124,63m² (0,36km²). Essa área é inferior quando comparada à AIT levantada na classificação de imagens (0,49km²), já que essa última foi quantificada para a área total da bacia hidrográfica.

4.1.1.3 Estudo da conectividade hidráulica dos lotes

A pesquisa amostral para estudo da conectividade resultou na Tabela 4.2. Foram 202 lotes analisados por meio de SIG (Google Earth e Google Street View), dos quais 50% foram visitados e ajustados, resultando em novas médias AIDC/AIT. Foi possível observar que, tal como nos estudos existentes, as AIDCs residenciais diminuem à medida que aumenta o tamanho do lote. A média global da relação AIDC/AIT para a área de estudo correspondeu a 51% por meio de técnicas SIG e 47% após os ajustes de campo. O método SIG tendeu a superestimar a AIDC em apenas 4%.

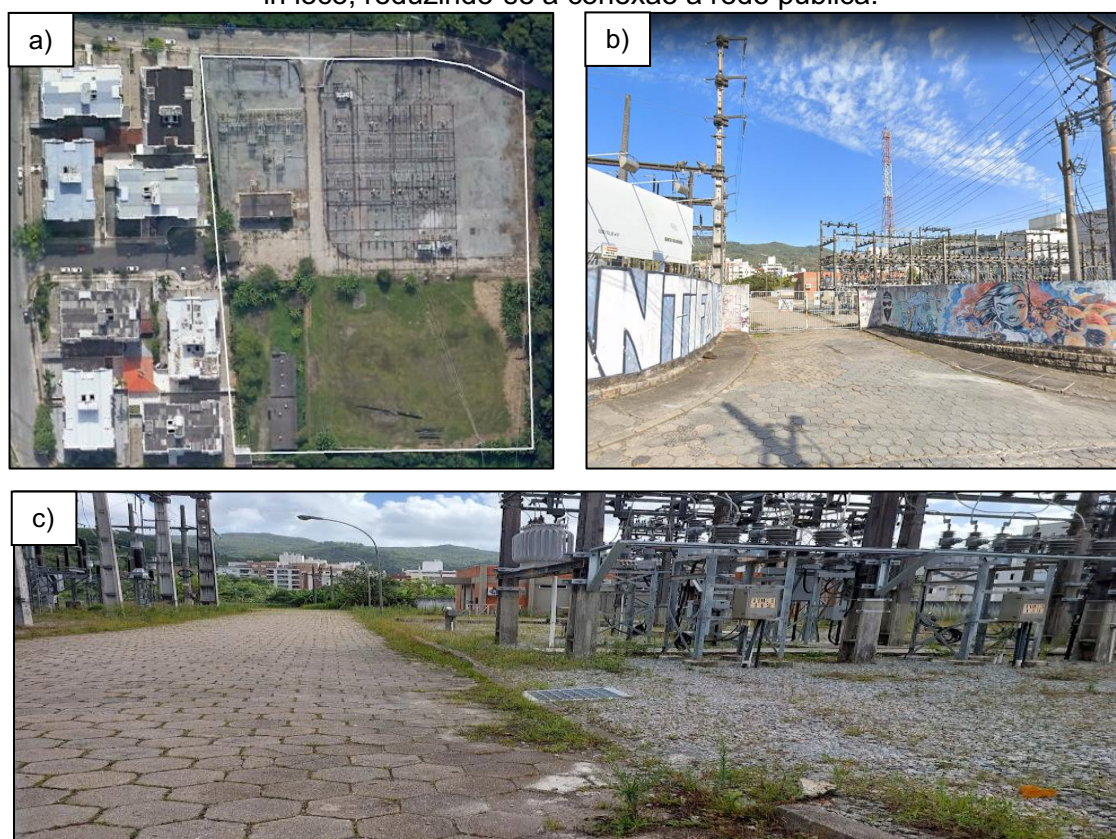
Tabela 4.2 – Síntese dos resultados da AIDC estimada por método SIG seguido de ajuste a partir de vistorias

Estrato	Quantidade de lotes	Nº amostras		Média AIDC/AIT		Diferença	Desvio padrão (AIDC)
		SIG	Vistoria	SIG	Ajustada		
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	1	1	50%	34%	-16%	-
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	9	2	79%	67%	-12%	27%
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	12	3	65%	69%	+4%	42%
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	98	20	56%	55%	-1%	30%
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	80	19	39%	37%	-2%	32%
1.6	Lotes Residenciais 601-1200m ²	86	20	24%	30%	+6%	35%
1.7	Lotes Residenciais >1200m ²	74	18	16%	15%	-1%	25%
2	Verticalizados	33	8	95%	96%	+1%	6%
3	Comércios e indústrias	22	5	69%	65%	-4%	45%
4	Misto e outros	1	1	21%	21%	0%	-
6	Lotes Institucionais	8	4	50%	15%	-35%	13%

As maiores diferenças entre as duas técnicas foram observadas no estrato 6 (Institucionais) e estrato 1.1 (Lotes Residenciais <125m²), com 35% e 16% de diferença nas estimativas, respectivamente. Para o estrato 1.1, a diferença decorre por ser apenas um lote no estrato, aliado ainda ao fato de ser um lote muito pequeno, situação na qual erros são significativos, sendo este o caso. Esse lote foi apresentado na Figura 3.7, na qual

não se observou, por meio do Google Street View, a inclinação da área pavimentada para dentro do lote, não para a rua, desconectando assim a área impermeável. Já no estrato 6, o erro também foi considerável. Isso se deve, tal como o estrato 1.1, a um erro cometido dentro de um estrato com poucos lotes. O erro considerável, em questão, foi considerar inicialmente um lote institucional com relação de AIDC/AIT em 50%. No local, há uma subestação de energia elétrica pertencente à Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A (CELESC), que ocupa grande parcela de área impermeável, área esta visualizável por meio do Google Earth (Figura 4.2), da qual se via com auxílio do Google Street View, a certa distância, a entrada do lote. Contudo, ao visitar o local – e com auxílio do mato crescido – observou-se que a área impermeável tratava-se na verdade de brita em todo o terreno, aliado ainda ao caminho existente ser feito de lajota sextavada (coeficiente de escoamento em torno de 0,7), fatos que reduziram a AIDC do lote para apenas 7%.

Figura 4.2- Lote institucional com área impermeável considerável com: a) Vista superior do lote com o Google Earth. b) Vista frontal da subestação a partir do Google Street View. C) Observação in loco, reduzindo-se a conexão à rede pública.



Dentro do estrato 6, observou-se também um erro interessante. Em uma área comercial (apesar do cadastro oficial constar institucional), o terreno aparentava possuir 50% de AIDC, com observação, inclusive, do conduto vertical de escoamento por meio do Google Street View. Já no local, observou-se que o conduto conduzia o escoamento para

um pequeno jardim, situado ao final do condutor, reduzindo a AIDC à apenas o estacionamento.

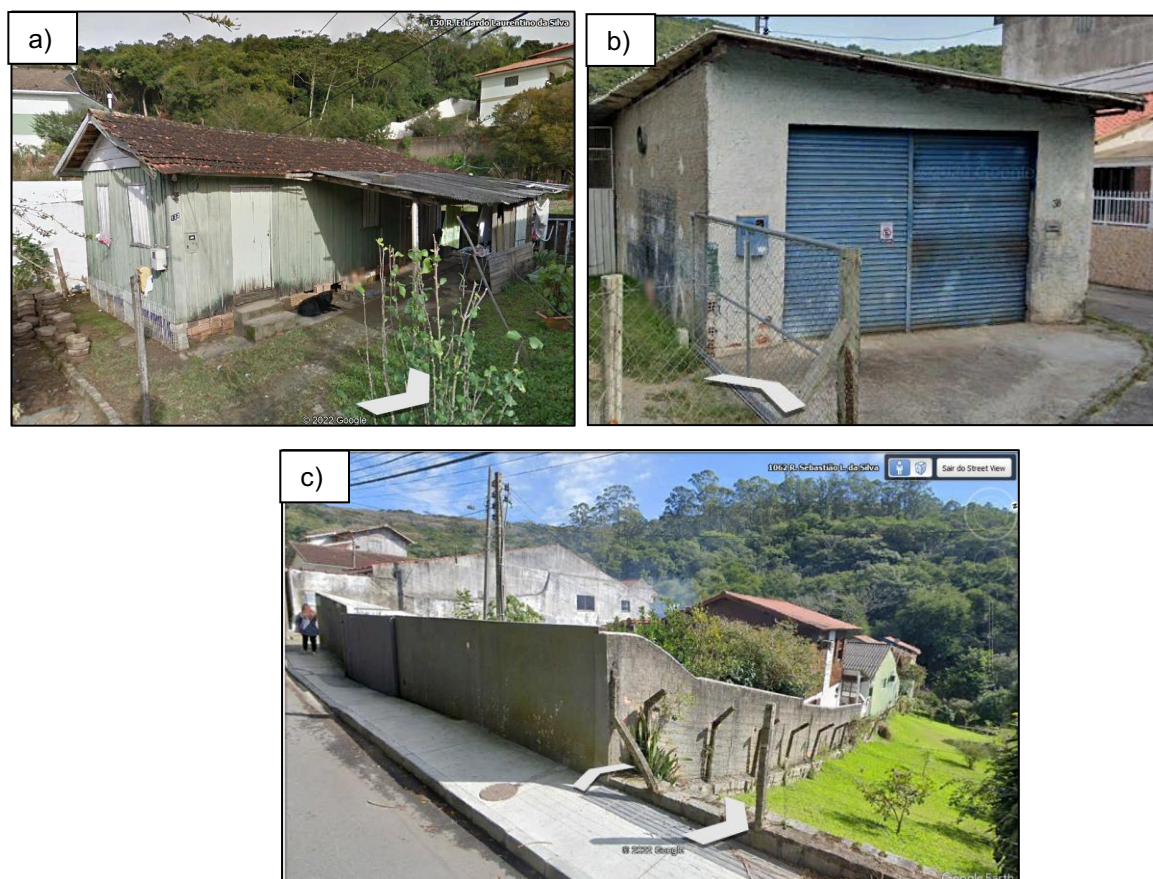
Figura 4.3 - Exemplo de erro realizado pelas técnicas SIG: a) Visualização com o Google Earth, com AIDC em metade do lote. b) Possível confirmação, via Google Street View, do lançamento do escoamento no estacionamento. c) Observação no local, com possível desconexão dos telhados. d) Confirmação de desconexão, reduzindo a AIDC estimada por meio de SIG.



Os resultados denotam que, para estratos com poucos lotes, como os estratos 1.1, 1.2 e 6, todos os lotes devem ser vistoriados *in loco*. Para os demais, as diferenças percentuais foram baixas, mostrando que a junção de técnicas SIG pode ser uma boa alternativa às vistorias *in loco*, reduzindo-se tempo, recursos humanos e financeiros.

Outros comentários fazem-se interessantes. Para a área de estudo, observou-se uma grande variedade nos estratos residenciais, não sendo possível afirmar a existência de um padrão dentro de um mesmo estrato. Contudo, observou-se um padrão em alguns tipos específicos de casos (Figura 4.4), fatos que tornaram as análises em SIG praticamente precisas. Havia muitas casas em All, com escoamento caindo diretamente nas áreas permeáveis. Também havia casas visivelmente vulneráveis sem calçamento, na qual o escoamento caía direto do telhado, sem calhas ou condutos, nas ruas. Também se viu muitas casas situadas em soleira negativa, o que demandaria bombeamento das águas pluviais para a rua em frente, fato mais improvável pois implica em maiores custos ao proprietário. Na maior parte dos casos de cota negativa com relação ao nível da rua, as águas pluviais eram lançadas em partes permeáveis mais baixas dos lotes ou em em outras ruas mais baixas que cercam o lote, mas que desaguavam em áreas permeáveis.

Figura 4.4 - Análises realizadas pelo Google Street View e verificadas in loco com precisão de 100%: a) Área Impermeável Isolada, com escoamento direcionado a áreas permeáveis. b) Escoamento direcionado diretamente à via pública. c) Casa situada em cota negativa da rua



Além disso, foi observado que edifícios verticais situados em áreas de lote praticamente impermeáveis, possuíam uma relação de AIDC/AIT em 100%. Por outro lado, acredita-se que estudos aprofundados são necessários a este classe, pois não é possível

ter a certeza de onde o escoamento é lançado no caso de edifícios com alguma parcela de área permeável. Acredita-se que é necessária a análise do projeto hidráulico predial para composição de uma estimativa mais precisa.

Na comparação com os estudos existentes no Brasil, a área de estudo possui valores bem inferiores, o que denota as diferenças entre as áreas analisadas e o tamanho amostral. No estudo de Garotti e Barbassa (2010), o estrato 1.1 possui 14.082 lotes e 26 amostras de campo. Já no estudo de Faria (2013), este mesmo estrato possui 91 lotes e 10 amostras de campo. Para a área de estudo, esse estrato tem um único lote e uma amostra de campo, o qual – devido a um caminho chapiscado de concreto, mal acabado – o escoamento era direcionado em declive para o fundo do lote. Por ser lote único, a relação representa o universo total deste estrato. O mesmo comentário pode ser feito para o estrato 4 (misto), na qual o único lote existente representou a média amostral para toda a classe, sendo bem inferior aos outros dois estudos (que realizaram vistoria em 36 lotes no total).

Quadro 4.1 - Médias de AIDC/AIT utilizadas para cálculo da Unidade Residencial Conectada

Estrato	Descrição	AIDC/AIT		
		Garotti e Barbassa (2010)	Faria (2013)	Área de Estudo
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	98,10%	96,90%	34%
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	79,80%	95,60%	67%
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	89,80%	84,40%	69%
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	69,20%	73,70%	55%
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	73,50%	55,10%	37%
1.6	Lotes Residenciais 601-1200m ²	64,10%	56,60%	30%
1.7	Lotes Residenciais >1200m ²	66,90%	53,20%	15%
2	Verticalizados	92,50%	81,20%	96%
3	Comércios e indústrias	76,80%	81,60%	65%
4	Misto e outros	99,70%	94,50%	21%
5	Lotes vagos	-	-	0%
6	Institucional	74,70%	75,90%	15%
7	Estradas e calçadas com meio fio	-	-	100%

Nota: Os extratos 5 e 7 foram adicionados, não sendo medido nas pesquisas citadas.

A área de estudo, conforme já citado, é uma área de grande especulação imobiliária, o que é demonstrado por lotes de grande dimensões ainda não parcelados e a existência de muitos lotes residenciais (360). A região possui poucos lotes institucionais (8), comerciais/industriais (22) e mistos (1), diferentemente dos estudos citados acima. Já na comparação com os estudos internacionais, a relação AIDC/AIT da área de estudo também se mostrou inferior, com exceção ao estudo de Janke, Gulliver e Wilson (2011), que obteve relação inferior à da área de estudo. Ambos possuem uma bacia hidrográfica com predominância de área permeável.

Quadro 4.2 – Comparação da relação AIDC/AIT com a literatura internacional

País	Autores	AIDC/AIT média internacional	AIDC/AIT média da Área de estudo
Austrália	Phillips <i>et al.</i> (2014)	65%	47%
Dinamarca	Jensen (1990)	90%	47%
	Boyd <i>et al.</i> (1993)	76%	47%
Estados Unidos	Alley e Veenhuis (1983)	56% (unifamiliar)	44% (unifamiliar)
		77% (industrial)	65% (industrial e comercial)
		94% (comercial)	
	Janke, Gulliver e Wilson (2011)	32 a 33%	47%
Finlândia	Melanen e Laukkanen (1981)	75%	47%

Relembrando-se que na ausência de quaisquer dados locais de vazão e precipitação, Ball *et al.* (2019) acreditam que a relação AIDC/AIT de 50% a 70% parece ser apropriada para a grande maioria das bacias urbanas. No caso da área de estudo, a relação AIDC/AIT foi inferior, apesar de próxima, situando-se em 47%. Ainda, Phillips *et al.* (2014) sugerem o uso de 55% a 65% para lotes unifamiliares australianos, sendo que áreas comerciais/industriais a conectividade é maior. Na área de estudo, a relação AIDC/AIT dos lotes unifamiliares ficou em 44% (média do estrato 1), valor inferior à esta média. Já a média AIDC/AIT da área de estudo, para áreas comerciais/industriais foi maior quando comparada aos lotes unifamiliares, como era de se esperar, mas ainda sim um valor inferior às médias de outros estudos. Estas comparações reforçam que as relações empíricas são específicas para cada região e estimam o escoamento de maneira imprecisa quando aplicadas em outras áreas para as quais foram desenvolvidas. Na área de estudo, há uma grande variação na porcentagem de conectividade entre os lotes de um mesmo estrato e a AIDC não pode ser prevista com precisão a partir de relações empíricas embasadas na AIT.

Por fim, demonstra-se a AIDC calculada para cada estrato (Quadro 4.3). Relembrando-se que, da área disponível à ocupação na sub-bacia do Córrego Grande, 80% encontra-se impermeabilizada, e a média global da relação AIDC/AIT correspondeu a 47%, ou seja, há 33% de áreas impermeáveis desconectadas.

Quadro 4.3 – Total de AIDC de cada estrato

Estrato	Descrição	Σ AIT (m ²)	Σ AIDC (m ²)	Média AIDC/AIT	% da AIDC total
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	89,00	30,26	34%	0,0%
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	1.228,00	762,52	67%	0,4%
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	2.044,00	1.311,36	69%	0,8%
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	29.904,00	16.516,48	55%	9,6%
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	28.052,00	10.215,52	37%	5,9%
1.6	Lotes Residenciais 601-1200m ²	49.192,00	15.375,12	30%	8,9%

Estrato	Descrição	Σ AIT (m ²)	Σ AIDC (m ²)	Média AIDC/AIT	% da AIDC total
1.7	Lotes Residenciais >1200m ²	123.640,00	17.873,04	15%	10,4%
2	Verticalizados	45.344,00	43.149,12	96%	25,0%
3	Comércios e indústrias	14.084,00	9.077,72	65%	5,3%
4	Misto e outros	1.056,00	211,00	21%	0,1%
5	Lotes vagos	0,00	0,00	0%	0,0%
6	Institucional	13.864,00	1.290,00	15%	0,7%
7	Estradas e calçadas com meio fio	56.627,63	56.627,63	100%	32,8%
Total		365.124,63	172.439,77	47%	-

Nota: Para estimativa da AIDC, considerou-se a média do estrato para as áreas que não foram vistoriadas, ao passo que foram consideradas a % de conectividade dos lotes vistoriados. Assim, conforme se aumenta a vistoria, a média tende a refletir de maneira mais realista o valor do estrato.

Oportuno comentar, novamente, que mesmo que este estudo tenha considerado que a AIDC dos lotes vagos equivalente a zero, os eventos de chuva maiores tendem a produzir escoamento além das AIDCs, dado que eventos de chuva de alta intensidade podem exceder a capacidade de infiltração de superfícies (gramados) ou fazer com que certas partes de becos ou estacionamentos transbordem para ruas (uma tendência observada em estudos diversos, como Boyd *et al.* (1993) e Janke, Janke, Gulliver e Wilson (2011). Não seria equivocado considerar algum tipo de % para a AIDC, cobrando-se uma taxa, já que estes lotes também são beneficiados pela infraestrutura disponível, redução dos alagamentos e redução da poluição da bacia hidrográfica. Contudo, o método de cobrança aqui proposto possui um segundo componente, que cobra também pelos investimentos realizados na bacia hidrográfica. Assim, os lotes vagos já possuirão um tipo de cobrança de drenagem. O objetivo em não cobrar pela AIDC/AIT é incentivar a manutenção de lotes naturais (apesar de que, na área de estudo, os lotes vagos são resultados de especulação imobiliária, na qual a dinâmica de ocupação se altera rapidamente).

Para a área de estudo, observa-se que a maior contribuição provém de estradas e calçadas com meio fio, representando 32,8% da AIDC total. Esse valor poderia ser reduzido se houvessem desconexões ao longo do caminho, como valas de infiltração, BPMs entre outros. Observa-se aqui um dos principais dilemas quando se trata de financiamento dos sistemas de MAPLU. O poder público, como gestor da infraestrutura de transporte, figura como o principal poluidor dos corpos receptores da área de estudo, embora a infraestrutura atenda à coletividade. Raramente essa fonte de escoamento (domínio público) é identificada como um usuário separado e tem seu impacto e custo efetivamente avaliado. No caso das estradas em locais que adotam o sistema convencional de drenagem (maior parte do Brasil), o poder público é 'obrigado' a receber as águas pluviais que escoam das residências e isso acarreta em ônus, o que possibilita a cobrança. Por meio deste

instrumento, o poder público poderia diminuir este impacto de modo quanti e qualitativo. A situação, hoje, é de não haver cobrança alguma e nenhuma forma de mitigação dos impactos.

4.1.1. Custos

4.1.1.1 Custo Médio de O&M

A estimativa de AIDC e a sua respectiva aplicação (Eq. 29) resultou em uma Unidade Residencial Conectada de 172,46m². Este número mostra-se inferior quando comparado à Unidade Residencial Equivalente (ERU) estimada nos EUA (285,4m²) e Canadá (228,6m²), por exemplo, que utilizam como parâmetro a Área Impermeável Total. A relação AIDC/AIT com estes dois países representa 60% e 75% respectivamente.

$$1 \text{ URC (m}^2\text{)} = \frac{\Sigma \text{ de AIDC residencial na BH (m}^2\text{)}}{\Sigma \text{ de lotes residenciais conectados na BH (n)}} = \frac{62.084,30 \text{ m}^2}{360} = \mathbf{172,46 \text{ m}^2}$$

O número total de URCs para a área de estudo foi equivalente a 999,9 URCs. Isto significa que, se todos os lotes tivessem a conectividade padrão aos sistemas de drenagem, tal como os lotes residenciais, caberiam 999,9 unidades residenciais com este tamanho na área de estudo. Isso significa que os custos da gestão do MAPLU serão divididos entre essas unidades, mas cada qual na sua proporcionalidade de conexão. Quem tiver mais unidades, quando comparada à unidade padrão agora estabelecida (172,46m²), deverá pagar a mais, proporcionalmente à unidade referência.

$$\text{Total de URCs na BH} = \frac{\Sigma \text{ de AIDC na BH (m}^2\text{)}}{1 \text{ URC}} = \frac{172.439,77 \text{ m}^2}{172,46 \text{ m}^2} = \mathbf{999,9 \text{ URCs}}$$

A taxa por Unidade Residencial Conectada equivale a R\$ 139,07 por ano (ou R\$11,59 por mês), o que equivale a uma taxa de R\$0,81 por m² conectado, valor inferior àqueles praticados em nível internacional (Tabela 4.3). Conforme já comentado, esses valores são totalmente dependente da prioridade dada à gestão das águas pluviais pela concessionária/utilitário. Um valor de R\$ 0,81 por m² pode ser considerado baixo, mas suficiente para não deixar os sistemas de drenagem esquecidos.

$$\begin{array}{l} \text{Taxa por 1 URC (R\$)} = \\ \hline \text{Custos de operação e manutenção de águas pluviais (R\$)} \\ \hline \text{Total de URCs na BH} \end{array} = \frac{\text{R\$ } 139.055,06}{999,9 \text{ URC}} = \begin{array}{l} \text{R\$} \\ \mathbf{139,07} \end{array} = \begin{array}{l} \text{R\$ } \mathbf{0,81/} \\ \text{m}^2 \end{array}$$

Tabela 4.3 - Comparação R\$ por m² em nível internacional

País	Valor no ano de Referência	Valor corrigido para dezembro/2022 pelo INPC
	(R\$) / m ²	(R\$) / m ²
Alemanha (2014)	3,41	7,18
Canadá (2021)	1,53	1,65
Estados Unidos (2021)	1,25	1,35
França (2012)	0,87	0,94
Polônia (2014)	1,35	2,84
	Média	2,79

A concessionária pode estabelecer valores diferentes para cada estrato, mensurando os maiores poluidores. Nesta pesquisa, considerou-se que tal ajuste já foi inserido quando das suposições da conectividade, ajustando aos maiores poluidores a maior parcela de conectividade, o que, por si, já aumenta o valor da cobrança.

Para cada lote, fez-se a simulação da taxa de O&M, aplicando-se a (Eq. 32):

$$Taxa \text{ por lote} = \frac{Taxa \text{ por } 1 \text{ URC (R\$)}}{1 \text{ URC (m}^2\text{)}} \times AIDC \text{ no lote}$$

O valor final das taxas aplicadas a todos os lotes totaliza, obviamente, R\$ 139.055,06, exatamente os custos de O&M, já que o método pressupõe a recuperação total dos custos (Tabela 4.4). Nesse sentido, cabe frisar que a cobrança ao estrato 7, ou seja, ao Poder público, possui o valor de R\$ 45.664,40 por ano, representando 32,84% do total da cobrança (ou seja, exatamente a sua % de AIDC na área de estudo). É o estrato com a maior cobrança. Caberia ao Poder Público avaliar como pagaria por este serviço, seja por meio de investimentos no estrato, por meio do rateio entre todos os moradores (conectados ou não), o que equivaleria a R\$96,34 e R\$92,63 respectivamente, ou outras opções, como a própria redução do escoamento. Compreende-se que soa estranho imputar uma cobrança ao Poder Público, sendo que o mesmo poderia (e certamente o faria) repassar este valor aos usuários. Mas por meio desta quantificação é que torna possível a cobrança de que os gestores públicos deem exemplo, reduzindo a sua conexão à rede pública de drenagem.

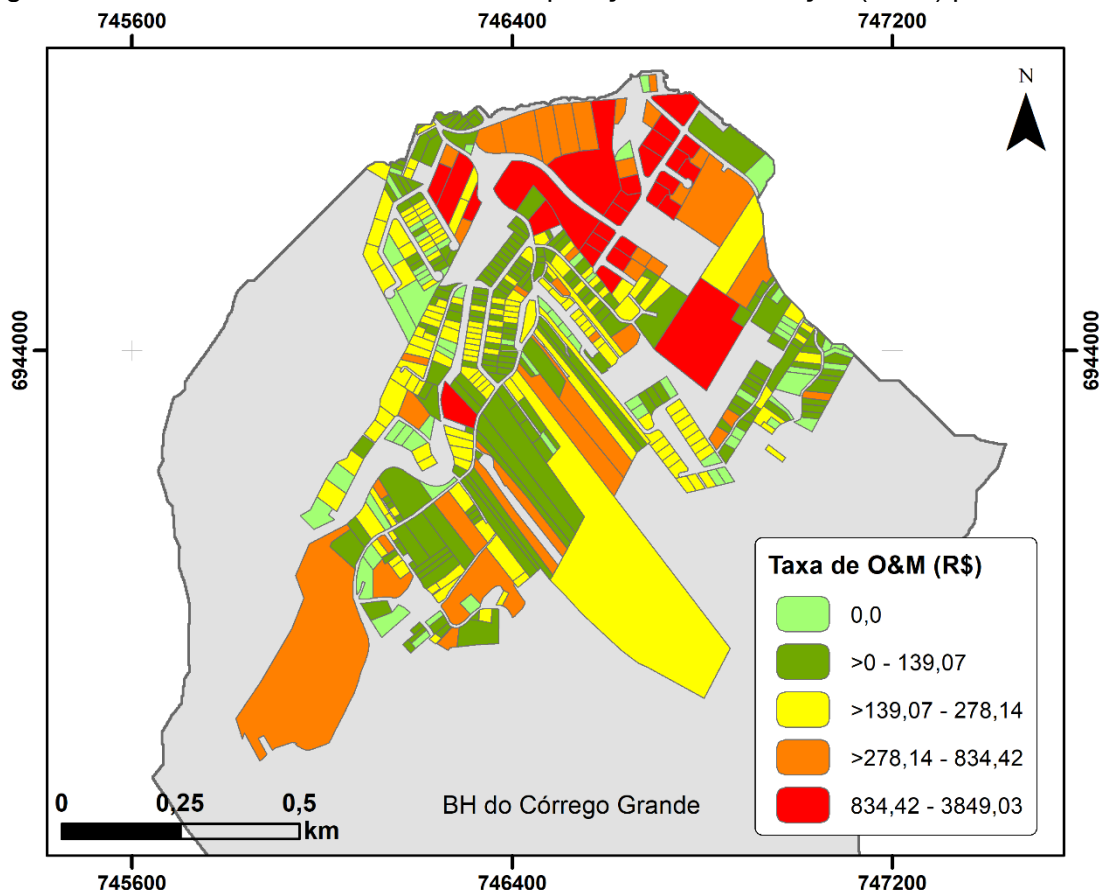
Os valores individuais da cobrança das taxas são apresentados na Figura 4.5.

Tabela 4.4 – Valor da cobrança total para cada estrato

Estrato	Descrição	∑ de lotes (n)	∑ AIDC (m ²)	% da AIDC total	∑ taxa anual O & M (R\$)	Taxa média mensal (R\$)
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	1	30,26	0,02%	24,40	2,03
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	9	762,52	0,44%	614,89	5,69
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	12	1.311,36	0,76%	1.057,48	7,34

Estrato	Descrição	Σ de lotes (n)	Σ AIDC (m ²)	% da AIDC total	Σ taxa anual O & M (R\$)	Taxa média mensal (R\$)
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	98	16.516,48	9,58%	13.318,85	11,33
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	80	10.215,52	5,92%	8.237,77	8,58
1.6	Lotes Residenciais 601-1200m ²	86	15.375,12	8,92%	12.398,46	12,01
1.7	Lotes Residenciais >1200m ²	74	17.873,04	10,36%	14.412,78	16,23
2	Verticalizados	33	43.149,12	25,02%	34.993,76	88,37
3	Comércios e indústrias	22	9.077,72	5,26%	7.320,25	27,73
4	Misto e outros	1	211,00	0,12%	170,15	14,18
5	Lotes vagos	50	0,00	0,00%	0,00	0,00
6	Institucional	8	1.290,00	0,75%	1.040,25	10,84
7	Estradas e calçadas com meio fio	-	56.627,63	32,84%	45.664,40	3.805,37
	Total	474	172.439,77	-	139.253,47	-

Figura 4.5 – Valores das taxas anuais de Operação & Manutenção (O&M) para cada lote



A cobrança aos lotes verticalizados representa a segunda maior parcela de cobrança, totalizando R\$ 34.795,36 (25,02% do total), enquanto os lotes residenciais com áreas maiores que 1.200m² (estrato 1.7) representam 10,36%. Estes três estratos citados (1.7, 2 e 7) representam 68,23% do total da cobrança, sendo considerados os maiores

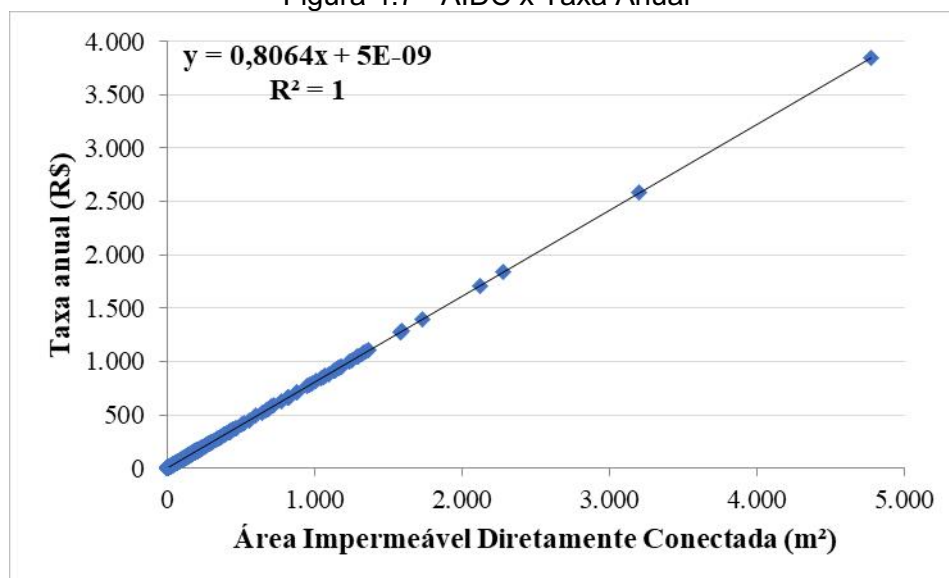
usuários. O maior valor de cobrança (R\$ 3.849,03) refere-se a um lote do Estrato 2 (Apartamentos), que possui 4.773,12m² de AIDC, sendo que a relação AIDC/AIT é 96%.

Figura 4.6 – Lote com a maior cobrança de O&M



Por fim, a figura seguinte apresenta a relação entre a AIDC e a taxa anual desenvolvida neste estudo.

Figura 4.7 - AIDC x Taxa Anual



4.1.1.2 Custo Médio de Investimentos

Aplicando-se a (Eq. 34 para a área de estudo, tem-se:

$$Ai = \alpha \cdot i_m + (1 - \alpha) \cdot i_l$$

$$A_i = 16 + (0,84).i_l$$

Em que α (parcela da área de arruamentos e logradouros públicos) = $56.627,63 / 365.124,63 = 0,16$ (ou seja, a A_i de ruas / AIT). O total de praças cadastradas tende a zero (0,4%) e não foi considerado;

$i_m = 100\%$ (área totalmente impermeável), conforme se considerou neste estudo;

Aplicando-se a (Eq. 35 para a área de estudo, tem-se que o custo para cada lote urbanizado (T_{xp}) é:

$$T_{inv} = \frac{A.C_{tp}}{A_b.A_i} . [16 + (0,84).i_l]$$

$$T_{inv} = \frac{A . 2,78 . [16 + 0,84 . i_l]}{4,12 . 12,2}$$

Em que:

A é a área do lote (em m^2);

C_{tp} é o custo total anual do plano= R\$ 2,781 (em milhões);

i_l é a área impermeável do lote (em %)

A_b = área da bacia = $4,12 \text{ km}^2$

A_i é a área impermeável de toda a bacia (em %), = $(502.563,28/4.120.000) \times 100 = 12,2\%$.

Logo, a taxa de investimento para lotes é $T_{inv} = \frac{A . 2,78 . [16 + 0,84 . i_l]}{50,26}$

A taxa foi aplicada para cada lote da área de estudo, inclusive os não conectados (acrescentando 12 novos lotes à esta etapa). A tabela seguinte apresenta o valor médio aplicado a cada estrato, bem como o total de arrecadação. Já a Figura 4.8 apresenta o custo de investimentos para cada lote.

Tabela 4.5 -Taxa média de investimento arrecadada em cada estrato

Estrato	Descrição	Médias			Total (R\$)	
		Área lote (m^2)	Área imperm lote (il %)	T_{inv} (R\$)	AIT (m^2)	T_{inv} (R\$)
1.1	Lotes Residenciais <125 m^2	99,10	90%	91,83	89,00	501,21
1.2	Lotes Residenciais 125-200 m^2	171,15	78%	785,42	1.228,00	7.068,76
1.3	Lotes Residenciais 201-300 m^2	249,31	68%	1.012,05	2.044,00	12.144,56
1.4	Lotes Residenciais 301-400 m^2	364,83	83%	1.738,78	29.560,00	168.661,76
1.5	Lotes Residenciais 401-600 m^2	474,64	72%	2.051,58	28.092,00	35.431,02
1.6	Lotes Residenciais 601-1200 m^2	840,09	68%	3.386,81	49.496,00	294.652,74
1.7	Lotes Residenciais >1200 m^2	5.985,00	47%	13.059,70	123.640,00	966.417,87

Estrato	Descrição	Médias			Total (R\$)	
		Área lote (m ²)	Área impermeável lote (il %)	T _{inv} (R\$)	AIT (m ²)	T _{inv} (R\$)
2	Verticalizados	2.234,95	82%	8.362,14	45.344,00	275.950,77
3	Comércios e indústrias	898,38	0,71	3.769,50	14.084,00	82.929,06
4	Misto e outros	5.511,97	96%	9.784,51	1.056,00	9.784,51
5	Lotes vagos	4.310,63	0	3.814,89	0	247.968,29
6	Institucional	4.092,48	48%	11.673,77	13.864,00	93.390,16
7	Estradas e calçadas com meio fio	-	-	-	-	-
Total					308.497,00	2.194.900,73

Em que T_{inv} = Custo para cada área de lote urbanizado.

O total arrecadado é de R\$ 2.194.900,73, o que fornece uma média de R\$ 2,18 para cada m² de lote, ocupado ou não. Para os lotes com algum tipo de ocupação, a taxa média de investimento é de R\$ 2,68 por m² de área do lote, enquanto os lotes vagos possuem uma taxa média de R\$ 0,88 por m² de área.

A maior cobrança de investimento (R\$ 88.085,95 por ano) refere-se a um lote do estrato 5 (lote vago), que possui a maior área da área de estudo (9,953 hectares), conforme se demonstra na Figura 4.9. Relembra-se que, por este método, os lotes vagos também são cobrados, contribuindo com R\$ 247.968,29, já que também são beneficiados pelos investimentos na gestão das águas pluviais urbanas. Por outro lado, visando incentivar a manutenção do lote permeável, o Poder Público poderia estipular uma cobrança mínima ou outras políticas de incentivo às áreas verdes. Por se tratar de decisão do responsável pelos serviços, esta pesquisa não se aprofundou nesta discussão.

Figura 4.8 – Valores dos custos de investimentos para cada lote.

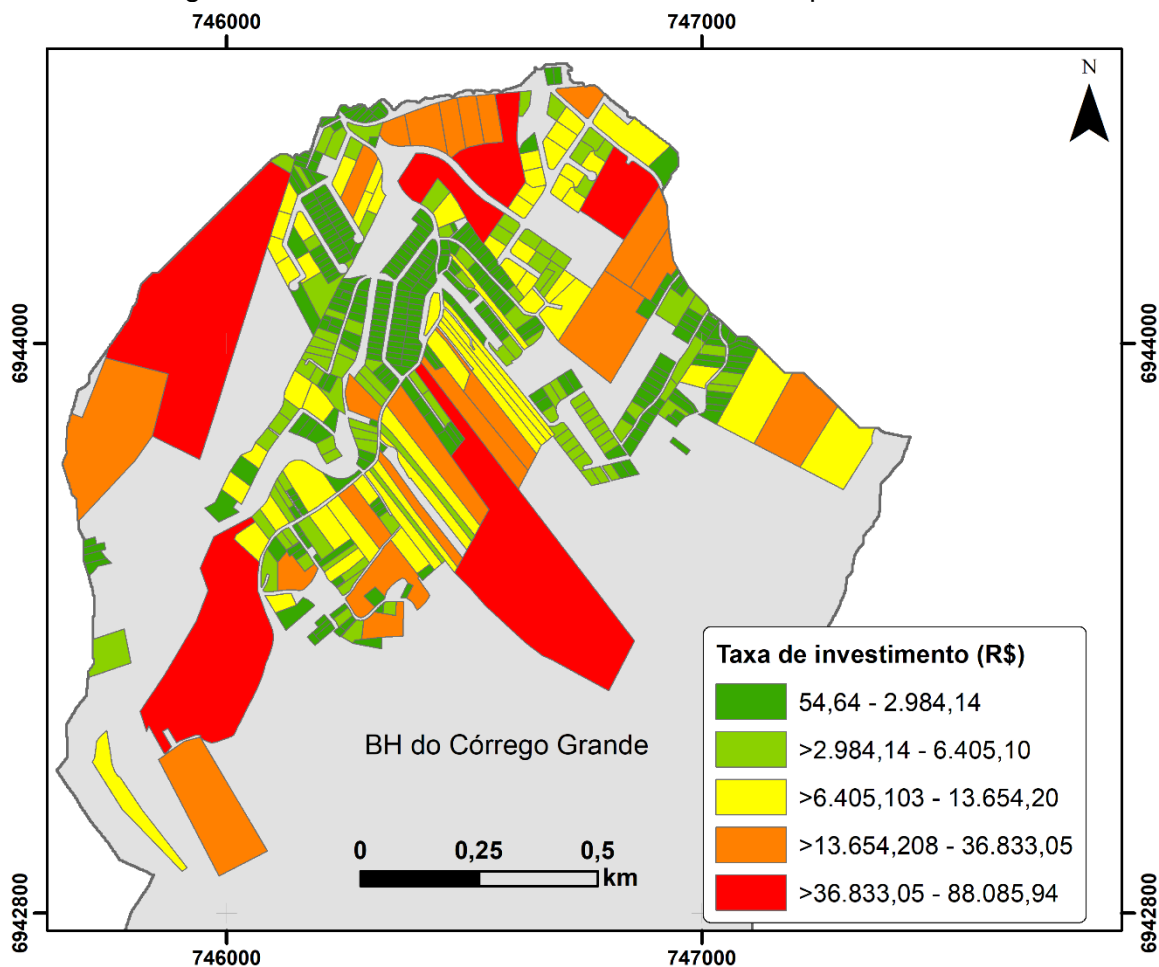


Figura 4.9 – Lote com a maior cobrança de investimento (em destaque)



Não foi cobrada uma taxa ao Estrato 7, não fazendo sentido a aplicação devido os parâmetros utilizados no método (área do lote e área impermeável do lote). Verifica-se que

o valor arrecadado por meio do rateio cobre 79% dos custos de investimento e considera-se que a diferença de arrecadação, ou seja, o déficit, deve ser investido pelo Poder Público, ou seja, a sua parte neste investimento. Neste caso, o estrato 7 deve investir R\$ 586.200,54.

Por fim, relembra-se que os custos de investimentos (descritos no item 3.2.2.2) não estão divididos em um cronograma de execução, tendo-se considerado viável a sua execução no período de um ano já que a maior parte das ações são não estruturais. No caso de um plano de execução maior, ou de inícios diferentes entre cada atividade, o custo deste componente pode variar, reduzindo assim a taxa mensal.

4.1.1.3 Custo total – Taxa de Drenagem

O valor total arrecadado com as taxas de drenagem resulta em R\$ 2.333.392,22 (dois milhões, trezentos e trinta e três mil, trezentos e noventa e dois reais e vinte e dois centavos), sendo R\$ 139.055,06 (6%) para O&M e R\$ 2.194.900,73 (94%) para investimentos da bacia hidrográfica. Conforme ressaltado ao longo deste trabalho, esses valores são totalmente dependentes da gestão municipal do manejo de águas pluviais urbanas.

Tabela 4.6 -Taxa total arrecadada

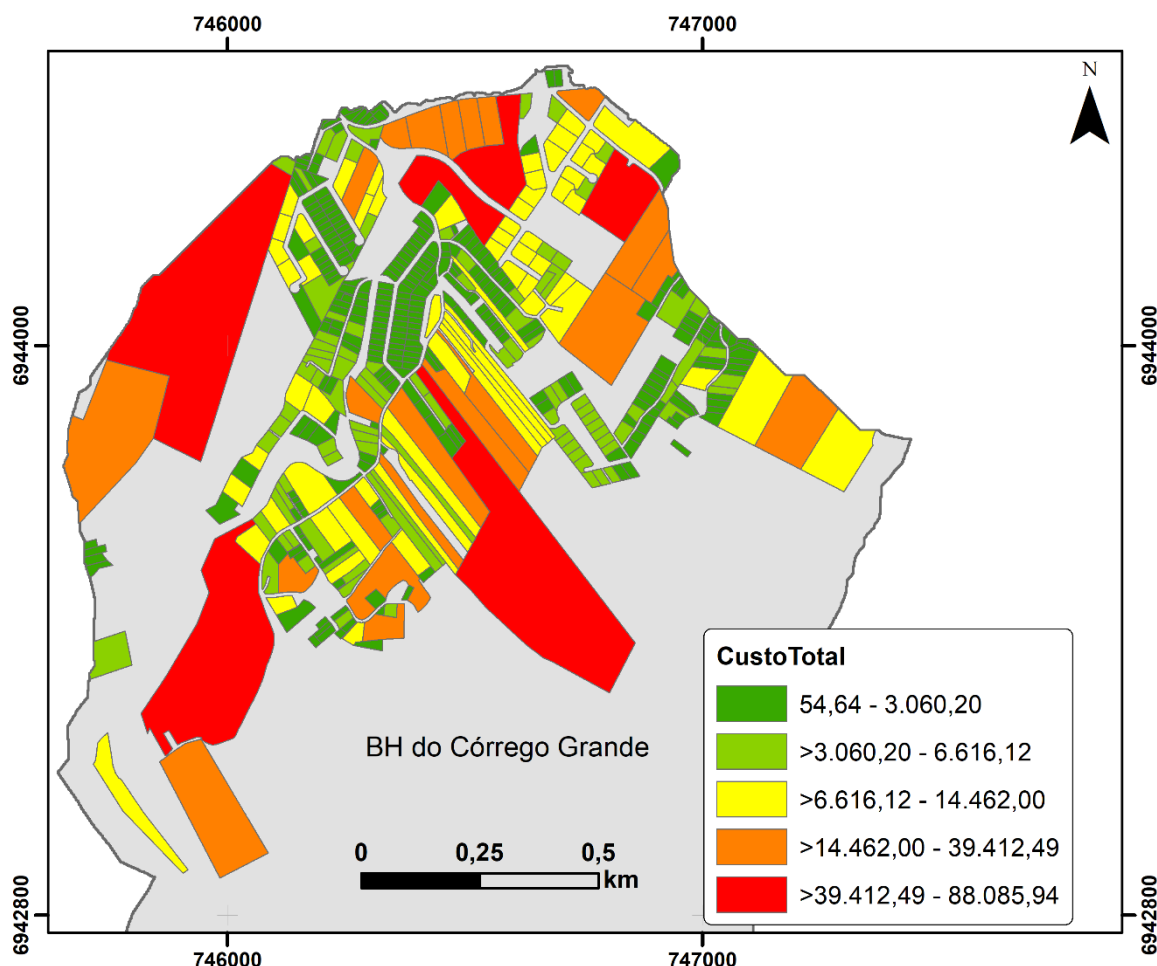
Estrato	Descrição	Nº lotes	∑ taxa anual O & M (R\$)	∑ taxa de investimentos (R\$)	Valor total arrecadado (R\$)	Valor médio mensal por lote (R\$)
1.1	Lotes Residenciais <125m ²	1	24,4	501,21	525,61	43,80
1.2	Lotes Residenciais 125-200m ²	9	609,49	7.068,76	7.678,25	71,09
1.3	Lotes Residenciais 201-300m ²	12	1.057,48	12.144,56	13.202,04	91,68
1.4	Lotes Residenciais 301-400m ²	98	13.312,51	168.661,76	181.974,27	154,74
1.5	Lotes Residenciais 401-600m ²	80	8.077,85	35.431,02	43.508,87	45,32
1.6	Lotes Residenciais 601-1200m ²	86	12.131,39	294.652,74	306.784,13	297,27
1.7	Lotes Residenciais >1200m ²	74	14.089,58	966.417,87	980.507,45	1.104,18
2	Verticalizados	33	34.993,76	275.950,77	310.944,53	785,21
3	Comércios e indústrias	22	7.320,25	82.929,06	90.249,31	341,85
4	Misto e outros	1	170,15	9.784,51	9.954,66	829,56
5	Lotes vagos	65	-	247.968,29	247.968,29	317,91
6	Institucional	8	1.040,25	93.390,16	94.430,41	983,65
7	Estradas e calçadas com meio fio	-	45.664,40	-	45.664,40	-
Total		489	139.055,06	2.194.900,73	2.333.392,22	397,65

Na análise mensal dos custos, observa-se como o componente de investimento possui um peso considerável para uma taxa. Por isso deve haver planejamento estratégico para a implantação do rateio aos beneficiados pelos investimentos na bacia hidrográfica. Os valores mensais variaram de R\$ 43,80 (estrato 1.1) a R\$ 1.104,18 (estrato 1.7). No

caso do custo de O&M, os valores aparentam ser aquém de um programa efetivo de MAPLU, mas eficientes para iniciar a individualização financeira do setor.

A Figura 4.10 apresenta os custos totais anuais (Σ custo de O&M e Σ custo de investimento) para cada lote. É possível visualizar que os lotes menores possuem as menores cobranças, aumentando conforme aumenta o seu tamanho (o que se deve ao componente de investimento, que considera o m² da área do lote).

Figura 4.10 – Taxas anuais para cada lote.



Relembra-se que não necessariamente haverá um aumento de impostos/cobranças à população. A drenagem urbana é financiada, ainda que de maneira genérica, pelo IPTU. Assim, a implementação da cobrança significa que o custo da drenagem é individualizado para cada contribuinte por meio de uma taxa, o que pode desonerar a cobrança realizada por meio do IPTU.

Neste estudo não se propôs algum tipo de redução ou isenção da taxa com base em características socioeconômicas, tal como o método de Gomes, Baptista e Nascimento (2008) sugere. Nesse método, os autores sugerem um fator redutor com base no valor máximo anual do rendimento familiar, sendo o déficit acrescentado às taxas das edificações mais favorecidas. Contudo, as prefeituras possuem cadastros socioeconômicos e as

concessionárias possuem cadastros de tarifa social de água/esgoto. Este mesmo cadastro pode ser utilizado para aplicar a tarifa social de manejo de águas pluviais urbanas e redistribuir os custos conforme as políticas públicas. A Lei 11.445/2007 (Lei do Saneamento) e seu complemento Lei nº 14.026/2020 (Marco Legal do Saneamento) declaram que os subsídios destinados ao atendimento de usuários determinados de baixa renda serão dependendo da origem dos recursos:

II - tarifários, quando integrarem a estrutura tarifária, ou fiscais, quando decorrerem da alocação de recursos orçamentários, inclusive por meio de subvenções; e

III - internos a cada titular ou entre titulares, nas hipóteses de prestação regionalizada.

No capítulo 4.3 (Capacidade de pagamento dos usuários), este assunto é retomado.

4.2. Comparação com outros métodos

4.2.1. Equações empíricas

Para comparação com equações empíricas, os seguintes parâmetros foram utilizados:

Tabela 4.7 - Resultados deste estudo que serviram de base para comparação com outros métodos

AIDC (m ²)	172.439,77
AIT de áreas conectadas (m ²)	365.124,63
Custos de O&M (R\$/m ²)	0,81
Custo Total de O&M	139.055,06

O método que mais se aproximou da AIDC estimada neste estudo foi o de Laenen (1983), com uma diferença de apenas 10%. O custo de O&M por esse método foi de R\$ 0,89/m², enquanto o método desenvolvido nesta pesquisa equivale a R\$ 0,81/m². Para uma casa com uma URC (172,46m²), por exemplo, a diferença é de apenas R\$ 13 por ano (R\$ 1,09 na conta mensal de cobrança). Sutherland (2000) já havia observado que este método funciona bem para áreas menos urbanizadas, com AIT entre 10% e 50%. Apesar da similaridade, as práticas de drenagem da área de estudo são tão diversas, sem uma padronização nas instalações hidráulicas pluviais, que nenhuma relação direta pode ser ainda estabelecida.

Tabela 4.8 - Resultados para AIDC e Custos/m² por meio de equações empíricas

Métodos	Equação Empírica	AIDC estimada	Diferença com a AIDC calculada		Custos de O&M ¹
		(m ²)	m ²	%	R\$/m ²
Laenen (1983)	$AIDC = 3,6 + 0,43 AIT$	157.007,19	-15.432,58	-10%	0,89
Alley e Veenhuis (1983)	$AIDC = 0,15 \times AIT^{1,41}$	10.450.408,14	10.277.968,37	98%	0,01
Wenger <i>et al.</i> (2008)	$AIDC = (1,046 \times AIT) - 6,23\%$	381.920,30	209.480,53	55%	0,36
Mroczek (2018)	$AIDC = 0,6539 \times AIT^{1,0116}$	276.998,10	104.558,33	38%	0,50
Sultana <i>et al.</i> (2020)	$AIDC = 0,842 \times AIT - 2,1594$	307.432,78	134.993,01	44%	0,45

Nota: ¹ Em que Custos de O&M equivale ao Custo total de O&M dividido pela AIDC estimada.

4.2.2. Equações de Sutherland (2000)

A sobreposição de dados (lotes, uso e ocupação do solo, rede de drenagem, sub-bacias, classificação da densidade de edificações) embasaram o tipo de conectividade a ser considerada na equação de Sutherland. Estas análises são mostradas nas figuras seguintes.

Figura 4.11 - Conectividade da sub-bacia 1

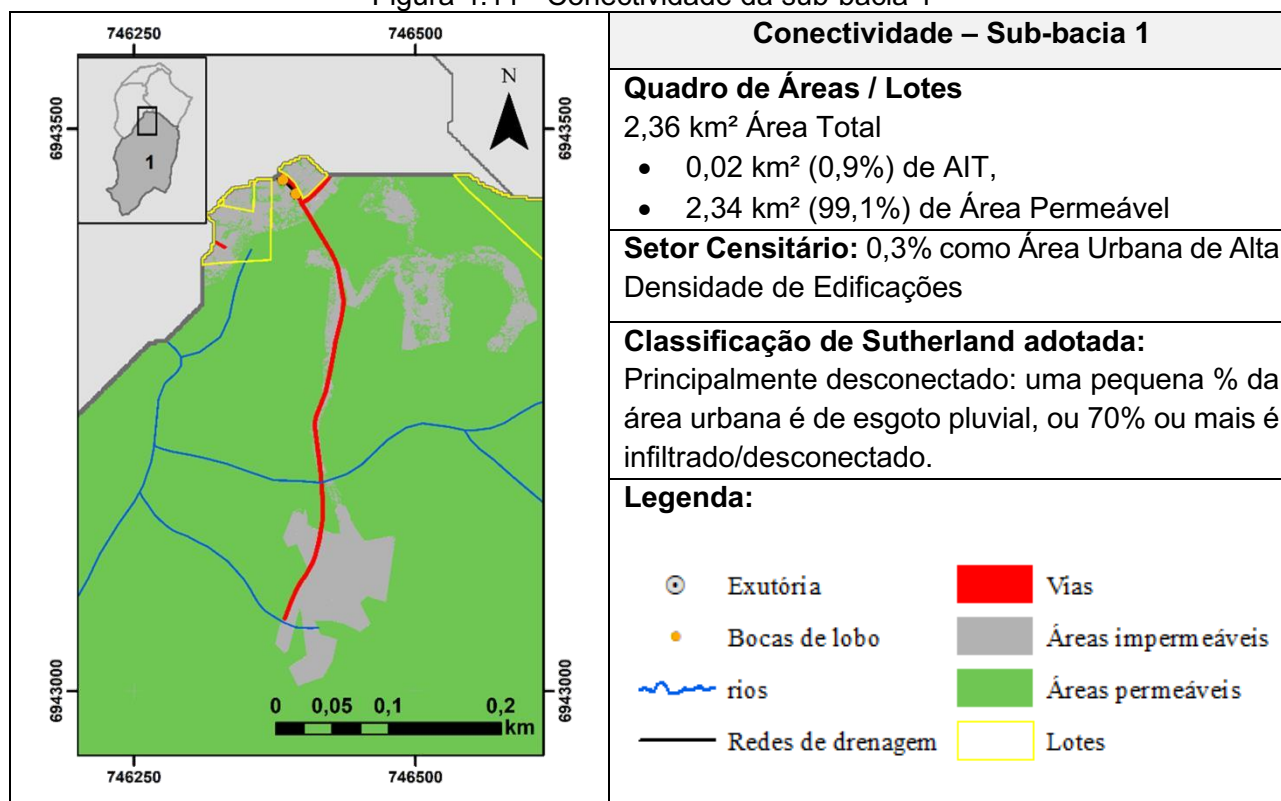


Figura 4.12 - Conectividade da sub-bacia 2

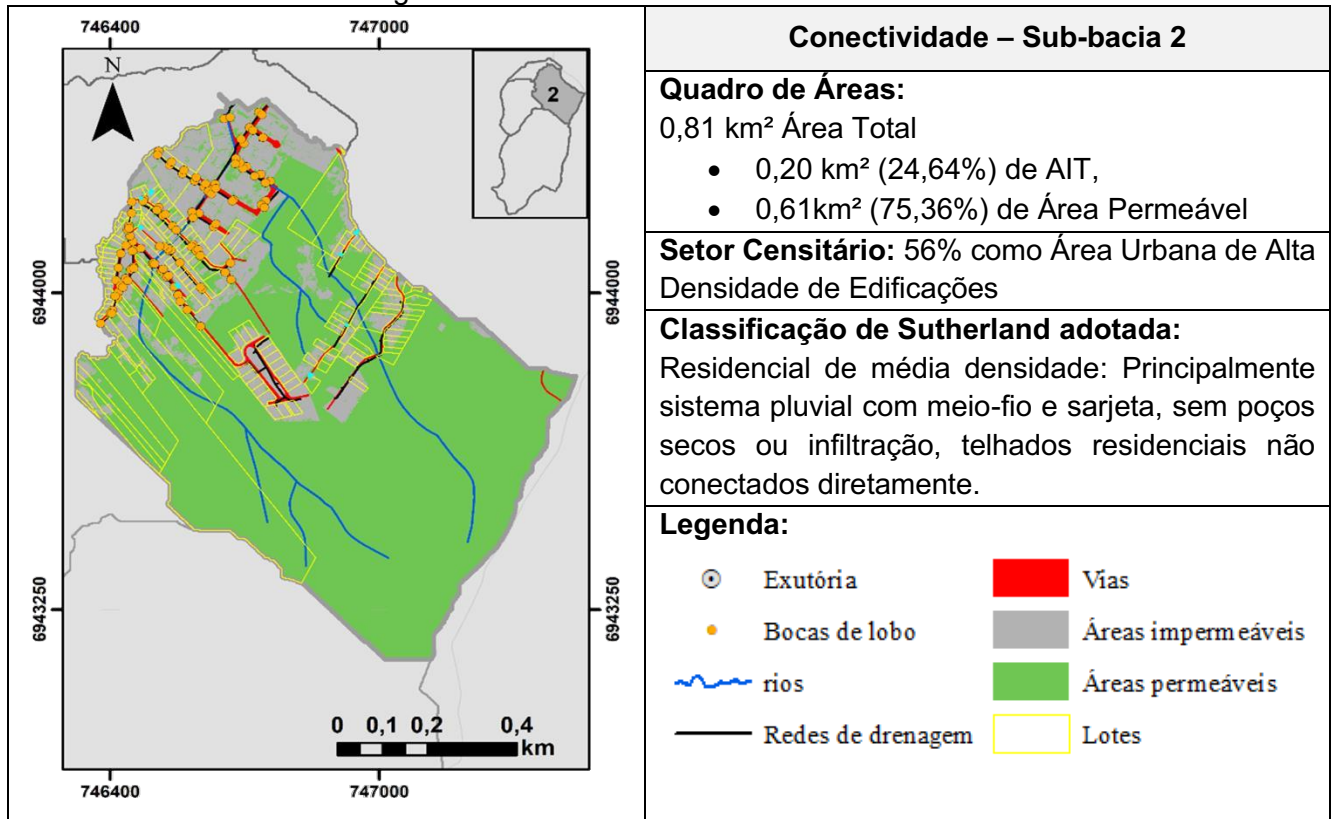


Figura 4.13 - Conectividade da sub-bacia 3

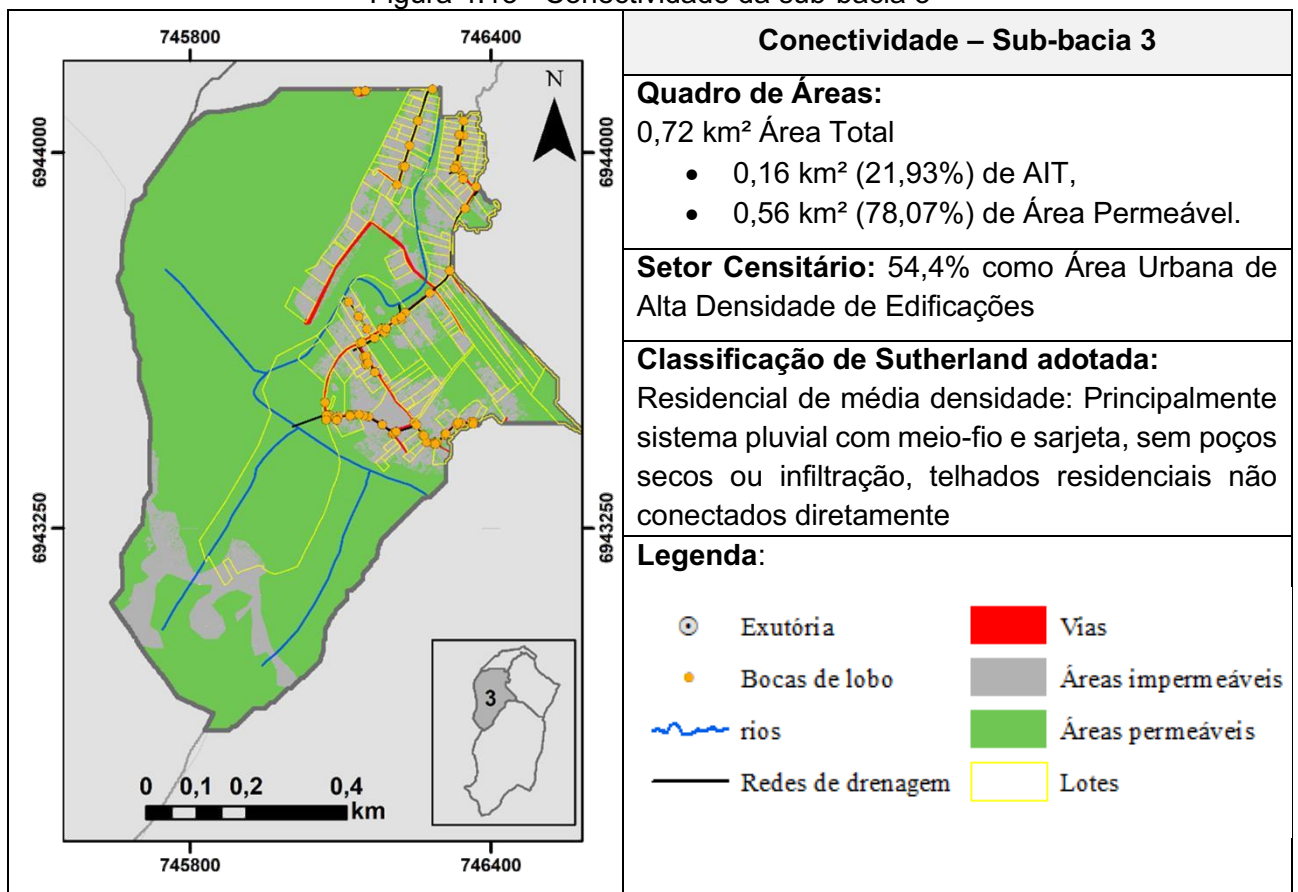
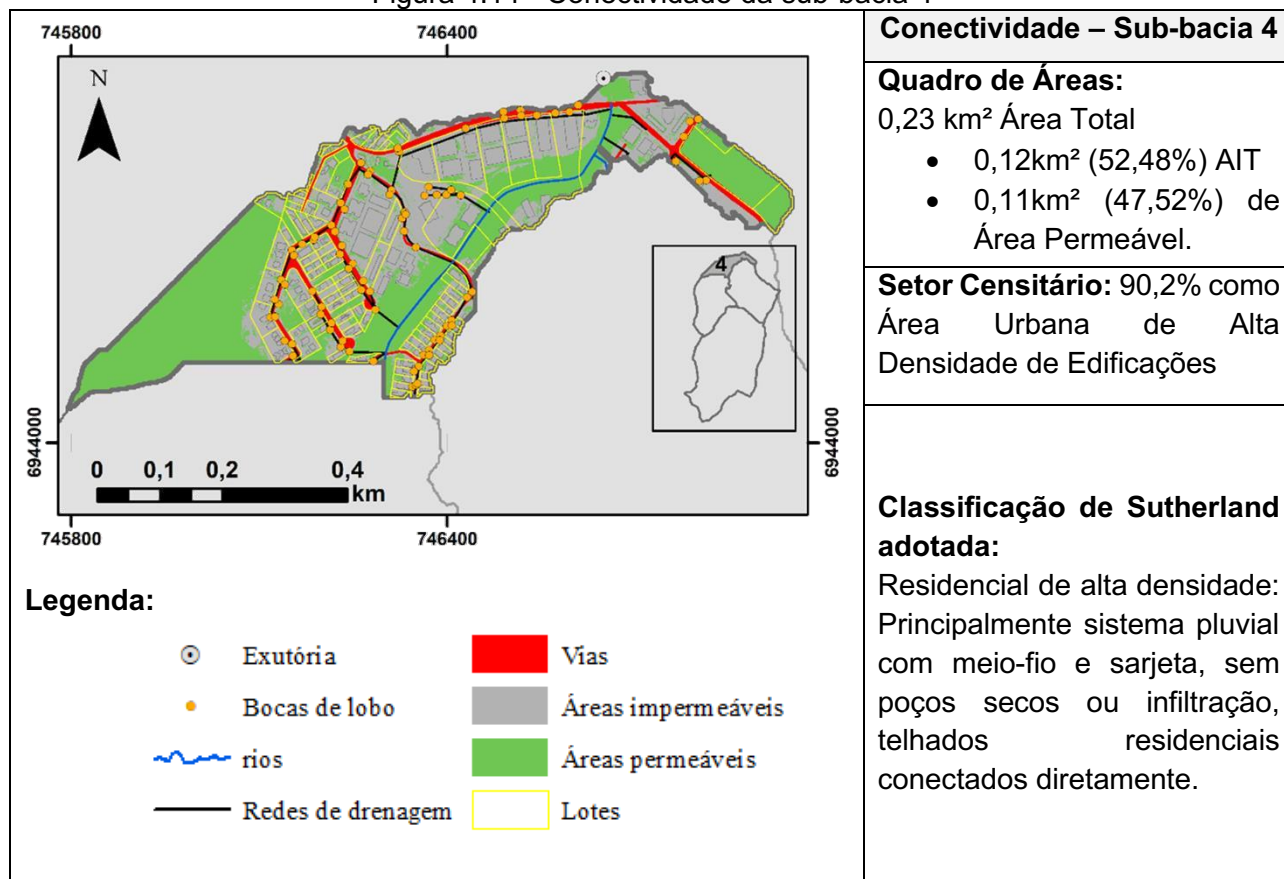


Figura 4.14 - Conectividade da sub-bacia 4



A sub-bacia 1 não obedece os critérios para aplicação das equações ($AIT(\%) \geq 1$), enquanto a sub-bacia 2 e 3 foram consideradas de média densidade, já que pouco mais da metade dos setores são classificadas como Área Urbana de Alta Densidade de Edificações e possuem rede de drenagem em toda a extensão urbana, além de possuir um misto de residências conectadas ou não à rede pública. A sub-bacia 4 foi considerada Residencial de alta densidade, haja vista a alta densidade de impermeabilidade associada à existência de sistema de drenagem em todas as vias, além da quantidade de estratos, principalmente prédios, com alta % de conectividade. Desta forma, a estimativa da AIDC total das sub-bacias é apresentada na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Estimativa da AIDC a partir do método de Sutherland

Sub-bacia	Área (m ²)	Equação de Sutherland	∑AIT lotes		AIDC lotes	
			(m ²)	% com relação à área da sub-bacia	%	m ²
1	-	Não obedece aos critérios para aplicação das equações ($AIT(\%) \geq 1$)	21.335,34	0,9%	-	-
2	814.644	$AIDC = 0,1 \times AIT^{1,5}$	200.728,78	24,6%	12,5	25.091,0979
3	722.328	$AIDC = 0,1 \times AIT^{1,5}$	158.429,19	21,9%	10,3	16.348,173
4	231.780	$AIDC = 0,4 \times AIT^{1,2}$	121.639,48	52,5%	45,8	56.406,05
				Total	-	97.845,32

Por este método, a relação AIDC/AIT equivale a 20,4%, enquanto a do método desenvolvido neste trabalho equivale a 47%, uma diferença considerável. O custo de O&M por esse método seria de R\$ 1,42/m², valor 75% superior ao desta pesquisa (R\$ 0,81/m²). O custo/m² estimado pelo método de Sutherland é mais próximo das médias praticadas em nível internacional (Tabela 4.3).

Conforme apresentado na revisão bibliográfica, uma das críticas a este método é que a seleção de uma equação de Sutherland é apenas com base em suposições, gerando uma grande incerteza em seus resultados. Os resultados dependem das escolhas feitas pelo profissional que utilizará o método. Caso as equações da Tabela 4.9 tivessem sido escolhidas de modo equivocado e o correto seria considerar alta conectividade para todas as sub-bacias, exceto a 1, a AIDC totaliza 120.488,22m², gerando um custo de R\$1,15/m², valor mais próximos aos gerados por este trabalho. Contudo, a vistoria de campo indicou que a área de estudo não é altamente conectada, demonstrando realmente a disparidade entre ambos os métodos. Desta forma, esta avaliação preliminar demonstra que os “parâmetros universais” das equações de Sutherland não são aptos para esta área de estudo.

4.2.3. Metodologias Acadêmicas Nacionais

A aplicação das equações e parâmetros de entrada (item 3.2.3.3) forneceu os resultados da Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Valor total arrecado para O&M

Estrato	Descrição	Nº lotes	Método 1 (R\$)	Método 2 (R\$)	Método 3 (R\$)	Método 4 (R\$)	Área de estudo (R\$)
1	Lotes Residenciais	360	22.793,74	35.675,00	89.173,95	105.542,69	49.866,25
2	Verticalizados	33	2.845,32	6.056,75	17.268,93	20.438,81	34.993,76
3	Comércios e indústrias	22	764,27	1.816,36	5.363,79	6.348,36	7.320,25
4	Misto e outros	1	210,49	219,37	402,17	475,99	170,15
5	Lotes vagos	65	10.650,57	5.783,42	0,00	0,00	0,00
6	Institucional	8	1.257,29	2.062,18	5.280,00	6.249,20	1.040,25
7	Estradas e calçadas com meio fio	-	-	-	-	-	45.664,40
Total		489	38.521,68	51.613,08	117.488,85	139.055,06	139.055,06
Déficit		-	-100.533,38	-87.441,98	-21.566,21	0,00	0,00

Observa-se que apenas o método 4 e o método desenvolvido neste estudo cobrem totalmente os custos com O&M (ambos utilizam o método ERU). Contudo, o método desenvolvido nesta pesquisa considera o poder público em um estrato separado (estrato 7), permitindo a individualização da cobrança. Além disso, tanto o método 4 como o método 3 considera apenas as áreas impermeáveis, com a suposição que toda precipitação

converte-se em escoamento (o que, conforme apresentado extensivamente na revisão, não acontece). Isso onera os custos individuais para os lotes residenciais, tornando o método “mais injusto”.

Os métodos 1 e 2 consideram também as parcelas permeáveis, o que permite uma comparação mais direta com o método AIDC desta pesquisa. Contudo, as cobranças implantadas por estes métodos possuem maior correlação com a área do lote (Figura 4.15). Os métodos 1 e 2 apresentam um déficit considerável para cobrir totalmente os custos, arrecadando apenas 28% e 37% dos custos necessários à O&M, o que pode desestimular a implantação da cobrança por parte do responsável pelos serviços.

As taxas de O&M pelos métodos 3 e 4 possuem total correlação com a AIT, já que a própria metodologia tem base a AIT (Figura 4.16), não possuindo correlação com a área do lote (Figura 4.15). Também se observa que os resultados destes dois métodos são proporcionais, já que o método 4 desconsidera um dos parâmetros (a_i vias) do método 3. Contudo, o método 3 possui um déficit de 16% com relação aos custos totais.

Desta forma, o método AIDC desenvolvido neste estudo mostra-se mais vantajoso, considerando o impacto das áreas realmente conectadas ao sistema público de drenagem, além da recuperação total dos custos, inclusive com cobrança ao Poder Público.

Figura 4.15 - Taxa de drenagem x Área do lote para cada método

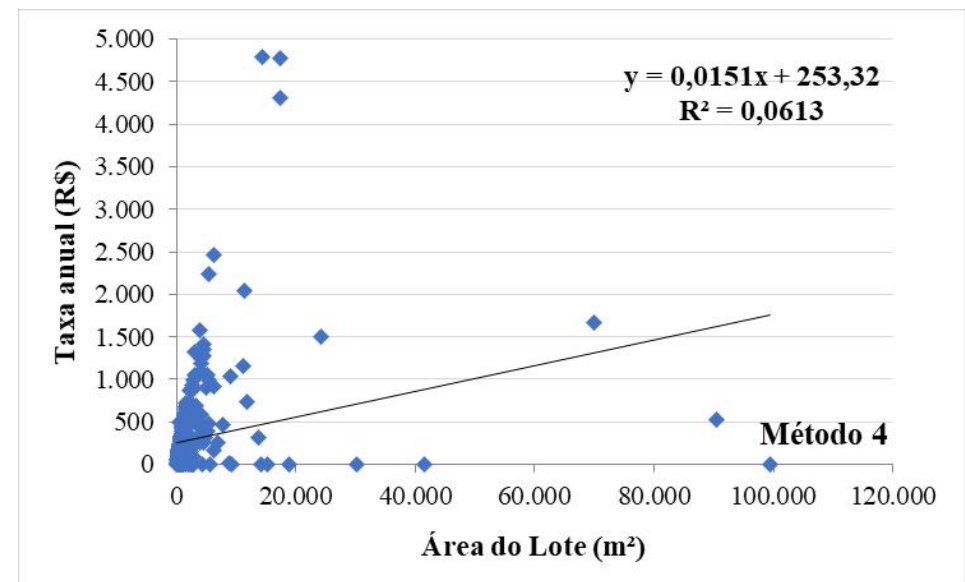
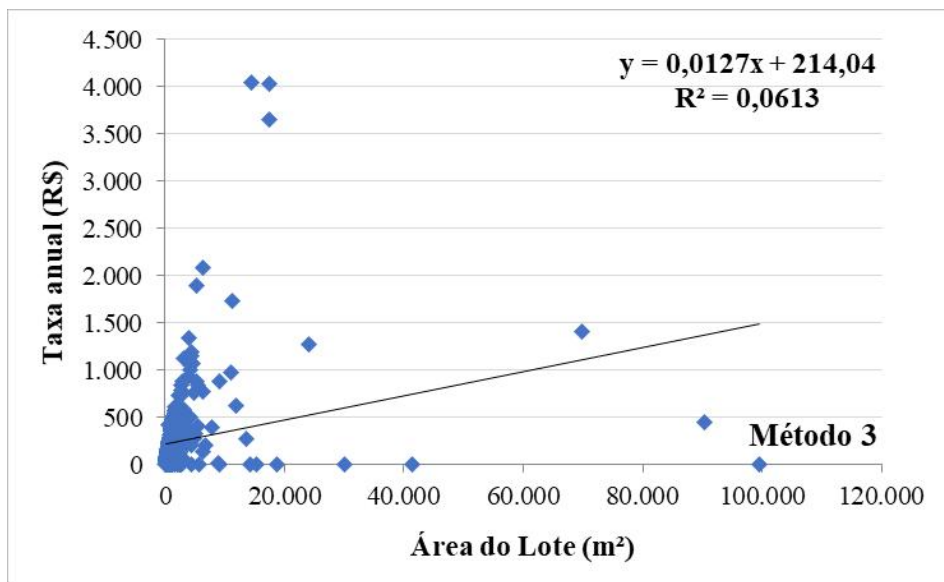
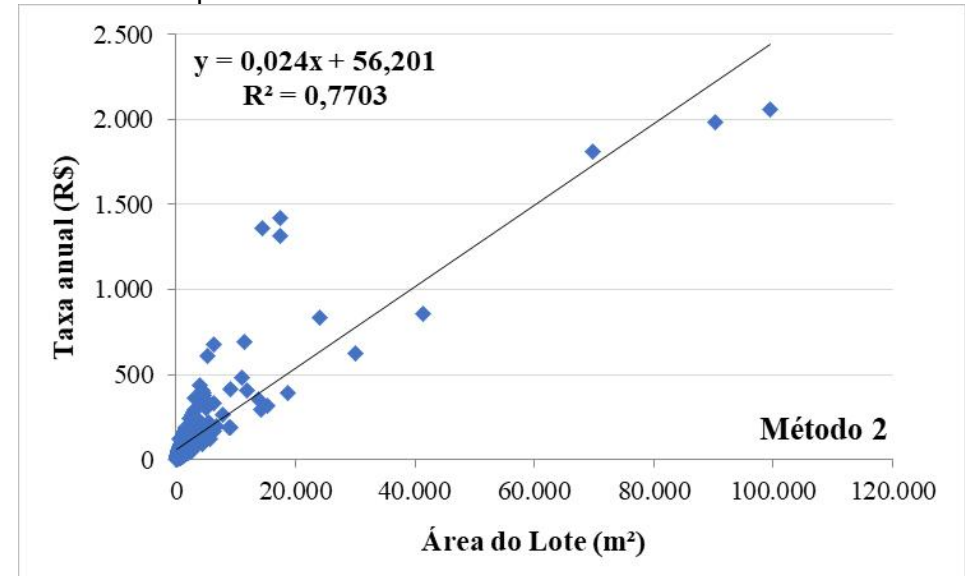
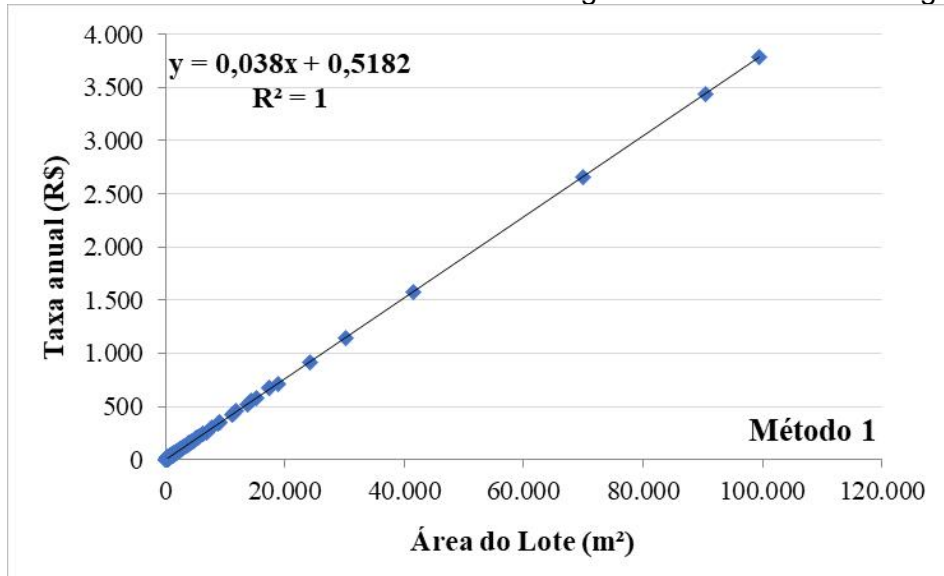
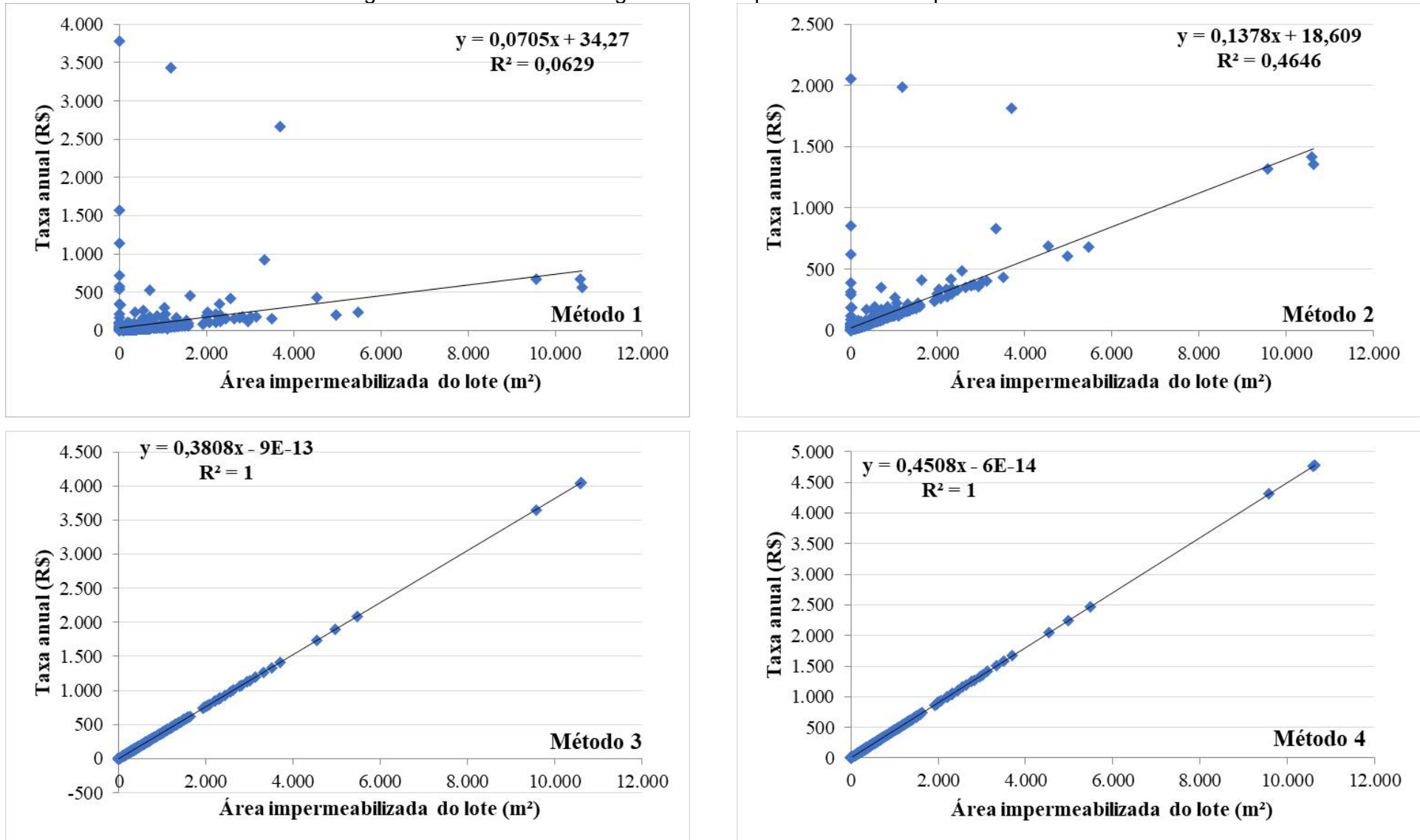


Figura 4.16 - Taxa de drenagem x Área impermeável do lote para cada método



4.3. Capacidade de pagamento dos usuários

As taxas apresentadas na Figura 4.5 (Taxas de O&M) e Figura 4.8 (Taxas de investimento) foram transformadas em mensais e foram agrupadas por bloco censitário, gerando uma taxa média mensal para cada setor (Tabela 4.11). Já é possível observar os altos valores mensais de investimento para todos os setores, valores bem superiores aos de O & M.

Esta base de dados foi cruzada com os rendimentos médios mensais (Figura 3.10), o que permite quantificar a capacidade de pagamento das taxas (Tabela 4.12).

Tabela 4.11 - Taxas médias mensais por setor censitário

Setor	Taxas médias mensais (R\$)		
	O&M	Investimento	Total
1	10,69	454,50	465,20
2	4,66	2.200,86	2.205,52
3	13,68	400,36	414,03
4	61,98	783,14	845,12
5	15,30	387,58	402,87
6	4,65	2.626,12	2.630,77
7	52,32	808,01	860,33

Tabela 4.12 – Impacto das taxas médias mensais por setor censitário

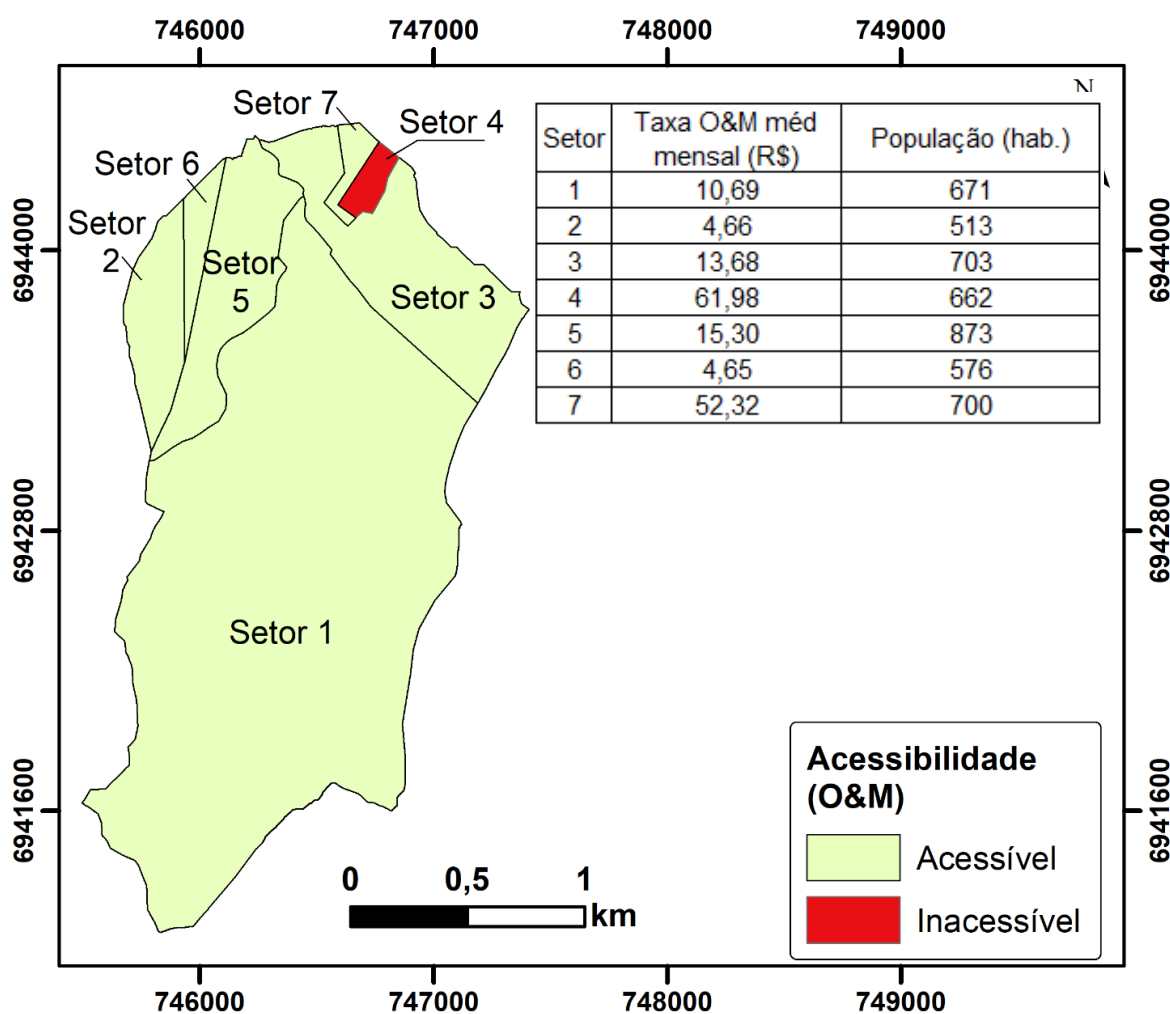
Setor	Renda média mensal (R\$)	Impacto das Taxas médias mensais (R\$)		
		O&M	Investimento	Total
1	5.452,58	0,20%	8,34%	9%
2	6.626,42	0,07%	33,21%	33%
3	6.767,02	0,20%	5,92%	6%
4	7.789,15	0,80%	10,05%	11%
5	8.392,34	0,18%	4,62%	5%
6	9.238,46	0,05%	28,43%	28%
7	10.151,64	0,52%	7,96%	8%

Quando se analisa apenas a parcela de O&M (Figura 4.17), apenas o setor 4 possui uma taxa inacessível, ultrapassando em 0,05% o limiar de acessibilidade (0,75%). Já na parcela de investimentos, todos os valores foram considerados inacessíveis, tornando a taxa total também inacessível. Para que as taxas de investimento sejam consideradas acessíveis, ou seja, comprometam até 0,75% da renda média mensal dos domicílios, as ações do Plano de drenagem devem ser divididas em anos maiores ou cobradas em momentos distintos. Isso é importante devido às preocupações por parte dos gestores

públicos em implantar uma nova cobrança ao saneamento. Medidas não populares, tal como esta nova cobrança, tendem a desestimular a sua aplicação. Por isso faz-se importante o planeamento do cronograma das ações e da implantação taxa. Além disso, o Poder público poderia reduzir o custo total de investimentos a ser rateado com a população, considerando o aporte de recursos próprios, não repassando os custos ao contribuinte.

Considera-se que a parcela anual de O&M embasada na AIDC é completamente factível e acessível, enquanto a parcela de investimento deve ser planejada quanto a sua implantação para tornar-se igualmente acessível.

Figura 4.17 – Impacto das taxas de O&M



5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Na presente pesquisa foi desenvolvida uma taxa de manejo de águas pluviais urbanas para financiar os serviços públicos em bacias hidrográficas. A cobrança possui dois componentes, o somatório de uma taxa de cobrança de operação e manutenção (O&M) dos sistemas e de uma taxa relacionada aos investimentos em ações de Plano de Drenagem na bacia. Para cobrança da taxa de O&M, inseriu-se o parâmetro de Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas dentro do método de Unidade Residencial Equivalente (ERU), parâmetro ainda pouco estudado na ciência hidráulico-hidrológica. O seu uso reduz as incertezas quando comparada à utilização da Área Impermeável Total (AIT), tornando o método mais justo quando comparado aos métodos existentes. Já o segundo componente da taxa, a parcela de investimentos de obras de plano de drenagem, ainda é pouco debatido e utilizado, tendo-se utilizado um método já existente (o de Tucci, 2002).

A taxa foi simulada para a sub-bacia hidrográfica do Córrego Grande, em Florianópolis/SC e várias foram as conclusões e *insights* gerados a partir dos resultados, principalmente com relação à estimativa da AIDC- que ocupa uma lacuna considerável em publicações e pesquisas hidrológicas. Observou-se que as AIDCs residenciais diminuiriam à medida que o tamanho do lote aumentava, ou seja, quanto menor a área do lote maior são as áreas impermeáveis conectadas. Essas observações também foram reportadas por autores tanto de outros países como do Brasil. Além disso, os estudos geralmente citam que a maior contribuição de AIDC provém de estradas e calçadas com meio fio, tal como se observou neste estudo (32,8% da AIDC total). A média global da relação AIDC/AIT para a área de estudo correspondeu a 51% por meio de técnicas SIG e 47% após os ajustes de campo, ou seja, o método SIG tendeu a superestimar a AIDC em apenas 4%. Isto demonstra que a junção de técnicas SIG pode ser uma boa alternativa às vistorias *in loco*, reduzindo-se tempo, recursos humanos e financeiros, fatores que são considerados entraves ao uso da AIDC. Contudo, enquanto não há aumento das pesquisas sobre AIDC, ainda mais no Brasil, as visitas de campo fazem-se fundamentais para uso do método proposto.

Alguns padrões foram observados na área de estudo, como o lançamento de águas pluviais em partes permeáveis mais baixas dos lotes ou em outras ruas mais baixas que cercam o lote, no caso de casas em cotas negativas da rua. Além disso, em geral, as casas em áreas impermeáveis isoladas drenavam para áreas permeáveis. Como padrão,

também se observou que as casas mais vulneráveis drenavam viretamente para a via pública, sem uma estrutura de transporte de drenagem. Esses relatos de campo são importantes e auxiliam outros pesquisados, mas não são descritos na maioria dos estudos.

Com relação aos custos, a parcela de operação e manutenção foi considerado acessível (com impacto inferior à 0,75% da renda mensal domiciliar), sendo cobrado R\$ 0,81 por m², valor inferior aos praticados em nível internacional. Um lote com uma unidade residencial conectada (172,46m²) deve pagar R\$ 139,07 por ano, ou ainda, R\$ 11,59 por mês. Para o contribuinte é um baixo valor, para a concessionária é um meio de estruturar o serviço, contribuindo para a autonomia financeira do setor. Como o parâmetro considera a AIDC, o método é considerado justo, cobrado com base no escoamento que é de fato enviado para o sistema público. Para baixar ou zerar a taxa, o usuário pode controlar total ou parcialmente o seu escoamento no lote por meio dos sistemas de drenagem sustentável, sendo assim responsável pelo valor da sua cobrança.

Por outro lado, a parcela de investimentos do método utilizado não oferta a opção de zerar o valor da cobrança. É aplicada para todos os lotes, inclusive os vagos, que também se beneficiam das melhorias na infraestrutura disponível, redução dos alagamentos, redução da poluição da bacia hidrográfica e, conseqüentemente, da própria valorização dos lotes. Esta consideração deu-se em função das principais críticas publicadas sobre o tema, no qual lotes vagos, estratos públicos e templos, por exemplo, não possuíam uma cobrança. Este método utilizou-se das críticas e 'corrigiu-as', inserindo todos estes estratos como contribuintes. Contudo, o período de execução (1 ano) do plano de drenagem utilizado neste trabalho tornou as taxas de investimento inacessíveis, o que demonstra que deve haver um planejamento do cronograma das ações para que não impacte financeiramente o contribuinte. Isto certamente traria barreiras políticas. Apesar da taxa apresentar dois componentes, nada impede que os gestores utilizem apenas um deles, conforme suas realidades locais.

A comparação com relações empíricas reforçaram que as mesmas são específicas para cada região e estimam o escoamento de maneira imprecisa quando aplicadas em outras áreas para as quais foram desenvolvidas. Há uma grande variação na porcentagem de conectividade entre os lotes, inclusive de um mesmo estrato, e a AIDC não pode ser prevista com precisão a partir de relações empíricas com a AIT. Isto denota que as avaliações locais, sejam através de SIG ou em campo, ou ainda uma combinação das duas técnicas, deve ser minimamente realizada. Este estudo poderia ser considerado inacessível em termos financeiros ou de recursos humanos se a área de análise fosse uma grande

cidade, mas a aplicação em nível de bacia hidrográfica (sub-bacia) é exequível e possível, utilizando-se assim a unidade territorial utilizada para gestão das águas urbanas.

Dentre as limitações do método, cita-se:

- Não contabiliza o escoamento à rede pública a partir de áreas permeáveis;
- Necessidade de cadastro em SIG dos lotes da área de estudo;
- Necessidade do cadastro do sistema de drenagem (localização da infraestrutura pública) ou a sua elaboração à área de estudo;
- Cobertura do Google Earth e Google Street View para a área de estudo, no caso de aplicação da parte metodológica em SIG.

Por fim, a adoção de uma taxa está se tornando mais popular e tem se tornado um método importante para a obtenção de receita em vários países em todo o mundo. O financiamento das águas pluviais precisa parar de ser visto como um tabu, mas um instrumento benéfico para todos. As publicações sobre o tema têm aumentado, sendo que há pouco tempo estavam associadas à literatura cinzenta e a própria revisão sobre financiamento foi um grande desafio desta pesquisa, sendo este trabalho um dos pioneiros no tema. Para que mais estudos continuem sendo desenvolvidos, bem como esta pesquisa possa ser aprimorada, recomenda-se:

- Estudar detalhadamente a AIDC em edificações verticais – de modo a caracterizar melhor o escoamento deste estrado;
- Estudar métodos de investimentos de forma mais aprofundada/detalhada, permitindo a seleção do método embasada em uma maior discussão técnico-científica;
- Estudar se o tamanho do lote (principalmente para lotes menores) e a inclinação/elevação do terreno têm influência na (des)conexão. Isso pode auxiliar na compreensão de quando a vistoria em campo pode ser negligenciada ou realizada em uma amostra menor de lotes, ou, ainda, se há casos em que os erros do método sig devem ser obrigatoriamente verificados através de idas a campo;
- Estudar se locais mais vulneráveis tendem a ter áreas mais desconectadas (ex: em aclave, escoamento vai para rua, em declive, escoamento vai para trás do terreno);
- Estudar como estruturar uma cobrança mínima para lotes vagos;
- Estudar como estimar custos de investimentos.

REFERÊNCIAS

- ABEBE, Yekenalem; ADEY, Bryan T.; TESFAMARIAM, Solomon. Sustainable funding strategies for stormwater infrastructure management: A system dynamics model. **Sustainable Cities and Society**, v. 64, p. 102485, 2021.
- AECOM 2013. Stormwater Financing Study: City of Mississauga. Aecom, Kitchener, ON, Canada.
- ALLEY, William M.; VEENHUIS, Jack E. Effective impervious area in urban runoff modeling. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 109, n. 2, p. 313-319, 1983.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARR (Australian Rainfall & Runoff) 2015. A Guide to Flood Estimation. <http://book.arr.org.au.s3-website-ap-southeast-2.amazonaws.com> (accessed 20 February 2018).
- ARRIGHI, Chiara; CAMPO, Lorenzo. Effects of digital terrain model uncertainties on high-resolution urban flood damage assessment. **Journal of Flood Risk Management**, v. 12, n. S2, p. e12530, 2019.
- ATALIBA, Geraldo. Considerações em torno da teoria jurídica da taxa. *Revista de Direito Público*, v. 9, p. 43-54, 1969.
- Australia 2015. Stormwater Management in Australia, Report Commonwealth of Australia, Australian Environment and Communications References Committee, Canberra, Australia.
- Ball J, Babister M, Nathan R, Weeks W, Weinmann E, Retallick M, Testoni I, (Editors) Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation, BOOK 5 - FLOOD HYDROGRAPH ESTIMATION. Commonwealth of Australia (Geoscience Australia), 2019.
- BALTOKOSKI, Valmir et al. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiro-Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 253-261, 2010.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002.
- BARBASSA, Ademir Paceli; DE CAMPOS, João Batista Neto. Comportamento Hidrológico de Áreas Urbanas Impermeabilizadas Diretamente Conectadas e Total. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, Porto Alegre, v. 15, p. 69-79, 2010.
- BELL, Colin D. et al. Hydrologic response to stormwater control measures in urban watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 1488-1500, 2016.
- Benson, R. B. 2002. User fee financing of stormwater management today who, what, why & how? Proceedings of the Water Environment Federation 4, 180–187.
- Bertram, N. P., Waldhoff, A., Bischoff, G., Ziegler, J., Meinzinger, F. & Skambraks, A. K. 2017. Synergistic benefits between stormwater management measures and a new pricing system for Stormwater in the City of Hamburg. **Water Science and Technology** 76 (6), 1523–1534.
- Black & Veatch. Stormwater Utility Survey Report; Black & Veatch: Overland Park, KS, USA, 2021; Disponível em: < <https://www.bv.com/resources/2021-stormwater-survey-report>>. Acessado em 20.Fev. 2022.
- BOCHIS, Celina; PITT, Robert E. Land use and runoff uncertainty. In: World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers. 2009. p. 1-11.
- BOGUNIEWICZ-ZABŁOCKA, Joanna; CAPODAGLIO, Andrea G. Analysis of alternatives for sustainable stormwater management in small developments of Polish urban catchments. *Sustainability*, v. 12, n. 23, p. 10189, 2020.

- BOOTH, Derek B.; JACKSON, C. Rhett. Urbanization of aquatic systems: Degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 33, n. 5, p. 1077-1090, 1997.
- BOYD, M. J.; BUFILL, M. C.; KNEE, R. M. Pervious and impervious runoff in urban catchments. *Hydrological Sciences Journal*, v. 38, n. 6, p. 463-478, 1993.
- BOYD, M. J.; BUFILL, M. C.; KNEE, R. M. Predicting pervious and impervious storm runoff from urban drainage basins. *Hydrological Sciences Journal*, v. 39, n. 4, p. 321-332, 1994.
- BRABEC, Elizabeth; SCHULTE, Stacey; RICHARDS, Paul L. Impervious surfaces and water quality: a review of current literature and its implications for watershed planning. *Journal of planning literature*, v. 16, n. 4, p. 499-514, 2002.
- Brasil, 2022. Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Visão Geral. Ano de referência 2020. Brasil, 2022
- Brown, R. R. 2005. Impediments to integrated urban stormwater management: the need for institutional reform. *Environmental Management* 36 (3), 455–468.
- Brown, R. and Farrelly, M. (2007) Institutional impediments to advancing sustainable urban water management: a typology, in 13th International Rainwater Catchment Systems Conference and 5th International Water Sensitive Urban Design Conference, Sydney, Australia, 21-23 August 2007.
- BURNS, Matthew J. et al. A landscape measure of urban stormwater runoff effects is a better predictor of stream condition than a suite of hydrologic factors. *Ecohydrology*, v. 8, n. 1, p. 160-171, 2015.
- BURSZTA-ADAMIAK, E. 2014. The financial mechanisms of urban stormwater management. *Sustainable Development Applications* 5, 57–69.
- 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*, 57(4), 253-265.
- CAMPBELL, C. 2013. Stormwater Utility Survey 2013. The Western Kentucky University Bowling Green, KY, USA.
- Campbell, Warren, "Western Kentucky University Stormwater Utility Survey 2022" (2022). SEAS Faculty Publications. Paper 6. Disponível em: https://digitalcommons.wku.edu/seas_faculty_pubs/6. Acesso em 12.fev.2023.
- CAMPBELL, C., BRADSHAW, J. 2021. Stormwater Utility Survey 2021. The Western Kentucky University, Bowling Green, KY, USA.
- CANÇADO, Vanessa Lucena; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; CABRAL, José Roberto. Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, v. 2, n. 1, p. 5-21, 2005.
- CARRON, D. & Guénégo, S. 2013. État des lieux des modes de financement des eaux pluviales en France (State of play of stormwater financing methods in France). *Techniques Sciences Méthodes* 5, 83–91.
- CBF. Chesapeake Bay Foundation. STORMWATER FEES: YOUR QUESTIONS ANSWERED. Disponível em: < <https://www.cbf.org/about-cbf/locations/pennsylvania/issues/stormwater/pennsylvania-stormwater-fees-your-questions-answered.html#four>>. Acesso em 24.Ago.2022.
- CHALFANT, B. A. 2018. Paying for Rain: the Emergence, Diffusion, and Form of Stormwater Fees in the United States. PhD thesis, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA.
- CHIROLEU-ASSOULINE, M. 2001. Le double dividende. Les approches théoriques (The double dividend. The theoretical approaches). *Revue Française D'économie* 16 (2), 119–147.

- CHOULI, E. & DEUTSCH, J. C. 2008. Urban Storm Water Management in Europe: What are the costs and who should pay? In: Proceedings of the International Conference On Urban Drainage, 11th edn. Edinburgh, UK, pp. 1–10.
- COASE, R. H. 1947. The economics of uniform pricing systems. *The Manchester School* 15 (2), 139–156.
- COELHO, Luiz Eduardo Pereira; JÚNIOR, Alfredo Akira Ohnuma; DA FONSECA, Paulo Luiz. TAXAS DE DRENAGEM A PARTIR DE CENÁRIOS COM TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE TELHADO VERDE. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 19, n. 2022, 2022.
- COOMBES, P. J. 2015. Transitioning drainage into urban water cycle management. In: Proceedings of the International Water Sensitive Urban Design (WSUD 2015), 9th. Engineers Australia, Barton, ACT, Australia, pp. 79–88.
- COOMBES, P. J. 2018. Status of transforming stormwater drainage to a systems approach to urban water cycle management– moving beyond green pilots. *Australasian Journal of Water Resources* 22 (1), 15–28.
- COSENZO, Cássio Leandro. Cobrança de drenagem: financiamento dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Distrito Federal. Dissertação de mestrado. Curso de Mestrado em Gestão Econômica de Finanças Públicas pela Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas – FACE – Departamento de Economia da Universidade de Brasília (UnB). Brasília, 2021.
- CRONSHEY, Roger. Urban hydrology for small watersheds. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division, 1986.
- CYRE, H. J. 1982. Stormwater Management Financing. APWA Congress, Houston, TX, USA.
- DA SILVA AMARO, Luciano. Direito tributário brasileiro. Saraiva Educação SA, 1997.
- DAYARATNE, Sunil Thosainge. Modelling of urban stormwater drainage systems using ILSAX. 2001. Tese de Doutorado. Victoria University.
- DOLL, A., Scodari, P. F. & Lindsey, G. 1998. Credits as economic incentives for on-site stormwater management: issues and examples. In: Proceedings of the US Environmental Protection Agency National Conference on Retrofit Opportunities for Water Resource Protection in Urban Environments, US EPA, Chicago, pp. 113–117.
- DREMAP. UFSC (LAUTEC)/PMF. Diagnóstico Participativo da Drenagem Urbana de Florianópolis. Florianópolis: LAUTEC, 2019.
- EA. 2006 Australian Runoff Quality: a guide to Water Sensitive Urban Design. Editor in Chief: T.H.F. Wong. Engineers Australia. Canberra.
- EBRAHIMIAN, A. 2015. Determination of effective impervious area in urban watersheds. PhD. diss., University of Minnesota, Twin Cities.
- EBRAHIMIAN, GULLIVER e WILSON (2015). Determination of effective impervious area in urban watersheds.
- EBRAHIMIAN, Ali; WILSON, Bruce N.; GULLIVER, John S. Improved methods to estimate the effective impervious area in urban catchments using rainfall-runoff data. *Journal of Hydrology*, v. 536, p. 109-118, 2016.
- EBRAHIMIAN, Ali; GULLIVER, John S.; WILSON, Bruce N. Effective impervious area for runoff in urban watersheds. *Hydrological Processes*, v. 30, n. 20, p. 3717-3729, 2016.
- EBRAHIMIAN, Ali; GULLIVER, John S.; WILSON, Bruce N. Estimating effective impervious area in urban watersheds using land cover, soil character and asymptotic curve number. *Hydrological Sciences Journal*, v. 63, n. 4, p. 513-526, 2018.
- ELLIS, J.B. 1995. Integrated approaches for achieving sustainable development of urban storm drainage. *Water Science and Technology*, 32(1), 1–6.

- EFC - Environmental Finance Center of University of Maryland 2014. Local Government Stormwater Financing Manual: A Process for Program Reform. Report University of Maryland/ National Fish and Wildlife Foundation. Maryland, United States.
- Embrapa. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de Santa Catarina em 2018. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev_sc_estado_solos_lat_long_wgs84>. Acesso em 16.Agos.2022.
- ENDRENY, Theodore A.; THOMAS, Kyle E. Improving estimates of simulated runoff quality and quantity using road-enhanced land cover data. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 14, n. 4, p. 346-351, 2009.
- EPA - Environmental Protection Agency 2008a Funding Stormwater Programs. United States. <https://www3.epa.gov/region1/npdes/stormwater/assets/pdfs/FundingStormwater.pdf>. (accessed 01 July 2017).
- EPA - Environmental Protection Agency 2008b Urban Stormwater Management in the United States. United States. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/nrc_stormwaterreport1.pdf (accessed 01 December 2017).
- EPA - Environmental Protection Agency 2010 - EPA's Methodology to Calculate Baseline Estimates of Impervious Area (IA) and Directly Connected Impervious Area (DCIA) for Massachusetts Communities. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/region1/npdes/stormwater/ma/IA-DCIA-Calculation-Methodology.pdf>>. Acesso em 09 Jul 2022.
- EPA - Environmental Protection Agency 2017 NPDES Stormwater Program. United States. <https://www.epa.gov/npdes/npdes-stormwater-program> (accessed 03 December 2017).
- EPPS, T. H.; HATHAWAY, Jon Mitchell. Establishing a framework for the spatial identification of effective impervious areas in gauged basins: review and case study. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, v. 4, n. 2, p. 05018001, 2018.
- EUCLYDES, H.P., Saneamento Agrícola. Atenuação de Cheias: metodologia e projeto. Belo Horizonte: RURAL MINAS, 1987. 320 p.
- FARIA, Nilma de Oliveira. Estudo da impermeabilização, monitoramento, modelagem e simulação de cenários para a bacia do Barbado-Cuiabá/MT. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, São Carlos, 2013.
- Ferrini, A. Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André (SEMASA) (Org.). Drenagem Urbana: Santo André. SEMASA, 2015. 47 slides, color. Disponível em: <http://eventos.fecam.org.br/arquivosbd/paginas/1/0.787014001436476705_angelica_ferrini.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2015.
- FINOTTI, A.; UDA, P. K.; CAPRÁRIO, J.; WU, F. K.; BERNARDO, J. A. (ed.). Diagnóstico participativo da drenagem urbana de Florianópolis: Mapa de problemas de drenagem. 1. ed. Florianópolis: Lautec/UFSC, 2021a. 1 mapa, color. Escala 1:45.000.
- FINOTTI, A. (org) CAPRARIO, J.; SANTANA, P. L.; WU, F. K.; MONTEIRO, P. C. S. Cadastro Técnico de Drenagem de águas pluviais do município de Florianópolis: Mapa da abrangência e caracterização da rede de drenagem. 1. ed. Florianópolis: Lautec/UFSC Publicações, 2021b. 1 mapa, colorido. Escala 1:45.000.
- Fisher-Jeffes, L. & Armitage, N. 2013 Charging for stormwater in South Africa. *African Journals Online*, 39(3), p.429-436.
- FLETCHER, Tim D.; ANDRIEU, Herve; HAMEL, Perrine. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in water resources*, v. 51, p. 261-279, 2013.
- Floyd, J., Iaquinto, B. L., Ison, R., & Collins, K. 2014. Managing complexity in Australian urban water governance: transitioning Sydney to a water sensitive city. *Futures*, 61, 1-12.

- Forgiarini, F. R. et al. 2007. Avaliação de cenários de cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- GAROTTI, Leonardo Monteiro; BARBASSA, Ademir Paceli. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 19-28, 2010.
- GOMES, Carlos Alberto Barbosa; BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo Oliveira. Financiamento da Drenagem Urbana: Uma Reflexão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 93-104, 2008.
- Grigg, N.S. 2011 Stormwater and Flood Control. In: *Water finance: public responsibilities and private opportunities*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, United States of America, pp. 103-115.
- Grigg, N.S. 2012 Stormwater Programs. *Public Works Management & Policy*, 18 (1), pp.5-22.
- HAN, Woo Suk; BURIAN, Steven J. Determining effective impervious area for urban hydrologic modeling. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 14, n. 2, p. 111-120, 2009.
- HWANG, Junshik; RHEE, Dong Sop; SEO, Yongwon. Implication of directly connected impervious areas to the mitigation of peak flows in urban catchments. *Water*, v. 9, n. 9, p. 696, 2017.
- JANKE, Ben; GULLIVER, John S.; WILSON, Bruce N. Development of techniques to quantify effective impervious cover. 2011.
- JENSON, Susan K.; DOMINGUE, Julia O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.
- KASPERSEN, J. 2000 The stormwater utility: will it work in your community. *Stormwater Magazine*, 1(1).
- KEA, K., DYMOND, R., & CAMPBELL, W. 2016 An Analysis of Patterns and Trends in United States Stormwater Utility Systems. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(6), 1433-1449.
- KEELEY, Melissa. Using individual parcel assessments to improve stormwater management. *Journal of the American Planning Association*, v. 73, n. 2, p. 149-160, 2007.
- KERTESZ, R., GREEN, O. O., & SHUSTER, W. D. 2014 Modeling the hydrologic and economic efficacy of stormwater utility credit programs for US single family residences. *Water Science and Technology*, 70(11), 1746-1754.
- LA ROSA, Daniele; PAPPALARDO, Viviana. Planning for spatial equity-A performance based approach for sustainable urban drainage systems. *Sustainable Cities and Society*, v. 53, p. 101885, 2020.
- Laenen, A. (1983). *Storm Runoff as Related to Urbanization Based on Data Collected in Salem and Portland and Generalized for the Willamette Valley, Oregon*. USGS Water Resources Investigations, Portland, OR.
- LCC (Logan City Council). *Land Development and Stormwater Management*. <http://www.logan.qld.gov.au/planning-and-building/stormwater/land-development-and-construction-phase-stormwater-management> (accessed 07 December 2017).
- LEE, Joong Gwang; HEANEY, James P. Estimation of urban imperviousness and its impacts on storm water systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 129, n. 5, p. 419-426, 2003.
- Legifrance - le service public de l'accès au droit 2014: Les autres textes législatifs et réglementaires. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029988857>> (accessed 31 May 2017).

- LEGLER, Cristina; MENDES, Carlos André Bulhões. O financiamento da manutenção e operação do sistema de drenagem urbana de águas pluviais no Brasil: taxa de drenagem. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 15, n. 1, p. 201-201, 2013.
- LEGLER, Cristina; MENDES, Carlos André Bulhões. O financiamento do investimento público no sistema de drenagem urbana de águas pluviais no Brasil. *RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico*, v. 17, n. 31, 2015.
- LIANG, Changmei et al. The effect of sponge city construction for reducing directly connected impervious areas on hydrological responses at the urban catchment scale. *Water*, v. 12, n. 4, p. 1163, 2020.
- LINDSEY, G.; Doll, A. (1998). Financing retrofit Projects: the Role of Stormwater Utilities. EPA National Conference on Retrofit Opportunities for Water resource Protection in Urban Environments, Chicago, Illinois, February 9-12, 1998.
- MACK, Elizabeth A.; WRASE, Sarah. A burgeoning crisis? A nationwide assessment of the geography of water affordability in the United States. *PloS one*, v. 12, n. 1, p. e0169488, 2017.
- Marriot D. 2000 Report to Council on Stormwater Management Charges (Portland, Oregon, USA). <http://www.portlandonline.com/bes/index.cfm?a=40874&c=46961> (accessed 23 May 2017).
- Marsalek J. & Chocat B. 2002 International report: stormwater management. *Water science and technology*, 46(6-7), 1-17.
- MARTIN-MIKLE, Chelsea J. et al. Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. *Landscape and urban planning*, v. 140, p. 29-41, 2015.
- MATEJ-ŁUKOWICZ, K., & WOJCIECHOWSKA, E. (2015). OPLATY ZA ODPROWADZANIE WÓD DESZCZOWYCH. *Research Papers of the Wrocław University of Economics/Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (411).
- MEIRELLES, Hely Lopes. *Direito Administrativo Brasileiro*. 33ª edição atualizada. São Paulo: Editora Malheiros, 2007.
- Mejía, A., Santos, J. L., Rivera, D., & Uzcátegui, G. E. 2015 Pricing Urban Water Services in the Developing World: The Case of Guayaquil, Ecuador. In *Water Pricing Experiences and Innovations*, pp. 393-405. Springer International Publishing.
- Melo, Tássia dos Anjos Tenório de et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, v. 14, p. 147-165, 2014.
- MILLER, R. A. The hydraulically effective impervious area of an urban basin, Broward County, Florida. In: Prepared for the International Symposium on Urban Storm Water Management, Kentucky University, Lexington, July 24-27, 1978. 1978.
- MONTENEGRO, Marcos. Custos e financiamento dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. In: X Congresso Brasileiro de Regulação. Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: 2017. p. 1230 – 1244.
- MOTTA, Marcelo; FEITOSA, Renato. Charging Stormwater Drainage: Immoral or Illegal? *In*. Conference: Sustainable Drainage, 2019, Lisboa, Portugal. **Anais**, 2019.
- MROCZEK, Michael D. Testing the Efficacy of Empirical Equations for Calculating the Effective Impervious Area in Southern California. California State University, Long Beach, 2018.
- NACWA - National Association of Clean Water Agencies 2016 Enacting, Implementing, & Funding Stormwater Programs. United States.
- NAFSMA - National Association of Flood and Stormwater Management Agencies Guidance for Municipal Stormwater Funding. Prepared by. Under Grant Provided by Environmental Protection Agency. January 2006. (NAFSMA, 2006).
- NEEFC (New England Environmental Finance Center) 2005. Stormwater Utility Fees, Considerations & Options for Interlocal Stormwater Working Group (ISWG). <https://digitalcommons.usm.maine.edu/economicsfinance/1/> (accessed 14 July 2018).

- Niemczynowicz, J. (1999), Urban Hydrology and Water Management - Present and Future Challenges. *Urban Water*, 1(1), 1-14.
- NOVAES, Carlos; MARQUES, Rui. Stormwater Utilities: A Sustainable Answer to Many Questions. *Sustainability*, v. 14, n. 10, p. 6179, 2022.
- NRC (National Research Council) 2009 Urban stormwater management in the United States. National Academies Press, Washington DC, USA.
- Nouveau, N. LE; Deroubaix, J.-F.; Diou, G. and Tardivo, B. 2013 La taxe pour la gestion des eaux pluviales urbaines, un révélateur de l'action publique: Analyse des premières expériences en France (The tax for the urban stormwater management, a revealer of the public action: Analysis of the first experiences in France). *Techniques Sciences Méthodes*, 6, 20-31.
- OBROPTA, C. C.; DEL MONACO, Nicole. Reducing directly connected impervious areas with green stormwater infrastructure. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, v. 4, n. 1, p. 05017004, 2018.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. Benefits of Investing in Water and Sanitation: An OECD Perspective, OECD Publicado em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264100817-en>. 2011.
- O'Neill, S. J., & Cairns, S. (2016). New Solutions for Sustainable Stormwater Management in Canada. Report published by Sustainable Prosperity <http://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/stormwaterreport.pdf>.
- OSTROM, Elinor. Property-rights regimes and common goods: a complex link. *Common Goods: Reinventing European and International Governance*. Rowman and Littlefield, Lanham, p. 29-58, 2002.
- 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*, 8(2), 133-144.
- Phillips, B., Goyen, A., Thomson, R., Pathiraja, S. and Pomeroy, L. (2014), Australian Rainfall and Runoff Revision Project 6: Loss models for catchment simulation – Urban Losses Stage 2 Report, February.
- Pigou, A.C. 1962 *The economics of welfare*, 4th Ed., Macmillan, London.
- PINHEIRO, Ricardo Pinto. A regulamentação da prestação dos serviços públicos de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. *REGULAÇÃO*, p. 99, 2009.
- PMF (Prefeitura Municipal de Florianópolis). Camadas em SIG do mapa. Geoportal. Florianópolis, 2012, 2019. Disponível em: <http://geoportal.pmf.sc.gov.br/downloads/camadas-em-sig-do-mapa>>. Acesso em 15 de Jan.2022.
- PMF / MPB – Prefeitura Municipal de Florianópolis/MPB Engenharia. PLANO MUNICIPAL INTEGRADO DE SANEAMENTO BÁSICO – PMISB . Produto 11 – Versão Consolidada Final. 300p. Florianópolis, 2013.
- PRINGLE, Catherine. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important?. *Hydrological Processes*, v. 17, n. 13, p. 2685-2689, 2003.
- QIAO, Xiu-Juan; LIAO, Kuei-Hsien; RANDRUP, Thomas B. Sustainable stormwater management: A qualitative case study of the Sponge Cities initiative in China. *Sustainable Cities and Society*, v. 53, p. 101963, 2020.
- RAMÍSIO, Paulo; AREZES, Diogo; PINTO, Lígia M. Costa. A co-financing model for the mitigation of highway runoff pollution. *Journal of Environmental Management*, v. 289, p. 112432, 2021.
- RIBEIRO, Wladimir A. Remuneração pelo serviço público de manejo de águas pluviais urbanas. In: *IV Revista Jurídica CNM / Confederação Nacional de Municípios – Brasília: CNM*, 2016.

- RIGHETTO, Antônio Morazzi. PROSAB 4: Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro: ABES RJ, 2009.
- ROSIEK, K. (2016). Opląty od powierzchni uszczelnionej jako instrument zrównoważonego zarządzania wodami opadowymi i roztopowymi. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (453), 270-281.
- ROY, A. H., WENGER, S. J., FLETCHER, T. D., WALSH, C. J., LADSON, A. R., SHUSTER, W. D. & BROWN, R. R. 2008 Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. *Environmental management*, 42(2), 344-359.
- ROY, A.H. and SHUSTER, W.D. Assessing Impervious Surface Connectivity and Applications for Watershed Management1. *Journal of the American Water Resources Association*, 2009. 45(1): p. 198-209.
- RYDNINGEN, Ulf; TORGERSEN, Geir; BJERKHOLT, Jarle Tommy. CATEGORISING AREA MODELS FOR STORMWATER FEES AT PROPERTY LEVEL: A LITERATURE REVIEW. *WIT Transactions on The Built Environment*, v. 208, p. 93-105, 2022.
- SAHOO, Sanat Nalini; SREEJA, P. Determination of effective impervious area for an urban Indian catchment. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 21, n. 4, p. 05016004, 2016.
- SCHOETTLE, S. P., & RICHARDSON, D. G. 1993. NONTRADITIONAL USES OF THE UTILITY CONCEPT TO FUND PUBLIC FACILITIES. *THE URBAN LAWYER*, 519-537.
- SCHUELER, T. R. (1994). "The importance of imperviousness." *Watershed protection techniques*, 1(3), 100-111.
- SDE (Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina). Levantamento aerofotogramétrico realizado entre 2010 e 2012. Publicado em 20/05/2016. Disponível em < <http://sigsc.sc.gov.br/>> . Acessado em 15.maio.2022.
- SEO, Y.; CHOI, N.-J.; SCHMIDT, A. R. Contribution of directly connected and isolated impervious areas to urban drainage network hydrographs. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 17, n. 9, p. 3473-3483, 2013.
- SHARPLES, D. 2007 Who will pay for the rain? Examining the utility approach as a mechanism for funding and maintaining stormwater management practices. Master thesis, Urban and Environmental Policy and Planning. Tufts University, Massachusetts, United States.
- SCHMITZ, Vanderleia. Estimativa da produção de sedimentos em duas Bacias Hidrográficas urbanas. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, 130p., Florianópolis, 2018.
- SILVA, Raquel Carvalho da. Vulnerabilidade socioambiental a desastres na bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis, SC. 2010. 164 p. 2018. Dissertação (Mestrado)–Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- SILVEIRA, Geraldo Lopes da; FORGIARINI, Francisco Rossarolla; GOLDENFUM, Joel Avruch. Taxa não é cobrança: Uma proposta para a efetiva aplicação do instrumento de gestão dos recursos hídricos para a drenagem urbana. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 14, n. 4 (out./dez. 2009), p. 71-80, 2009.
- SOUZA, V.B.F.S. ; MARQUES, G.F. ; ALVES, R. Instrumento econômico para o controle de cheias urbanas. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Anais... 2013.
- SU, Yuming et al. Establishment of Long-Term O&M Program and Sustainable Funding Stream for China "Sponge City" Initiative. In: International Low Impact Development Conference 2020. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2020. p. 141-150.
- SULTANA, Rebeka et al. Improving Effective Impervious Estimates to Inform Stormwater Management. *Water Resources Management*, v. 34, n. 2, p. 747-762, 2020.

- Sutherland RC (2000) Methods for estimating effective impervious cover. In: Schueler T, Holland H (eds) *The Practice of Watershed Protection*. Center for Watershed Protection, Maryland, pp 193–195
- Sydney Water 2017 Prices for your home. <http://www.sydneywater.com.au/SW/accounts-billing/understanding-your-bill/prices-for-your-home/index.htm> (accessed 31 October 2017).
- SYDNEY WATER (2021). Accounts & billing. Understanding your bill. Our prices. Review of prices for Sidney Water Final Report. Disponível em: <<https://www.ipart.nsw.gov.au/files/sharedassets/website/shared-files/pricingreviews-water-services-metro-water-prices-for-sydney-water-corporation-from1-july-2020/legislative-requirements-prices-for-sydney-water-corporation-from1-july-2020/final-report-review-of-prices-for-sydney-water-june-2020.pdf>>. Acesso em 22 de abril de 2021.
- SYTSMA, Anneliese et al. A geospatial approach for estimating hydrological connectivity of impervious surfaces. *Journal of Hydrology*, v. 591, p. 125545, 2020.
- Tabuchi, J. P. 2002 Le financement de la dépollution des eaux pluviales: état des réflexions et exemples allemand. Note interne de l'agence de l'eau Seine-Normandie.
- Tassi, Rutinéia *et al.* Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, v. 14, p. 139-154, 2014.
- Tate, J. 2013 Options for funding stormwater management, Report Local Government Association of South Australia, Jeff Tate Consulting Pty Ltd Consulting- McLaren Vale, Australia.
- TASCA, F.A; FINOTTI, A.R.; GOERL, R.F. A stormwater user fee model for operations and maintenance in small cities. *Water Science and Technology*, v. 79, n. 2, p. 278-290, 2019.
- TASCA, Fabiane Andressa et al. Application of Systems Thinking to the assessment of an institutional development project of river restoration at a campus university in Southern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 13, p. 14299-14317, 2020.
- TETZLAFF, D. et al. Connectivity between landscapes and riverscapes—a unifying theme in integrating hydrology and ecology in catchment science?. *Hydrological Processes: An International Journal*, v. 21, n. 10, p. 1385-1389, 2007.
- Thomé, V.M.R., Zampieri, S., Braga, H.J., Pandolfo, C., Silva Junior, V.P., Bacic, I., Laus Neto, J., Soldateli, D., Gebler, E., Ore, J.D., Echeverria, L., Mattos, M., & Suski, P.P. (1999). Zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina. Florianópolis: EPAGRI.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. EDUSP, Editora da UFRG, ABRH, p.952.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento da drenagem urbana. Rbrh: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 7, n. 1 (2002 jan./mar.), p. 5-27, 2002.
- VAN SICKLE, John; JOHNSON, Colleen Burch. Parametric distance weighting of landscape influence on streams. *Landscape Ecology*, v. 23, n. 4, p. 427-438, 2008.
- VIETZ, G.; WHITEOAK, K.; EHRENFRIED, L. Incentivising stormwater management in cities and suburbs. *Water E-Journal*, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2018.
- WALKER, B. P. 2001. Preparing for the storm: preserving water resources with stormwater utilities. Policy Study, Reason Public Policy Institute 275, 52.
- WANG, Yutao; SUN, Mingxing; SONG, Baimin. Public perceptions of and willingness to pay for sponge city initiatives in China. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 122, p. 11-20, 2017.
- WALSH, Christopher J. et al. Stormwater drainage pipes as a threat to a stream-dwelling amphipod of conservation significance, *Austrogammarus australis*, in southeastern Australia. *Biodiversity & Conservation*, v. 13, n. 4, p. 781-793, 2004.
- WALSH, Christopher J.; KUNAPO, Joshphar. The importance of upland flow paths in determining urban effects on stream ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 28, n. 4, p. 977-990, 2009.

Yang, G., Bowling, L. C., Cherkauer, K. A., & Pijanowski, B. C. (2011). The impact of urban development on hydrologic regime from catchment to basin scales. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 237-247.

VAN DER WALT, Stefan; COLBERT, S. Chris; VAROQUAUX, Gael. The NumPy array: a structure for efficient numerical computation. *Computing in science & engineering*, v. 13, n. 2, p. 22-30, 2011.

VIEIRA, Paulo Barral de Hollanda Gomes et al. Evolução da urbanização do bairro do Córrego Grande, Florianópolis/SC entre 1938 a 2009. 2012. Dissertação. Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 194p, 2009.

VIETZ, G.; WHITEOAK, K.; EHRENFRIED, L. Incentivising stormwater management in cities and suburbs. *Water E-Journal*, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2018.

WENGER, Seth J. et al. Stream fish occurrence in response to impervious cover, historic land use, and hydrogeomorphic factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 65, n. 7, p. 1250-1264, 2008.

WONG, T.H.F. (2006), *Water Sensitive Urban Design: the journey thus far*. *Australian Journal of Water Resources*, 10(3), 213-222.

YOUNGERMAN, Z. 2013 *Social Marketing, Financial, and Regulatory Mechanisms for Adoption of Water Conservation and Stormwater Management Practices by Single-Family Households*. Master Thesis, Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, United states.

ZIMMERMAN, Carl Lamar. *Determining Directly-connected Impervious Areas in Residential Land Uses*. 2012. Tese (Doutorado). Universidade de Connecticut, Connecticut, 2011.

ANEXOS

**ANEXO 1 – ESTUDO DA CONECTIVIDADE HIDRÁULICA DOS LOTES -
ESTIMATIVA POR SIG COM AJUSTES A PARTIR DE VISTORIAS *IN LOCO***

Estrato	Logradouro	Área lote (m ²)	Área permeável (m ²)	Area da edificação (m ²)	Outras Áreas Imp. (m ²)	AIT (m ²)	AIDC (m ²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.1	Serv. Maria Juliana Cordeiro 33 A	99,1	10	70	19	89	66,6	50%	50%	34%	34%
1.2	Rua Manoel Rosa dos Santos 212A	172,3	52	68	56	124	48	39%	79%	39%	67%
1.2	Rua Joao Pio Duarte Silva 1287	178,5	32	72	76	148	148	100%		50%	
1.2	Rua Maest Aldo Krieger 482	181,2	8	64	100	164	153	93%			
1.2	Rua Eduardo Laurentino da Silva 94	182,2	4	104	88	182	121,94	98,33			
1.3	Serv. Maria Juliana Cordeiro 304	221,5	20	84	120	204	25,4	12%		35%	
1.3	Serv. Joaquim Manoel Machado 1080F	231,5	12	140	44	184	184	100%			
1.3	Serv. Maria da Gloria de Mello 38	274,7	60	68	148	216	216	100%	100%		
1.3	Rua Eduardo Laurentino da Silva 132	277,7	136	40	100	140	0	0%	0%		
1.3	Serv. Sem Denominacao SN	281,8	64	100	124	224	175	78%			
1.3	Serv. Joaquim Manoel Machado 1080F	297,1	0	156	96	252	252	100%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 189	309,7	8	216	84	300	300	100%	56%	50%	55%
1.4	Rua Eduardo Laurentino da Silva 118	309,8	52	232	36	268	112	42%		48%	
1.4	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1335	317,6	4	212	112	317	84	26%		26%	
1.4	Serv. Antonio Irineu da Silva 183	336,4	48	112	176	288	179	62%		62%	

Estrato	Logradouro	Área lote (m ²)	Área permeável (m ²)	Area da edificação (m ²)	Outras Áreas Imp. (m ²)	AIT (m ²)	AIDC (m ²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.4	Serv. Maria Juliana Cordeiro 57	336,5	4	196	120	316	316	100%		50%	
1.4	Serv. Antonio Irineu da Silva 127	343,6	40	100	188	288	288	100%		100%	
1.4	Rua Manoel Rosa dos Santos 130	344,2	56	164	128	292	292	100%		100%	
1.4	Rua Manoel Rosa dos Santos 97	345,0	132	100	116	216	216	100%		100%	
1.4	Serv. Maria da Gloria de Mello 214	349,6	52	148	152	300	169	56%		100%	
1.4	Rua Carlos Loureiro da Luz 92	353,9	108	200	44	244	84	34%		7%	
1.4	Rua Joao Pio Duarte Silva 1230	355,4	80	176	104	280	280	100%		100%	
1.4	Serv. Maria da Gloria de Mello 200	357,7	0	192	164	356	356	100%		100%	
1.4	Serv. Maria da Gloria de Mello 168	358,1	60	124	172	296	296	100%		100%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 317	360,2	76	124	164	288	126	44%		49%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 338	360,4	20	220	124	344	228	66%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 179	360,9	28	116	216	332	45	14%			
1.4	Rua Folhas Verdes 225	362,3	288	24	56	80	80	100%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 121	364,6	68	200	96	296	182	61%			
1.4	Rua Maria da Gloria de Mello 140	367,1	12	236	120	356	356	100%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 362	368,0	4	220	144	364	223	61%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 312	368,3	12	204	148	352	135	38%			
1.4	Rua Manoel Rosa dos Santos 236	370,2	8	164	204	368	206	56%	56%		

Estrato	Logradouro	Área lote (m ²)	Área permeável (m ²)	Area da edificação (m ²)	Outras Áreas Imp. (m ²)	AIT (m ²)	AIDC (m ²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 135	371,8	100	180	92	272	106	39%			
1.4	Rua Jose Durieux 33	372,0	16	128	224	352	99	28%			
1.4	Rua Jose Durieux 77	372,0	56	144	168	312	82,7	27%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 198	372,9	12	232	124	356	176	49%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 64	374,3	24	192	156	348	86	25%		16%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 188	375,0	112	148	108	256	123	48%			
1.4	Rua Maria da Gloria de Mello 154	375,5	12	244	116	360	360	100%			
1.4	Serv. Antonio Irineu da Silva 155	377,8	12	64	296	360	290	81%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 291	378,1	36	132	208	340	139	41%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 215	378,5	100	184	96	280	130	46%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 57	380,5	48	204	120	324	119	37%		13%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 229	380,7	60	140	176	316	272	86%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 116	380,9	140	80	160	240	113	47%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 250	381,5	8	236	144	380	210	55%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 302	383,6	4	196	184	380	126	33%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 104	384,1	144	120	124	244	7	3%		13%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 276	384,3	20	284	84	368	255	69%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 286	385,3	12	228	144	372	112	30%			

Estrato	Logradouro	Área lote (m ²)	Área permeável (m ²)	Area da edificação (m ²)	Outras Áreas Imp. (m ²)	AIT (m ²)	AIDC (m ²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.4	Serv. Antonio Irineu da Silva 140	388,5	48	192	152	344	150	44%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 212	390,3	16	252	124	376	30	8%		10%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 350	391,7	16	260	120	380	74	19%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 255	393,6	16	268	108	376	208	55%			
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 174	394,9	44	220	132	352	72	20%		42%	
1.4	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 265	395,2	40	136	220	356	112	31%			
1.5	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 468	402,1	160	148	92	240	57,7	24%	39%		37%
1.5	Ser Antonio Irineu da Silva 182	403,4	64	212	116	328	253	77%		77%	
1.5	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 692	405,5	32	200	176	376	166	44%			
1.5	Rua Manoel Rosa dos Santos 236A	406,6	36	204	160	364	364	100%		80%	
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 349	407,7	88	200	116	316	316	100%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 324	408,0	92	172	140	312	101	32%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 40	408,1	24	176	208	384	149	39%			
1.5	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 678	409,0	24	164	220	384	187	49%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 85	409,5	40	216	152	368	249	68%			
1.5	Rua Manoel Rosa dos Santos 94	409,8	88	164	144	308	235	76%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 277	414,8	56	216	144	360	155	43%			

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 130	416,9	16	104	292	396	150	38%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 28	428,2	64	224	148	372	315	85%			
1.5	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 650	429,8	12	164	248	412	0	0%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 142	432,0	76	192	168	360	160	44%			
1.5	Rua Joao Pio Duarte Silva 1329	432,5	328	0	96	96	24,3	25%			
1.5	Serv. Antonio Irineu da Silva 156	436,3	68	172	188	360	297	83%			
1.5	Rua Carlos Loureiro da Luz 142	443,7	24	220	208	428	53	12%			
1.5	Rua Joao Pio Duarte Silva 1273	448,3	136	156	152	308	53,6	17%			
1.5	Rua Manoel Rosa dos Santos 131	448,8	160	140	148	288	74	26%			
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 92	456,9	128	180	152	332	76,7	23%		5%	
1.5	Serv. Antonio Irineu da Silva 110	458,9	116	12	348	360	21,6	6%		6%	
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 159	459,1	176	232	48	280	105	38%		10%	
1.5	Serv. da Figueira Velha 50	462,7	160	104	196	300	28,7	10%		2%	
1.5	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 381	465,1	72	176	192	368	95,2	26%		26%	
1.5	Serv. Antonio Irineu da Silva 97	467,6	264	68	96	164	0	0%		0%	
1.5	Serv. Antonio Irineu da Silva 81	480,4	44	268	156	424	66,8	16%		100%	
1.5	Rua Joao Pio Duarte Silva 1353	492,1	180	296	48	344	267	78%		40%	

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.5	Rua Folhas Verdes 318	492,3	132	116	256	372	0	0%			
1.5	Rua Manoel Rosa dos Santos 148	496,8	168	80	252	332	159	48%		60%	
1.5	Rua Maest Aldo Krieger 506	497,1	36	200	248	448	0	0%		0%	
1.5	Rua Folhas Verdes 245	521,1	288	108	124	232	118	51%		51%	
1.5	Rua Folhas Verdes 50	532,4	228	124	184	308	0	0%		0%	
1.5	Rua Manoel Rosa dos Santos 165	548,5	84	208	264	472	209	44%		44%	
1.5	Rua Folhas Verdes 62	548,9	300	116	136	252	88	35%		0%	
1.5	Serv. Teodora Maria Machado 74	579,8	76	200	304	504	88	17%		17%	
1.5	Rua Manoel Rosa dos Santos 182	582,9	236	176	160	336	336	100%		100%	
1.5	Serv. Lucas Vital Cardoso 138 A	598,6	300	160	136	296	0	0%		0%	
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva SN	605,0	4	368	236	604	604	100%	24%		30%
1.6	Serv. Antonio Irineu da Silva 300	607,3	336	220	44	264	0	0%		10%	
1.6	Serv. Antonio Irineu da Silva 49	611,8	236	152	220	372	62,6	17%		17%	
1.6	Rua Carlos Loureiro da Luz 34	613,7	232	216	168	384	384	100%		80%	
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 342	616,9	232	204	184	388	75,2	19%		5%	
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 196	633,6	80	212	348	560	115	21%		50%	
1.6	Serv. Antonio Irineu da Silva 195	634,7	52	300	280	580	14,7	3%		3%	

Estrato	Logradouro	Área lote (m ²)	Área permeável (m ²)	Area da edificação (m ²)	Outras Áreas Imp. (m ²)	AIT (m ²)	AIDC (m ²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 149	636,1	280	144	216	360	15	4%		4%	
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 894	638,4	148	196	284	480	225	47%		47%	
1.6	Serv. da Figueira Velha 111	641,2	428	96	120	216	17,3	8%		8%	
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 387	666,8	56	344	260	604	435	72%			
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 447	669,1	400	124	140	264	0	0%			
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva SN	671,3	32	196	448	644	0	0%		100%	
1.6	Rua Dom Wilson Laus Schmidt SN	672,8	52	148	468	616	616	100%			
1.6	Serv. da Figueira Velha 175	673,8	384	20	264	284	45,8	16%		16%	
1.6	Serv. Antonio Irineu da Silva 109	680,4	236	128	296	424	6	1%		1%	
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 333	681,8	92	288	308	596	206,1	35%		35%	
1.6	Serv. Maria Juliana Cordeiro 318	717,7	44	308	372	680	171,3	25%			
1.6	Serv. da Figueira Velha 102	739,8	280	120	344	464	0	0%		30%	
1.6	Serv. Maria Juliana Cordeiro 240	747,3	184	100	460	560	0	0%			
1.6	Serv. Lucas Vital Cardoso 70	773,7	472	108	192	300	260	87%			
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 213	788,9	292	176	316	492	67,8	14%		0%	
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1104	812,0	104	328	380	708	148	21%			

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 251	857,9	268	336	256	592	59,4	10%			
1.6	Rua Folhas Verdes 112	877,2	628	68	180	248	0	0%			
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 284	878,1	184	264	428	692	184	27%		100%	
1.6	Serv. da Figueira Velha 163	920,7	380	156	384	540	264,2	49%		68%	
1.6	Serv. Maria Juliana Cordeiro 151	943,5	60	112	744	856	856	100%			
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 266	957,9	248	168	540	708	43,2	6%			
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 838	974,2	356	300	336	636	0	0%			
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 183	999,4	200	376	420	796	0	0%			
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 250	1008,2	40	376	588	964	212	22%		22%	
1.6	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 848	1017,7	420	236	360	596	0	0%			
1.6	Serv. Maria Juliana Cordeiro 115	1030,3	564	168	284	452	0	0%			
1.6	Rua Folhas Verdes 38	1034,5	344	224	460	684	20,8	3%			
1.6	Serv. Antonio Irineu da Silva 86	1044,9	368	388	284	672	0	0%			
1.6	Serv. Maria Juliana Cordeiro 105	1095,5	840	72	160	232	15	6%			
1.6	Rua Folhas Verdes 174	1099,3	696	68	340	408	0	0%			
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 298	1132,1	212	388	516	904	232	26%		26%	
1.6	Rua Manoel Rosa dos Santos 345	1134,2	200	300	640	940	26,5	3%		28%	

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.6	Rua Dorval Manoel Bento 211	1162,2	512	188	504	692	346	50%	16%		15%
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1116	1324,4	360	352	616	968	56,5	6%		0%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 776	1357,4	252	520	600	1120	0	0%			
1.7	Serv. da Figueira Velha 131	1472,2	708	248	516	764	149	20%		20%	
1.7	Serv. Antonio Irineu da Silva 246	1494,8	1112	232	180	412	40,8	10%		10%	
1.7	Rua Manoel Rosa dos Santos 297	1540,7	808	288	444	732	119,4	16%			
1.7	Rua Jose Durieux 64	1592,5	212	336	1036	1372	1097,6	80%		20%	
1.7	Rua Dom Wilson Laus Schmidt 756	1597,6	600	268	732	1000	8	1%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 30	1649,2	1136	228	232	460	460	100%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1330	1686,4	588	248	844	1092	121	11%		11%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 343	2142,9	1896	60	184	244	16,7	7%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1148	2186,4	612	572	1000	1572	168	11%			
1.7	Serv. Maria Juliana Cordeiro 127	2236,6	772	644	772	1416	0	0%		1%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 907	2332,4	2100	152	80	232	41,4	18%			

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1307	2405,9	2024	148	196	344	0	0%		0%	
1.7	Serv. da Figueira Velha 148	2515,6	936	244	1340	1584	0	0%		0%	
1.7	Serv. Maria da Gloria de Mello 126	2624,0	480	1008	1068	2076	1660,8	80%			
1.7	Rua Maest Aldo Krieger 263	2760,4	2720	0	8	8	0	0%		0%	
1.7	Serv. Maria Juliana Cordeiro SN	3241,0	1692	732	812	1544	0	0%			
1.7	Rua Carlos Loureiro da Luz 537 D	3456,4	2124	688	632	1320	0	0%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1067	3848,8	2800	368	680	1048	54,7	5%		5%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 895D	3923,4	3236	252	432	684	531	78%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 615	4185,6	2880	416	892	1308	21	2%		2%	
1.7	Serv. Maria Juliana Cordeiro 274	4527,1	1352	908	2104	3012	89,8	3%		4%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 847	4803,0	4120	200	508	708	331	47%		60%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1035	4949,5	2948	584	1412	1996	134	7%		7%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 557	5087,7	4192	360	500	860	51	6%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1001	5458,9	3260	400	1808	2208	274	12%		21%	

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
1.7	Rua Maest Aldo Krieger 462	6325,1	4188	600	1432	2032	420	21%		22%	
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 1062	6816,8	6236	264	292	556	0	0%			
1.7	Serv. Maria Juliana Cordeiro 237	11362,8	6772	1156	3388	4544	753,4	17%			
1.7	Rua Maest Aldo Krieger 322	11904,0	10216	352	1280	1632	0	0%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 733	13703,2	12992	252	452	704	0	0%			
1.7	Rua Apeninos SN	14404,3	3780	2968	7652	10620	0	0%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva S/N	69903,5	66236	476	3224	3700	0	0%			
1.7	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 691	90409,3	89224	212	968	1180	182	15%			
2	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 126	5322,5	360	2576	2396	4972	4972	100%	95%		96%
2	Rua Acelon Eduardo da Silva 77	2222,0	288	1116	812	1928	1735,2	90%		90%	
2	Rua Fritz Plaumann 100	2087,3	628	572	900	1472	1324,8	90%		90%	
2	Rua Pireneus 50	1666,2	160	488	1016	1504	1139	76%		90%	
2	Rua Fritz Plaumann 71	1500,2	312	384	804	1188	950,4	80%		80%	
2	Rua Fritz Plaumann 35	1499,6	144	496	864	1360	1292	95%		95%	
2	Rua Mediterraneo 204	1461,8	112	236	1116	1352	1166	86%			
2	Rua Maest Aldo Krieger 138	1340,1	208	328	792	1120	1120	100%			

Estrato	Logradouro	Área lote (m²)	Área permeável (m²)	Area da edificação (m²)	Outras Áreas Imp. (m²)	AIT (m²)	AIDC (m²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
2	Rua Mediterraneo 73	1335,9	220	380	716	1096	1096	100%		100%	
2	Rua Pireneus 85	1263,7	200	508	520	1028	1028	100%			
2	Rua Acelon Eduardo da Silva 41	1241,1	324	296	624	920	920	100%			
2	Rua Apeninos 38	1204,9	92	520	592	1112	1112	100%			
2	Rua Mediterraneo 270	1187,8	68	384	736	1120	1120	100%			
2	Rua Apeninos 76	1036,1	20	536	472	1008	1008	100%		100%	
2	Rua Apeninos 114	1034,1	220	536	280	816	816	100%		100%	
2	Rua Maest Aldo Krieger 166	1022,6	176	392	468	860	860	100%			
3	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 863	193,0	28	0	164	164	164	100%	69%		
3	Serv. Maria Juliana Cordeiro 23	230,8	0	104	112	216	216	100%		100%	
3	Rua Carlos Loureiro da Luz 130	321,5	52	196	76	272	114	42%		0%	
3	Rua Carlos Loureiro da Luz 20	378,2	28	284	64	348	348	100%		100%	
3	Serv. Antonio Irineu da Silva 65	490,6	148	104	208	312	102	33%			65%
3	Rua Joao Pio Duarte Silva 1801	560,5	168	244	144	388	388	100%		100%	
3	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 45	616,1	160	200	260	460	450	98%			
3	Rua Maria da Gloria de Mello 77	717,2	24	224	436	660	660	100%			
3	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 719	994,5	560	108	324	432	35	8%		11%	

Estrato	Logradouro	Área lote (m ²)	Área permeável (m ²)	Area da edificação (m ²)	Outras Áreas Imp. (m ²)	AIT (m ²)	AIDC (m ²) (SIG)	AIDC/AIT (SIG)	Média AIDC/AIT (SIG)	Ajuste AIDC/AIT (ou manutenção)	Nova Média AIDC/AIT
3	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 792	4088,9	1640	724	1720	2444	219	9%			
4	Rua Sebastiao Laurentino da Silva 587	5512,0	588	468	1056	1025,376	211	21%	21%	20%	20%
6	Rua Joao Pio Duarte Silva 1245	360,0	80	184	100	284	142	50%	50%	27%	15%
6	Rua Fritz Plaumann 110	1001,9	732	28	244	272	0	0%		0%	
6	Rua Maest Aldo Krieger 218	17432,5	7820	384	9192	9576	9524	99%		7%	
6	Serv. Antonio Irineu da Silva 325	6359,8	5.996	360	0	360	185	51%		25%	