

SUELEN FERREIRA DE ARAÚJO SANT'ANNA

**MODELAÇÃO COM RECURSO AO GISWATER PARA AVALIAÇÃO DE
IMPACTES HIDROLÓGICOS COM A IMPLANTAÇÃO DE SUDS. CASO DE
ESTUDO NO BAIRRO MONTIGALÀ, BADALONA (BARCELONA, ESPANHA).**



UAlg

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2022

SUELEN FERREIRA DE ARAÚJO SANT'ANNA

**MODELAÇÃO COM RECURSO AO GISWATER PARA AVALIAÇÃO DE
IMPACTES HIDROLÓGICOS COM A IMPLANTAÇÃO DE SUDS. CASO DE
ESTUDO NO BAIRRO MONTIGALÀ, BADALONA (BARCELONA, ESPANHA).**

Mestrado em Ciclo Urbano da Água

Trabalho efetuado sob orientação de:

Professora Doutora Helena Maria Neto

Paixão Vazquez Fernandez Martins

ISE/UA1g

Professor Doutor Fernando Miguel

Granja Martins

ISE/UA1g

**MODELAÇÃO COM RECURSO AO GISWATER PARA AVALIAÇÃO DE
IMPACTES HIDROLÓGICOS COM A IMPLANTAÇÃO DE SUDS. CASO DE
ESTUDO NO BAIRRO MONTIGALÀ, BADALONA (BARCELONA, ESPANHA).**

Declaração de Autoria de Trabalho

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Suelen Ferreira de Araújo Sant'Anna

Copyright © Suelen Ferreira de Araújo Sant’Anna

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família, por ter me apoiado durante essa difícil caminhada. À minha mãe Lúcia, ao meu pai que com certeza está orgulhoso de mim lá de cima e ao Wladimir que caminhou junto me dando apoio e amor à mim e ao nosso bem precioso, nossa pequena Elis, a quem também agradeço, pois se tive forças para seguir adiante, ela foi o principal motivo.

Agradeço em segundo lugar à Companhia de Água e Esgoto do Ceará, que me permitiu estar aqui, por meio da minha licença, e mantendo meu vínculo a esta empresa que tenho amor e orgulho de contribuir. Espero que meus conhecimentos aqui adquiridos possam ser levados adiante em nossa terra do Sol.

Não posso deixar de agradecer também aos meus orientadores, os queridos e dedicados professores Fernando e Helena, que me abriram caminhos pelo completo desconhecido e me apoiaram pacientemente durante essa jornada.

Também agradeço aos colegas da BGEO, principalmente ao Xavier Torret, Sergi Muñoz e Claudia Rodrigues por terem me proporcionado esta oportunidade e a riqueza do conhecimento para a realização deste estudo com paciência e profissionalismo exemplares.

Algumas pessoas que tive o imenso prazer de dividir este mestrado deixaram também a caminhada bem menos difíceis e não posso deixar de agradecer à Larissa, Marília, Greta, João, Raquel e Camila.

À todos os professores que tive nestes anos de curso, com quem, tecnicamente ou não, extraí ensinamentos que levarei para toda minha vida.

RESUMO

O crescimento urbano sem o devido planeamento ocasiona processos de impermeabilização do solo, artificialização e verticalização nas cidades, que contribuem para alteração dos padrões de escoamento superficial, as taxas de infiltração e outros parâmetros hidrológicos das bacias. Neste contexto, a implantação dos Sistemas de drenagem sustentável (SuDS) tem vindo a apresentar resultados positivos, uma vez que promovem nas cidades, melhorias nos aspetos hidrológicos, hidráulicos e paisagísticos bem como, na devolução de serviços ecossistêmicos à população. Desta forma, esta dissertação teve por objetivo estudar o impacto da implantação de algumas tecnologias SuDS no bairro Montigalà, localizado em Badalona, Região Metropolitana de Barcelona (Espanha). Avaliou-se inicialmente o impacto de chuvas de 5 mm, 10 mm, 20 mm e 29 mm, com base no software *open source* de gestão de águas no meio urbano (*Giswater*) considerando o bairro tal como ele se encontra atualmente, sem a implantação de SuDS, e depois com a instalação de telhados verdes, cobrindo 3,61% do bairro, com células de biorretenção (com uma cobertura de 10,34%), com trincheiras de infiltração (5,18%), com pavimentos permeáveis (com instalação em 2,98% das ruas e avenidas) e por último com reservatórios de chuva (com a maior cobertura prevista, 20,66%). Estas coberturas envolvem a área da tecnologia no bairro, a exemplo, 3,61 dos telhados das edificações teriam a tecnologia em telhado verde, e assim sucessivamente. Os resultados obtidos foram positivos em todas as tecnologias aplicadas, apresentando impactes na infiltração e redução do escoamento. O desempenho observado esteve diretamente relacionado com as áreas de cobertura previstas na modelação, como exemplo, os telhados verdes apresentaram uma redução de infiltração na ordem de 2,8 a 3,4% diminuindo à medida que aumentaram as chuvas modeladas. O melhor desempenho foi encontrado nos reservatórios de chuva, em que ocorreu uma redução média de 13,7% para a infiltração e cerca de 25% para o escoamento superficial. Todas as tecnologias produziram efeitos na redução do caudal afluyente (m³) ao descarregador do sistema unitário, com uma redução média de 3,4% para os telhados verdes, 4,1% para as células de biorretenção, 1% para as trincheiras de infiltração, 2,8% para os pavimentos permeáveis e 18% para os reservatórios de chuva. Assim, as tecnologias em SuDS ao serem corretamente implantadas nos centros urbanos, produzem efeitos positivos nos aspetos hidrológicos das bacias, para além de melhorar questões ambientais e até mesmo sociais devido à criação de mais espaços verdes, participativos e de integração com a natureza.

Palavras-chave: Giswater, Sistemas de Drenagem Sustentável (SuDS), Sistemas de Informação Geográfica

ABSTRACT

The urban growth with inadequate plan causes soil sealing, artificialization and verticalization in cities, which changes negatively to surface runoff, infiltration rates and other basin's hydrological parameters. In this context, the implementation of Sustainable Drainage Systems (SuDS) has shown positive results, promoting improvements in cities on the hydrological, hydraulic and landscape aspects, also possibiliting environmental return of ecosystem services to the population. In this way, this dissertation aimed to study the impact of the implementation of SuDS technologies in the Montigalà neighborhood, located in Badalona, Metropolitan Region of Barcelona (Spain). Using open source software for urban water management (Giswater), was evaluated the impact of rainfall of 5 mm, 10 mm, 20 mm and 29 mm, considering the zone as it currently stands, without the implementation of SuDS, and then with the installation of green roofs, covering 3.61% of the Montigalà zone with bioretention cells (with a coverage of 10.34%), with infiltration trenches (5.18%), with permeable pavements (with installation in 2.98% of the streets and avenues) and finally with rain barrel (with the highest expected coverage, 20.66%). These coverages involve the technology area in the neighborhood, for example, 3.61 of the building roofs should have green roof technology, the same for the other cover number technologies. In the modelling, the results were positive for all technologies applied, with impacts on infiltration and flow reduction. The observed performance was related to the coverage areas predicted, as an example, the green roofs showed an infiltration reduction in the order of 2.8 to 3.4%, decreasing as the modeled rainfall increased. The best performance was found in the rain barrel technology, with an average reduction of 13.7% for infiltration and about 25% for surface runoff. All technologies produced effects on the reduction of the inflow (m³) to the outlet of the unitary system (considered as CSO), with an average reduction of 3.4% for green roofs, 4.1% for bioretention cells, 1% for infiltration trenches, 2.8% for permeable pavements and 18% for rain barrel. Thus, SuDS technologies, when correctly implemented in urban centers, produce positive effects on the hydrological aspects of the basins, in addition to improving environmental and even social issues due to the creation of more green, participatory spaces and integration with nature.

Key-words: Giswater, Sustainable Drainage Systems (SuDS), Geographic Information Systems (GIS).

I. INTRODUÇÃO.....	1
I.1.Enquadramento.....	1
I.2.Eventos relacionados à água nas cidades e os impactes ambientais e sociais.....	3
I.3.As mudanças climáticas e os seus impactes nas cidades	5
I.4.Soluções para drenagem urbana	7
I.5.Os Sistemas Unitários de Águas Residuais e Pluviais e as Descargas de Sistemas Unitários	10
I.6.Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis.....	11
I.6.1. Telhados Verdes (Green Roofs).....	13
I.6.2. Células de Biorretenção (Bio-retention cells-BRC).....	16
I.6.3. Trincheiras de Infiltração (Infiltration Trench).....	17
I.6.4. Sistemas de Pavimentos Permeáveis (Permeable Paving Systems - PPS)....	19
I.6.5. Reservatórios de Chuva (Rain Barrels).....	20
I.7.O software GISWATER	22
I.8.Objetivos Geral e Específicos	24
II. METODOLOGIA	25
II.1.Caracterização da área de estudo	25
II.1.1. A Cidade de Badalona	25
II.1.2. Bairro Montigalà (Badalona, Espanha).....	27
II.2. Tratamento e cadastro dos dados no QGis/Giswater.....	29
II.2.1. Divisão da zona de estudo para modelação	29
II.2.2. Estudo e identificação dos coeficientes de escoamento.....	31
II.3. Tratamento e Cadastro dos dados no SWMM.....	34
II.3.1. Escolha dos SuDS para modelação.....	34
II.3.2. Ajustes na Rede	35
II.3.3. Chuvas consideradas para a modelação	41
II.3.4. Síntese dos Cenários de implantação e simulação de SuDS.....	42
III. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
III.1. O Bairro Montigalà sem a implantação de SuDS.....	44
III.2. Impacte da implantação dos Telhados Verdes	46
III.3. Impacte da implantação das Células de Biorretenção	49

III.4. Impacte da implantação das Trincheiras de Infiltração	52
III.5. Impacte da implantação dos Pavimentos Permeáveis	55
III.6. Impacte da implantação dos Reservatórios de Chuva	58
III.7. Avaliação do impacto dos SuDS/LIDs nas subcatments associadas	61
III.8. Redução de caudais no extravasor do sistema.....	63
IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS	64
ANEXO	73

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1 - a) Estruturas (camadas) comuns em telhados verdes; B) Telhado verde em British Horse Society.....	14
Figura I.2 - Telhados Verdes a) ETAR de Alcântara, Lisboa, Portugal; b) Sul da França, Marselha.	16
Figura I.3 - Exemplo de Célula de Biorretenção.	16
Figura I.5 - Trincheira de Infiltração.	19
Figura I.6 – Sistemas de Pavimento Permeável a) Camadas Típicas; b) Betão poroso; c) Pavimento Permeável.	20
Figura I.7 - Reservatório de chuva a) desenho esquemático; b) instalação em residência; c) Valorização e integração paisagística.....	22
Figura I.8- Esquema de aplicação usado pelo Giswater, centralizado na base de dados.	23
Figura II.1 - Área de estudo (badalona). a) localização dentro da Península Ibérica; b) recorte da Região da Catalunha e c) Badalona.	25
Figura II.2 - Sistema de Saneamento em Badalona.....	26
Figura II.3 - Bairro Montigalà, em Badalona. a) Localização em Badalona; b) e c) Foto aérea do bairro.	27
Figura II.4 – Parque de Montigalà, Badalona.....	28
Figura II.5 – Classificação litológica no Bairro Montigalà.	32
Figura II.6 - Inserção de dados de escoamento em cada elemento, considerando elevação do terreno.	33
Figura II.7 - Rede de Montigalà cadastrada no Giswater.	35
Figura II.8 - Rede do Bairro Montigalà no SWMM 5.2 e cadastro de LIDs	36
Figura II.9 - Exemplos de pontos críticos identificados para ajustes na rede na cidade de Badalona.....	36
Figura II.10 - Exemplos de troços com anomalias nas cotas de soleira	37
Figura II.11 - Chuva mensal média na Cidade de Badalona, Barcelona.	42
Figura III.1 - Infiltração (em mm/h) no Bairro Montigalà após eventos de chuva	44
Figura III.2 - Escoamento Superficial (em m ³ /s) durante as chuvas modeladas no estudo em Montigalà.....	45
Figura III.3 - Comportamento do caudal (m ³ /s) no DSU do bairro Montigalà	46
Figura III.4 - Impacte da implantação dos Telhados Verdes na infiltração do bairro Montigalà.....	47
Figura III.5 - Escoamento Superficial (em m ³ /s) após implantação de telhados verdes	48
Figura III.6 - Caudal afluente ao DSU (m ³ /s) após a implantação do telhado verde	49
Figura III.7 - Impacte da implantação das células de bio-retenção na infiltração do bairro Montigalà.....	50
Figura III.8 - Escoamento Superficial (em m ³ /s) após implantação de células de biorretenção.....	51
Figura III.9 - Caudal afluente ao DSU (m ³ /s) após a implantação da célula de biorretenção.....	52
Figura III.10 - Impacte da implantação das trincheiras de infiltração no bairro Montigalà, em termos de infiltração (mm/h).....	53
Figura III.11 - Escoamento Superficial (em m ³ /s) após implantação de trincheiras de infiltração.....	54

Figura III.12 - Caudal afluyente ao DSU (m ³ /s) após a implantação das trincheiras de infiltração.....	55
Figura III.13 - Impacte da implantação de Pavimento Permeável na infiltração do bairro Montigalà.....	56
Figura III.14 - Escoamento Superficial (em m ³ /s) durante as chuvas modeladas no estudo em Montigalà	57
Figura III.15 - Caudal afluyente ao DSU (m ³ /s) após a implantação do pavimento permeável.....	58
Figura III.16 - Infiltração (em mm/h) no Bairro Montigalà após implantação dos reservatórios de chuva	59
Figura III.17 - Escoamento Superficial (em m ³ /s) após a implantação de reservatórios de chuva em Montigalà	60
Figura III.18 - Comportamento do caudal (m ³ /s) no DSU com modelação da implantação de reservatórios de chuva no bairro Montigalà.....	61

I. INTRODUÇÃO

I.1. Enquadramento

O processo de urbanização associado ao crescimento populacional é uma das causas mais comuns do aumento das superfícies impermeáveis. Os impactos nos ecossistemas afetos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos desequilibram o regime de escoamento e de drenagem aumentando o risco de movimentos em massa, inundações e de saúde (Tundisi, 2008), suscitando consequências negativas de ordem socioeconómica.

Um outro agravante são os efeitos das alterações climáticas que estão causando eventos mais intensos de chuvas, secas, ondas de calor, e que refletem significativamente na modificação dos ciclos hidrológicos, onde suas consequências são a principal ameaça no desenvolvimento sustentável do planeta e, portanto, o maior desafio ambiental, económico e social a ser enfrentado no século XXI (Marengo, 2008; Aguiar *et al.*, 2018; Momparler *et al.*, 2019). O campo dos recursos hídricos sofre implicações severas e são efetivamente prejudicados por este efeito, uma vez que as alterações climáticas exercem grandes impactos no ciclo da água, nomeadamente, na medida em que influenciam a evapotranspiração, devido ao aumento das temperaturas, e modificam os padrões relativos aos extremos de precipitação (tanto em questão temporal como espacial), afetando diretamente o escoamento superficial e a frequência e magnitude das inundações (Momparler *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2019).

Mesmo com as melhorias nas infraestruturas na captação de águas residuais e pluviais e a crescente cobertura de saneamento nas cidades, outras intervenções são necessárias para melhorar o ciclo urbano da água. Na Europa, as cidades são amplamente infraestruturadas, com taxas de captação de águas residuais de 97% nos países do centro-ocidental, e de cerca de 70% nos países do sul, sudeste e leste (EEA, 2020). Embora já em desuso devido às atualizações de normativas europeias, grande parte das cidades neste continente possuem sistemas unitários de drenagem e pluviais, projetados para captar o escoamento da água da chuva, efluente doméstico e efluente industrial no mesmo coletor. Em eventos onde os sistemas unitários não suportam o caudal de entrada no sistema, ocorrem as Descargas de Sistemas Unitários (DSU), que apesar de ser um mecanismo de segurança de rede, podem resultar numa preocupação ambiental e de saúde pública.

Assim, é crucial realizar um planeamento e gestão das infraestruturas urbanas por forma a reduzir os impactes negativos da água nas cidades (Dias, 2014).

Uma importante ferramenta para o planeamento urbano são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pois permitem a gestão dos recursos hídricos, secas e inundações, simulação de escoamento, mapeamento de massas de água e gestão de riscos (Musakwa, 2017) e desempenham um papel fundamental na modelação e previsão de cenários no contexto urbano, imprescindíveis ao apoio na decisão das entidades gestoras.

No contexto das infraestruturas urbanas, uma tendência internacional para a minimização dos impactes relacionados com os transtornos potencializados pelas alterações climáticas, relativos ao ciclo urbano da água, é a implementação de tecnologias que reproduzam os efeitos da natureza, deixando os ambientes urbanos o mais semelhante possível aos ambientes naturais. Essas medidas são conhecidas coletivamente usando diferentes terminologias, como Sistema de Drenagem Urbano Sustentável (*Sustainable Drainage Systems*, SuDS), Design Urbano Sensível à Água (*Water Sensitive Urban Design*, WSUD), Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development*, LID), Melhores Práticas de Gestão (*Best Management Practices*, BMPs), Infraestrutura Verde (*Green Infrastructure*, GI) ou Medidas de Controle de Águas Pluviais (*Stormwater Control Measure*, SCMs), entre outros termos, cujo uso depende do contexto, da região e do foco principal dessas medidas (Joshi *et al.* 2021), mas ao fim todas elas buscam proporcionar uma melhor gestão do escoamento nas cidades a partir de uma abordagem amiga da natureza, atuando desde a origem, de forma racional e mais sustentável (Mahaut & Andrieu, 2019).

Este estudo é parte integrante de uma investigação realizada em parceria com a empresa BGeo para a cidade de Badalona. Pretende-se, através de modelações e com recurso ao software *open source Giswater*, avaliar os impactes na rede de águas residuais e no meio ambiente, causados por diferentes eventos de chuva e diferentes períodos de retorno no bairro Montigalà, situado na cidade de Badalona (Barcelona, Espanha). Também serão propostas melhorias urbanas para a minimização destes impactes com a inserção de SuDS, avaliando os melhores cenários de implantação dessas tecnologias em diferentes zonas do bairro sob o ponto de vista hidráulico e hidrológico, observando as características locais, a sua aplicabilidade e obedecendo aos princípios técnicos de cada um dos elementos em SuDS utilizados.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: a introdução, que envolve uma contextualização dos assuntos abordados, abrangendo as questões relativas às mudanças climáticas, os seus impactes negativos nos centros urbanos, um breve histórico das infraestruturas urbanas para a gestão de águas residuais e pluviais e as novas soluções para a melhoria urbana nesses aspetos com um maior detalhe das tecnologias SuDS, principalmente as que serão avaliadas nesta investigação e contemplará também os objetivos deste trabalho. Vale acrescentar que a revisão da literatura foi incorporada neste capítulo de forma a dar mais fluidez à leitura da dissertação. A metodologia apresentará os métodos utilizados e a descrição dos procedimentos para cada etapa do trabalho por forma a concretizar os objetivos propostos. Nos resultados serão realizadas as respetivas discussões das modelações realizadas. Por último serão apresentadas as considerações finais e perspetivas futuras.

I.2. Eventos relacionados à água nas cidades e os impactes ambientais e sociais

Antes de abordar os impactes das mudanças climáticas nas cidades, é preciso contextualizar a evolução da urbanização do mundo. Desde meados do século passado tem-se observado um rápido crescimento populacional uma vez que a população urbana, passou de 751 milhões em 1950 para 4,2 bilhões em 2018. De acordo com dados da ONU, naquele ano, pouco menos de um terço da população mundial era urbana, entretanto, com o crescimento demográfico observado, em 2018 a população urbana passou a ser 55% da população mundial e as projeções indicam que esse valor subirá para 68% de pessoas nas cidades em 2050 (*United Nations*, 2018).

Dados de 2018 apontam que as regiões mais urbanizadas ficavam na América do Norte com 82% de população, a América Latina e Caribe com 81%, a Europa com 74%, a Oceania com 68% e a Ásia com 50%. Por outro lado, o continente africano continua predominantemente rural, com 57% da população a viver nessas áreas. De acordo com o relatório das Nações Unidas, a população rural global em 2018 estava perto de 3,4 bilhões e diminuirá para cerca de 3,1 bilhões em 2050 (*United Nations*, 2018).

Especificamente nos países da União Europeia (UE), a percentagem de cidadãos que viviam em cidades subiu de pouco mais de 50% em 1950 para mais de 75% em 2010, com uma previsão de chegar a cerca de 85% nos próximos 40 anos (*United Nations*, 2019).

Este crescimento urbano resulta em alterações no uso e ocupação do solo causando diminuição da vegetação, impermeabilizações e artificialização da paisagem. Como consequência, ocorrem as alterações no escoamento superficial dando origem a sobrecarga nos sistemas de drenagem e em maiores riscos de enchentes e inundações urbanas. Portanto, o desenvolvimento urbano sem o devido planejamento aumenta este risco na medida em que aumenta as áreas impermeáveis de uma bacia hidrográfica, reduzindo a capacidade de infiltração e armazenamento de água. Aliado a esta problemática, a carência de sistemas de drenagem associados e de um ordenamento do território deixa as cidades ainda mais vulneráveis a chuvas (Skilton, 2010; Dias, 2014).

Assim, as inundações em espaços urbanos passaram a ser uma problemática social pelo seu efeito na saúde pública, meio ambiente e perda econômica. As ocorrências de fenômenos extremos relacionados com a água aumentam os riscos para as infraestruturas de água, saneamento e higiene (*Water, Sanitation and Hygiene – WASH*), podendo resultar em danos nos sistemas de saneamento ou inundações de estações de bombagem de águas residuais, que provocam a disseminação de fezes, protozoários e vírus, podendo causar graves riscos à saúde (UNESCO, 2020).

É interessante referenciar que em áreas sob influência das marés, os eventos de precipitação podem causar danos ainda maiores nos sistemas de drenagem e coleta de águas residuais. Ao combinar um sistema de saneamento vulnerável com eventos de chuva e oscilações das marés, os prejuízos no meio urbano agravam-se (Silva *et al.*, 2017). Portanto, as regiões costeiras baixas são mais vulneráveis às inundações devido aos lençóis freáticos serem mais altos, ao aumento do nível médio do mar e à ocorrência em simultâneo dos fenômenos de preia-mar e precipitação intensa (Sukop *et al.*, 2018).

Relativamente às cidades europeias, Tapia *et al.* (2017), publicaram um estudo apresentando as suas vulnerabilidades face a eventos relacionados às alterações climáticas, agrupando estas vulnerabilidades em aglomerados (*clusters*). O cluster 1 incluía cidades com baixa a média vulnerabilidade a ondas de calor, secas e inundações e neste grupo podem-se citar as cidades de Coimbra e Sevilha. O cluster 2 com vulnerabilidade média a alta para os mesmos parâmetros, pertencendo a este grupo Luxemburgo e Lyon. Já o grupo classificado no cluster 3 inclui cidades com uma média vulnerabilidade a ondas de calor e secas e médias a baixas vulnerabilidades para inundações, sendo o Porto, Paris e Nápoles, exemplos desse grupo. A cidade de Badalona,

nesse estudo ficou enquadrada no cluster 4, que diz respeito às cidades com alta vulnerabilidade aos três potenciais problema. Também são exemplo de cidades inseridas neste cluster 4, Viena, Bruxelas, Sófia, Lemosos, Praga, Frankfurt (Oder), Tallinn, Marselha, Atenas, Roma, Riga, Lisboa, Bucareste e Sandwell, mencionando uma cidade representativa em cada país (Tapia, *et al.*, 2017). De acordo com esse estudo, esses aspetos de vulnerabilidade exigem uma visão estratégica de forma a aumentar a resiliência urbana, adotando intervenções que resultem na redução dos riscos urbanos a que estas cidades estão sujeitas.

I.3. As mudanças climáticas e os seus impactes nas cidades

O Quarto Relatório Científico do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) evidencia que as mudanças climáticas estão a afetar todo o planeta, provocando o aumento da frequência e da intensidade dos fenómenos climáticos extremos, como por exemplo o caso das secas, inundações, as ondas de frio e as ondas de calor (World Wildlife Fund, 2018; Aguiar, *et al.*, 2018). As principais conclusões desse relatório sugerem que o aquecimento global dos últimos cinquenta anos é causado pelas atividades humanas (Trenberth *et al.*, 2007; Meehl *et al.*, 2007).

De acordo com estudos mais recentes do IPCC, as mudanças incluem aumentos nas temperaturas da terra e do oceano, bem como ondas de calor mais frequentes na maioria das regiões terrestres. Há evidências que o aquecimento global induzido pelo homem levou a um aumento na frequência, intensidade e/ou quantidade de eventos de precipitação intensa (definida como a precipitação máxima anual consecutiva de 5 dias) em escala global, bem como um aumento do risco de seca na região do Mediterrâneo. Apenas no decorrer do ano de 2007, segundo a ONU, 117 milhões de pessoas em todo o mundo foram vítimas de cerca de trezentos desastres naturais, incluindo secas devastadoras na China e em África e inundações em zonas do continente asiático e africano (Marengo, 2008; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018; EEA, 2019). Inundações mundiais e eventos extremos de precipitação aumentaram mais de 50% nesta década, e estão a ocorrer a uma taxa quatro vezes maior do que em 1980. Outros eventos climáticos extremos, como tempestades, secas e ondas de calor aumentaram mais de um terço nesta década, assumindo valores duas vezes superior face a 1980 (WEF, 2019; UNESCO, *UN-Water*, 2020).

Segundo o Fórum Económico Mundial, desde 2014, os eventos meteorológicos extremos representam forte risco mundial no contexto económico, na medida que têm alta probabilidade de ocorrer em todo o globo, e que serão necessários investimentos para a remediação dos seus prejuízos (WEF, 2019). As secas ou as inundações surtem impactes negativos na produção agrícola, na produtividade dos trabalhadores afetados, na redução da oferta de água devido depreciação da sua qualidade, em problemas de saúde pública, entre outros que afetam a economia no mundo inteiro.

As alterações climáticas exercem, portanto, grandes impactes no ciclo da água e nos padrões extremos de precipitação afetando diretamente o escoamento superficial, a frequência e a magnitude das inundações. Nas cidades, com o aumento das superfícies impermeáveis associadas ao crescimento urbano muitas vezes desordenado, têm impactes graves nas infraestruturas de abastecimento de água e de saneamento, tornando a população mais vulnerável (Zhou *et al.*, 2019; UNESCO, *UN-Water* 2020).

De acordo com estudos de Kondratenko *et al.* (2021) que teve por objetivo avaliar a adaptabilidade de cidades dos países Bálticos às mudanças climáticas, observaram que as técnicas para a gestão de eventos extremos de chuva ainda são pontuais e pouco difundidas, tornando-se necessária uma apresentação de políticas que integrem a infraestrutura urbana integrando com a gestão de águas pluviais, em termos de qualidade e quantidade. No estudo pontuaram ainda que devem ser observadas e reduzidos os danos causados por inundações urbanas associadas a eventos extremos de precipitação; diminuindo também a poluição da água e garantir o bom estado ecológico dos córregos urbanos, rios e outros corpos d'água recetores; promover a melhoria da biodiversidade urbana e o valor dos serviços ecossistêmicos; alcançar, sempre que possível, o equilíbrio hídrico natural; garantir a combinação de infraestrutura cinza e verde por serem mais económicas e trazerem maior gama de benefícios; além da criação de espaços urbanos multifuncionais, socialmente inclusivos e integrados. Assim, o que se espera é que as cidades invistam em melhorias nas infraestruturas para mitigar os eventos de chuvas intensas e reduzam os impactos negativos trazidos por estes e outros eventos relacionados às mudanças climáticas.

I.4. Soluções para drenagem urbana

De acordo com alguns registos históricos, a eliminação dos excrementos humanos era realizada por meio de buracos no solo cobertos após o uso, prática inclusive referida na Bíblia Sagrada¹ (Dt:23:12,13), tendo evoluído ao longo da história da humanidade. No Império Mesopotâmico (3500–2500 aC), nas ruínas de Ur e da Babilónia, existiam restos de casas que foram conectadas a um sistema de drenagem para transportar os resíduos. Os antigos povos gregos (300 aC a 500 dC), possuíam latrinas públicas que drenavam para tubagens e que por sua vez transportavam as águas residuais e pluviais para uma bacia de coleta fora da cidade. Durante o período romano, os romanos administravam o ciclo da água desde a coleta até à eliminação, fornecendo redes duplas para coletar água da nascente e eliminar águas pluviais e residuais, sendo a Cloaca Máxima, o equipamento mais famoso e também o maior efluente antigo conhecido, construído durante a dinastia de Tarquin (século 6 a.C.) (Lofrano & Brown, 2010).

Desde os tempos mais remotos, portanto, existe a preocupação com o saneamento. Muito se evoluiu até atualmente, com soluções cada vez mais inovadoras para conseguir segurança hídrica e redução de impactes ambientais.

Hoje existem várias concepções de sistemas de saneamento. Segundo a regulamentação portuguesa em vigor, Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), os sistemas de drenagem das águas residuais podem ser classificados da seguinte forma:

Separativos, constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;

Unitários, constituídos por uma única rede de coletores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais (também conhecidos como sistema combinado);

¹ Deuterónimo 23: ¹²Providencie um lugar fora do acampamento para suas necessidades, e é para lá que deves ir. ¹³ Entre os teus utensílios, deves ter uma pequena pá. Quando te abaixares lá fora, deves cavar um buraco com ela e cobrir o teu excremento.

Mistos, constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema combinado e a restante como sistema separativo;

Separativos parciais (ou pseudo-separativos), admitido, em condições excepcionais, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas.

Nas novas áreas urbanas da Ásia, Austrália e América do Norte e no Brasil predominam os sistemas separativos. Apesar destes sistemas diminuírem a vulnerabilidade das cidades em termos de riscos para a saúde pública, a sua instalação pode torná-los mais vulneráveis a eventos de precipitação extrema e quando em zonas costeiras estão submetidas às influências marítimas. Isto por que as redes coletoras estão suscetíveis a infiltrações, e parâmetros como nível do lençol freático, material do solo, permeabilidade, tipo de material da rede coletora, assentamentos de tubos, juntas, poços de visitas, imperfeições nas paredes dos condutos podem exercer influências negativas na infiltração e no correto funcionamento da rede (Monteiro & Capeli, 2018; Bonito, 2014). Nas áreas costeiras a intrusão salina (avanço da água do mar para as águas subterrâneas) é um evento comum quando da exploração inadequada dos lençóis freáticos.

Já os sistemas mistos são o tipo mais comum de drenagem urbana na Europa Ocidental e nas zonas urbanas mais antigas da América do Norte (Dias, 2014). Os sistemas unitários das águas residuais e pluviais são projetados para coletar o escoamento da água da chuva, efluente doméstico e efluente industrial no mesmo coletor. Na maioria das vezes, os sistemas unitários transportam toda a água que entra no sistema para uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR), onde são tratadas e depois devolvidas ao meio hídrico, em concordância com os padrões legais de descarga para o mesmo, dentro das normativas existentes (EPA, 2020). Este tipo de sistema originou-se em 1815 na cidade de Londres, sendo adotado principalmente em países com índices pluviométricos relativamente baixos, chuvas com baixa intensidade (característicos de países de clima temperado), áreas urbanas pavimentadas e consideravelmente impermeabilizadas. Na Inglaterra, onde originou-se a tecnologia, a área servida em 2009 pelo sistema unitário era de 70%, na Alemanha 67%, na França 75%, Itália 60%, Holanda 74% e na Espanha 96% (Volschan & Tsutiya, 2009). Conforme dito por Dias (2014), as cidades da Europa têm a sua infraestrutura de forma mista, e apesar das diretivas da União Europeia direcionarem para a coleta em modelo separativo, as cidades já consolidadas

alteram sua infraestrutura de forma gradual e o sistema combinado ainda prevalece (Quaranta *et al.*, 2022; Pistocchi *et al.*, 2019).

Os centros urbanos ainda estão regulados no conceito de higienismo que promove a remoção, normalmente pelo afastamento, o mais rápido possível, das águas pluviais e residuais das áreas urbanas. À parte dos sistemas de águas residuais provenientes das atividades comerciais, industriais e das residências, ao abordar os conceitos de drenagem urbana, puramente relacionada às águas pluviais, apesar de haver tecnologias baseadas na natureza como soluções para estas questões, a solução simplesmente higienista vigorou por mais de um século como verdade absoluta e foi uma solução eficiente, naquele momento, para o controlo de epidemias (Rimes, 2015).

O sistema clássico de drenagem é caracterizado pela captação e transporte das águas superficiais para galerias, que afastam estas águas do convívio com a população. Entretanto, este sistema começou a ser questionado quando a urbanização se intensifica, normalmente sem o devido planeamento, acompanhado da impermeabilização do solo. Os processos hidrológicos mudaram e as soluções tradicionais tornaram-se ultrapassadas rapidamente, causando inundações (Rimes, 2015).

Assim, a gestão de águas pluviais exige um conhecimento para compreender, controlar e utilizar a água nas suas diferentes formas dentro do ciclo hidrológico (Wanielista *et al.*, 1997). A componente primordial da gestão de águas pluviais é o sistema de drenagem. Wanielista *et al.* (1997) classificaram as seguintes funções, consideradas vitais para os sistemas de drenagem urbana:

Remover as águas pluviais das ruas/avenidas e permitir o transporte para funcionar durante eventos extremos, assim a expectativa de vida dos pavimentos nas estradas é aumentada;

Controlar as taxas e velocidade do escoamento pelas calhas e outras superfícies como uma maneira de reduzir os riscos a residentes locais e potenciais danos aos pavimentos;

Transportar o escoamento para as principais redes de drenagem, sejam elas para descargas em meio natural ou em outras infraestruturas de coleta e tratamento;

Poder ser também concebidos para evitar a descarga de materiais poluentes em meios aquáticos recetores, evitando assim sua contaminação;

Oferecer oportunidades de uso múltiplo, como recreação, integração paisagística e reservas de vida selvagem.

I.5. Os Sistemas Unitários de Águas Residuais e Pluviais e as Descargas de Sistemas Unitários

De acordo com Botturi *et al.* (2020), na Europa, existem dois tipos principais de sistemas para coletar e transportar águas residuais: o sistema separado e o sistema unitário. Como referido anteriormente, no sistema separado ou separativo, as águas residuais e pluviais são transportadas em dois coletores distintos. Os efluentes provenientes de residências e de indústrias são transportados para ETARs e a água da chuva é descarregado meio natural mais próximo, geralmente apenas com pré-tratamento físico para remoção dos sólidos mais grosseiros. Embora o escoamento das superfícies urbanas possa transportar contaminantes ao longo do caminho (como patógenos, hidrocarbonetos, areias, sedimentos, produtos químicos e metais pesados), esta descarga geralmente não exige uma licença ambiental, mas pode ser fiscalizada por reguladores ambientais a depender do país onde os sistemas são implantados (Jotte *et al.*, 2017).

No Sistema Unitário (SU) as águas residuais e pluviais são transportadas numa rede unificada para a ETAR centralizada. Sob condições de tempo seco, o SU coleta apenas águas residuais municipais e industriais, e em condições de chuva, é misturado com as águas de escoamento superficial.

Durante os períodos de eventos naturais extremos, como precipitações mais intensas, degelo ou efeito das marés, o volume de águas residuais a ser descartado num sistema unitário de águas residuais pode exceder a capacidade deste sistema ou da estação de tratamento. Por esse motivo, na rede do SU é inserido um mecanismo que atua como um descarregador, projetado para transbordar ocasionalmente e descarregar o excesso de água residual diretamente em córregos, rios ou outro meio natural/massa de água próximos. Estas infraestruturas são chamadas de Descarregadores de Sistemas Unitários (DSU) de Águas Residuais e Pluviais (em inglês, *Combined Sewer Overflow*, CSO) e são usadas para manter os volumes de rede normalizados e proteger as propriedades de eventuais inundações. Contudo, estas descargas estão associadas à problemática da poluição dos recursos hídricos porque para além das águas da chuva, também águas residuais domésticas e industriais não tratadas, materiais tóxicos e detritos são descarregados nos corpos receptores. Esta temática tem causado grande preocupação nos

países desenvolvidos, nomeadamente, nas cidades do Estados Unidos e da Europa, pelo que estudos ligados estas temáticas têm vindo a ser desenvolvidos (Alon *et al.*, 2016).

Mahaut & Andrieu (2019) referiram que na cidade de Nantes (França), anualmente, as descargas de águas residuais para o meio ambiente atingiram cerca de 10% do volume total que flui no sistema. A poluição causada por este fenómeno está longe de ser desprezável, sendo estudado desde 1970 (Butler & Davies, 2000). Contudo, o efeito desta poluição difusa tem sido subestimados pelos políticos, mídia e público em geral.

I.6. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis

De forma a minimizar os impactes negativos causados pelas descargas de águas residuais e pluviais (DSU) sem o devido tratamento para o meio ambiente, várias técnicas têm vindo a ser desenvolvidas: (i) Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development - LID*); (ii) Melhores Práticas de Gestão (*Best Management Practices - BMP*); (iii) Jardins de Chuva (*Rain Gardens - RG*); (iv) Mecanismos para retenção de água da chuva (*Rain Harvesting - RWH*); (v) e Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems - SuDS*). A abordagem da drenagem sustentável está comprometida não apenas com o controlo dos caudais e volumes, mas também com a qualidade das águas de escoamento. Recorrendo ao conceito “*Nature based*” são reproduzidos e/ou restaurados os processos hidrológicos naturais anteriores ao desenvolvimento e a impermeabilização da cidade, nomeadamente, a infiltração, filtração, armazenamento e evapotranspiração. Os SuDS podem ser utilizados como alternativa aos sistemas de drenagem convencionais ou em combinação com estes (Momparker *et al.*, 2019).

De acordo com Fletcher *et al.* (2015), os SuDS consistem numa gama de tecnologias e técnicas usadas para drenar águas pluviais/superficiais de forma mais sustentável face às soluções convencionalmente utilizadas em engenharia civil, nomeadamente, as redes coletoras, os dispositivos de entrada (sarjetas de passeio, sumidouros, câmara de visita), os descarregadores de tempestade e instalações complementares, uma vez que os SuDS simulam a hidrologia natural do local de pré-urbanização, e seguem os princípios e objetivos do desenvolvimento de baixo impacto ambiental. Exemplos dessas técnicas incluem telhados verdes, superfícies permeáveis, valas de infiltração, drenos de filtro e tiras de filtro, valas-canais de drenagem rasos,

bacias de detenção e tanques construídos e *wetlands* (Pappalardo *et al.*, 2017; Lourenço, 2014).

Os SuDS influenciam então na reversão desta tendência, reduzindo a velocidade e o pico do escoamento urbano, de modo que as inundações e a erosão do curso de água natural, para o qual as águas pluviais são despejadas, sejam menos prováveis. Como resultado com o uso dos SuDS tem-se uma absorção e restabelecimento do ciclo da água dentro das cidades, por meios naturais minimizando assim, a ocorrência de efluentes pluviais. Embora ainda se espere alguma descarga para o sistema de águas residuais, o escoamento de águas pluviais na rede reduzirá a probabilidade de ocorrer sobrecarga e derrames (Butler & Davies, 2000; Kabisch *et al.*, 2017; Momparler *et al.*, 2019). No aspeto de qualidade da água, as técnicas de SuDS beneficiam a cidade pela redução da erosão por meio dos controlos urbanos de caudal, pelos mecanismos de infiltração e a consequente filtração natural e as eventuais atividades biológicas, favorecendo a melhoria da qualidade da água. Os SuDS também preservam ou melhoram a vegetação natural e os habitats da vida selvagem em áreas urbanas; podem aumentar a humidade do solo e restabelecer os lençóis freáticos; e podem ser usados para fornecer água armazenada para reutilização (Butler & Davies, 2000; Kabisch *et al.*, 2017; Jiménez Ariza *et al.*, 2019). Outra mais-valia dos SuDS é a descentralização, uma vez que as descargas são realizadas para diferentes superfícies públicas ou privadas devido à quantidade de tecnologias em SuDS disponíveis e sua versatilidade em tamanho, custos, infraestrutura e manutenção (Jiménez Ariza *et al.*, 2019). Portanto, com técnicas pequenas e descentralizadas, os SuDS podem aliviar os impactes adversos da poluição por fontes difusas nos corpos d'águas urbanos (Zhou, 2014).

Alguns exemplos pela Europa evidenciam o bom desempenho de tecnologias em SuDS para melhoria urbana. Na cidade de Malmö, Suécia, para evitar a descarga das ETARs em áreas costeiras, um sistema aberto de águas pluviais foi projetado para acomodar um evento de chuva de 15 anos e inclui 6 km de canais de água, 10 lagoas de retenção, 30 telhados verdes e um jardim botânico em um telhado industrial antigo. A precipitação é armazenada em fossos naturais e reservatórios antes de ser direcionada para um sistema de águas residuais convencional. O sistema é integrado em espaços verdes que podem ser temporariamente inundados para amortecer o escoamento, retardando a sua entrada no sistema convencional de águas pluviais. Este sistema evita o

uso de energia desviando a água da chuva dos sistemas de coleta e tratamento de águas residuais (EEA, 2020).

Riechel *et al.*, (2020) apresentaram um estudo em Berlim sobre a redução do escoamento superficial de 28%–39%; de 45%–58% no volume de DSU, quando associadas a três estratégias de SuDS, nomeadamente, diferentes coberturas de telhados verdes, valas de infiltração e células de biorretenção.

Para o sucesso da implantação dos SuDS é necessário, entretanto, avaliar as condições urbanas e a sua compatibilidade com cada uma das tecnologias que compõem esses sistemas, uma vez que as tecnologias em SuDS devem estar perfeitamente alinhadas com as necessidades da cidade, relacionadas à manutenção, vizinhança, integração e harmonia paisagística. Adicionalmente, é importante que quaisquer das tecnologias SuDS a serem implementadas sejam devidamente instaladas nos locais, com os requisitos e as especificações técnicas apropriadas para além do investimento na manutenção. Outra questão que deve se observar para uma melhor gestão das águas urbanas é a possibilidade de combinar mais de uma tecnologia em SuDS, ou os chamados Sequência de Tratamento em SuDS em livre tradução (ou *SuDS Treatment Trains (SuTT)*, em inglês) que combinam sequencialmente diversas tipologias de SuDS reduzindo os escoamentos de águas pluviais enquanto também melhoram a qualidade dessas águas (Huertas *et al.* 2019).

Dentro do contexto da cidade onde este estudo se passa, Badalona está densamente urbanizada e impermeabilizada e vê-se nela as dificuldades em substituir a infraestrutura já existente por SuDS. Entretanto, para efeitos de avaliação dos efeitos da implantação desses sistemas, foram avaliados os impactos na instalação de diversas tipologias, sendo elas as células de biorretenção (*bio-retention cell*), telhados verdes (*green roofs*), trincheiras de infiltração (*infiltration trench*), pavimentos permeáveis (*permeable pavement*) e reservatórios de chuva (*rain barrel*). Estes representam os processos SuDS e de *Low Impact Development* que constam no software *Storm Water Management Model* (SWMM), versão 5.2 da *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) e que serão modelados nesse trabalho. Assim será realizado uma breve descrição de cada um deles.

I.6.1. Telhados Verdes (Green Roofs)

Os telhados verdes constituem um sistema de multicamadas (Figura I.1), que cobrem o teto de uma edificação e podem ser classificados como intensivos ou extensivos. No tipo

intensivo, as camadas de substrato são mais espessas, (e, portanto, exercem maior sobrecarga nas estruturas dos edifícios), podem suportar uma grande variedade de vegetação, incluindo arbustos e até mesmo árvores, o que exige uma maior manutenção. O tipo intensivo permite uma maior interação paisagística e um maior benefício em relação à biodiversidade e fornecimento de mais serviços ecossistêmicos. Já os telhados extensivos, têm uma menor camada de substratos, o que limita a vegetação que pode ser aplicada, sujeitando as edificações a menos sobrecargas e uma manutenção menos rigorosa. Este tipo de telhado apresenta habitualmente espessuras de 20 a 150 mm podendo dispensar a necessidade de reforma em edificações que não tenham tido inicialmente previsto telhado verde na sua estrutura (Woods Ballard *et al.*, 2015).

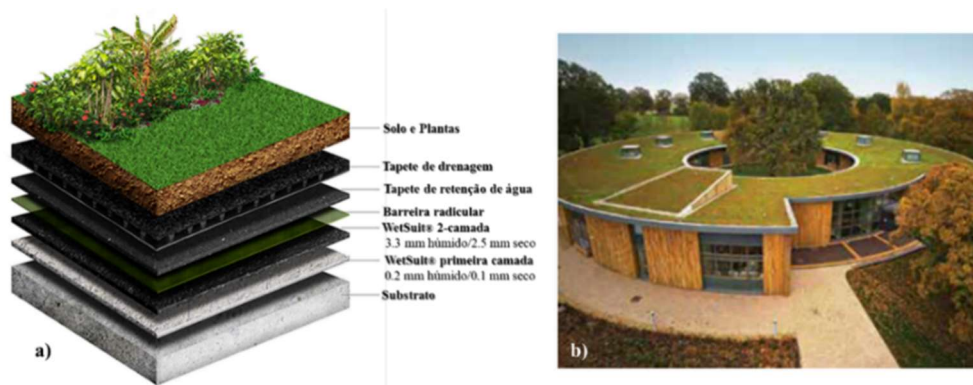


Figura I.1 - a) Estruturas (camadas) comuns em telhados verdes; B) Telhado verde em British Horse Society. Adapt. de Google Imagens, 2022; Woods Ballard *et al.*, 2015.

Os telhados verdes com substratos em camadas variando entre 100 e 200 mm podem ser considerados semi-intensivos e podem incluir características de ambos os tipos de tipologias de telhados, com plantas que incluem arbustos ou árvores. A irrigação e manutenção desse tipo de telhado dependem das espécies escolhidas para a composição do telhado. Também existem várias combinações de telhados verdes que se utilizam das duas tipologias num único sistema de telhado verde (Woods Ballard *et al.*, 2015).

Telhados e paredes verdes são capazes de fornecer vários serviços ecossistêmicos, como a regulação da temperatura interna e externa e consequente redução nos custos de consumo de energia para climatização do ambiente, absorção do ruído urbano, reduzindo a transmissão do som e promovendo o isolamento acústico, substituição da paisagem permitindo a recuperação de habitats e proteção da vida selvagem urbana e por último a redução de poluentes do ar (Rimes, 2015; Bianchini & Hewage, 2012). Assim, é plausível afirmar que o uso de telhados verdes é benéfico, primeiro, por controlar as variações de

temperatura de um edifício, o que reduz a utilização de aquecimentos e de ar condicionado, portanto, menos dióxido de carbono é libertado pelas indústrias de energia; e segundo, com a fotossíntese das plantas ocorre o sequestro do dióxido de carbono da atmosfera, purificando-a e incorporando-o na biomassa. Peng & Jim (2015) verificaram que ocorreu uma redução do consumo total de energia para arrefecer, no verão, os edifícios com telhados verdes extensivos em 14% e em 23% em telhados verdes intensivos, em Hong Kong. Currie & Bass (2008) estimaram que 7,87 toneladas métricas de poluição do ar podem ser reduzidas anualmente por 109 ha de telhados verdes em Toronto (Bianchini & Hewage, 2012; Currie & Bass, 2008; Teotónio & Cruz, 2021). Ainda em Hong Kong, a extrapolação dos resultados dos estudos realizados por Peng & Jim (2015) para toda a escala da cidade indica que o telhado verde pode ajudar adequadamente a cumprir a meta de redução de emissões de CO₂ estabelecida pelo governo de Hong Kong (0,8–1,4 milhão t/ano).

Além dos benefícios ambientais e ecológicos, os benefícios sociais compreendem uma melhor qualidade de vida e saúde pública, espaços atraentes para uso recreativo e requinte no edifício. Do ponto de vista dos proprietários e dos potenciais investidores, essas soluções melhoram o desempenho dos edifícios, protegendo e aumentando a durabilidade dos revestimentos de telhados e paredes, reduzindo o consumo de energia (He *et al.*, 2021; Teotónio & Cruz, 2021; Bianchini & Hewage, 2012).

Já as desvantagens da tecnologia estão relacionadas com os custos de instalação e por vezes a manutenção. Existe a necessidade de reforma/adaptações da instalação devido à sobrecarga nos edifícios, o que implica uma revisão do projeto estrutural assinalando onde os pilares, vigas e lajes devem ser modificados, manutenção periódica observando os crescimentos da vegetação, para evitar degradação do sistema estrutural devido ao seu crescimento descontrolado, em particular a danificação das camadas de impermeabilização pelas raízes, principalmente nos telhados intensivos e semi-intensivos (Ramos, 2021). Portanto, o sucesso em relação a instalação dos telhados verdes, depende de um trabalho multidisciplinar entre os engenheiros civis (com particular respeito à capacidade estrutural do edifício, uma vez que haverá um incremento de carga que deverá ser suportado), arquitetos, paisagistas, ecologistas e também deve ser considerada a manutenção necessária. Devem ser observados os requisitos de acessibilidade, os objetivos relacionados à biodiversidade, o impacto visual desejado relativo à estética e à necessidade com a integração a outros equipamentos como painéis solares, centrais de

condicionadores de ar, entre outros. Deve ser observada também a resistência à penetração das raízes e colocada uma camada de proteção ao telhado (Woods Ballard *et al.*, 2015). A EPAL em Lisboa passou por uma remodelação da sua ETAR de Alcântara e incorporou a tecnologia de telhado verde e em França foi criado processo de consulta democrática com o objetivo de combater as alterações climáticas, sendo uma das premissas a cobertura de pelo menos 30% do edifício com telhado verde (Figura I.2 -).

Essas soluções promovem uma rede de drenagem sustentável por meio da gestão de escoamento e controlo de inundações tornando-se exemplos de sucesso de intervenções na cidade esponja.



Figura I.2 - Telhados Verdes a) ETAR de Alcântara, Lisboa, Portugal; b) Sul da França, Marselha. Disponível em EPAL, 2021 e Google Imagens, 2022.

I.6.2. Células de Biorretenção (Bio-retention cells-BRC)

Trata-se da tecnologia mais utilizada como solução em SuDS para drenagem (Johnson & Hunt, 2019). Consiste numa depressão paisagística rasa, tipicamente subdrenados e acrescidos de camadas filtrantes e vegetação que permitem filtrar as águas de chuva, removendo cargas poluentes e reduzindo o escoamento a jusante (Figura I.3)

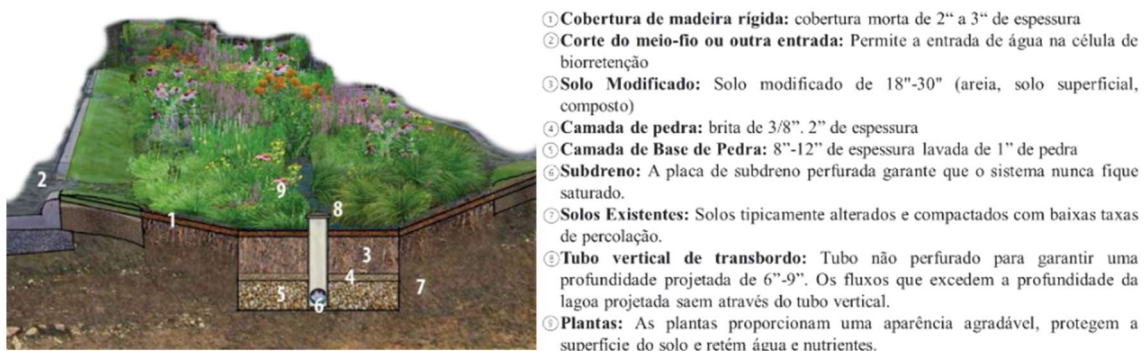


Figura I.3 - Exemplo de Célula de Biorretenção. Adapt. de Google Imagens (2022) e https://www.hiawatha-iowa.com/pdf/Biocell_Brochure.pdf

Desenvolvido pela primeira vez no início da década de 1990, os sistemas de biorretenção são amplamente utilizados no mundo e o seu sucesso atribui-se ao facto de atender bem às metas hidrológicas relativas ao controlo do escoamento e à qualidade da água (Johnson & Hunt, 2019). Para além de serem capazes de reduzir os caudais de pico de escoamento durante os eventos de chuva, os sistemas de biorretenção oferecem alta capacidade de remoção de alguns metais pesados, sólidos em suspensão, óleos, bactérias patogênicas por meio de processos químicos, físicos e biológicos associados, além da mitigação da temperatura (Costello et al., 2020; Sun *et al.*, 2019)

Na sua conceção, prevê-se que o escoamento de águas pluviais encha o recipiente BRC enquanto se infiltra simultaneamente no meio filtrante. O escoamento armazenado dentro da célula escoada (*exfiltration*) para solos *in situ*, sendo descarregado através de um sistema de drenagem subterrânea ou ocorrendo evapotranspiração. Os leitos filtrantes que são inseridos na bacia dependem do projeto e das normativas onde a tecnologia é aplicada, uma vez que depende de requisitos como solo, temperatura, humidade, entre outros. No entanto, um meio filtrante típico consiste numa mistura predominantemente de areia com solo nativo, cascalho e matéria orgânica. De acordo com o projeto, a biorretenção emprega adsorção, filtração, sedimentação, volatilização, troca iónica e decomposição biológica, o que corrobora para a sua capacidade no controlo da qualidade da água (Costello *et al.*, 2020; Woods Ballard *et al.*, 2015).

A preponderância da pesquisa de biorretenção está concentrada nas capacidades de tratamento de BRCs “jovens”, logo após sua construção. Como a biorretenção também se comporta como um sistema de filtragem biológica, os processos físicos e biogeoquímicos que conduzem o tratamento de águas pluviais em BRCs estão sujeitos a mudanças temporais, projeto e construção bem executados e sujeitos a manutenção periódica, seguindo orientações baseadas em pesquisas e casos práticos (Johnson & Hunt, 2019).

I.6.3. Trincheiras de Infiltração (Infiltration Trench)

Existem diversos tipos de sistemas de drenagem que utilizam a infiltração como meio para reduzir os escoamentos superficiais, podendo incluir poços de drenagem (*soakaways*), coberturas para infiltração (*infiltration blanket*), bacias de infiltração (*infiltration basins*) e também as trincheiras de infiltração (*infiltration trench*) (Figura I.4). Estas últimas são uma adaptação aos poços de infiltração, tendo como vantagem uma

maior superfície para que a infiltração ocorra, o que permite uma infiltração em solos variáveis e menos permeáveis, ajudando assim a distribuir esta área de infiltração. Os sistemas de valas de infiltração urbana geralmente são zonas de armazenamento subterrâneas longas e estreitas que são preenchidas com pedra ou cascalho e dependem principalmente da infiltração para redução do escoamento. O escoamento da área de drenagem é armazenado nos vazios da vala e infiltra-se no solo *in situ* circundante (Woods Ballard *et al.*, 2015; Ebrahimian *et al.*, 2021).

Devido à sua característica linear, o potencial de infiltração de uma trincheira está relacionado com o seu comprimento, melhorando o desempenho quando há uma maior área de contacto. Nos poços de infiltração, as trincheiras podem ser preenchidas completa ou parcialmente com material granular e revestidas com geotêxtil de forma a evitar a passagem de sólidos e reduzir o tempo para a colmatção. Os grânulos utilizados têm um papel fundamental no armazenamento temporário, uma vez que as águas pluviais acabam por ficar retidas nos seus poros até atingir o ponto de infiltração. Além disso, conta-se também com um revestimento vegetal no topo da trincheira para proteção contra a contaminação do solo e a redução/amortecimento do fluxo durante os eventos de chuva. Pode ser incluído no interior das camadas que constituem a trincheira um tubo perfurado de modo a permitir uma melhor distribuição dos caudais ao longo da trincheira (Lourenço, 2014). Além de contribuírem como reservatórios de amortecimento das vazões de pico, as trincheiras de infiltração atuam na redução de poluentes no escoamento, filtrando sedimentos finos, metais e hidrocarbonetos. Outro benefício é o incentivo aos processos de adsorção e biodegradação (Woods Ballard *et al.*, 2015).

As trincheiras de infiltração estão a tornar-se populares nas áreas urbanas densas, principalmente devido às suas pequenas dimensões, que podem ser compatíveis com os espaços limitados nas cidades e as condições das águas subterrâneas (Ebrahimian *et al.*, 2021).

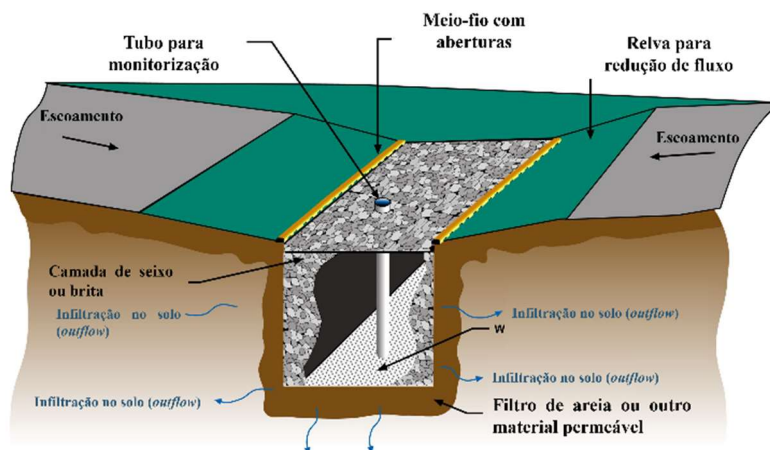


Figura I.4 - Trincheira de Infiltração. Disponível em Google Imagens, 2022

I.6.4. Sistemas de Pavimentos Permeáveis (Permeable Paving Systems - PPS)

Os sistemas de pavimentos permeáveis (PPS) são dispositivos que não são só fornecem um pavimento adequado para o tráfego pedonal ou de veículos como também possibilitam a infiltração das águas da chuva, onde o escoamento destas é conduzido, através de uma superfície permeável, a um reservatório de pedras localizado abaixo da superfície do terreno (Urbonas & Stahre, 1993; Woods Ballard *et al.*, 2015). Com a utilização dos pavimentos permeáveis, é possível reduzir o volume de escoamento superficial, desde que sejam bem utilizados, respeitando os seus limites físicos de carga, e mantendo uma manutenção preventiva e periódica. Além disso, também atuam no controle da poluição, e contribuem para a recarga das águas subterrâneas uma vez que as suas camadas acabam por ser leitos minimamente filtrantes (Gonçalves *et al.*, 2014). Em alguns casos, nos solos de má permeabilidade (p.e, solos argilosos) onde estes sistemas são implantados, incorporam-se aos pavimentos drenos que conduzem a água para a tubagem ou reservatório.

Para que a função de pavimento permeável seja positiva, é necessário que este apresente integridade estrutural e hidrológica, isto é, no seu projeto estrutural deve ser tida em conta a resistência para suportar cargas e quanto à capacidade hidrológica, considerar a capacidade necessária para infiltração, armazenamento e retenção de água sempre como uma abordagem sustentável de gestão de águas pluviais (Monrose & Totamaharaj, 2018). Ainda de acordo com estes autores, as características hidráulicas do PPS geralmente contribuem para quatro áreas de controlo hidrológico: vazão de pico, volume, tempo do hidrograma e duração. Várias condições devem ser consideradas ao comparar

os resultados relativos ao desempenho hidrológico do PPS e os principais fatores incluem o clima local e as condições do solo *in situ*, a profundidade da estrutura do pavimento, as condições de drenagem do limite e a idade do PPS. Outras condições, como intensidade e duração das chuvas, devem ser monitorizadas para garantir a caracterização completa do comportamento hidrológico de um pavimento permeável.

Existem dois tipos de pavimentos permeáveis, que são definidos consoante os seus materiais de revestimento (Figura I.5):

- Pavimentos porosos, em que a água é capaz de infiltrar através de toda a sua superfície, relva ou superfícies de cascalho, cascalho ligado a resina, betão poroso e asfalto poroso.

- Pavimentos permeáveis, que têm uma superfície formada por materiais impermeáveis, dispostos de modo a conter espaços vazios desde a superfície até a sub-base, p.e, a pavimentação de blocos de cimento que é utilizado para que a água que cai da chuva se infiltre pelas juntas ou vazios entre os blocos.

Os usos potenciais para os PPS incluem as áreas pedestres, as vias privadas (calçadas e estacionamento privados), estacionamentos em grandes áreas/comerciais, estradas com tráfego leve, praças e espaços desportivos. Devido à pouca resistência dos materiais que constituem os pavimentos porosos, o seu uso não é indicado para locais com grande tráfego de veículos (Woods Ballard *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2021).



Figura I.5 – Sistemas de Pavimento Permeável a) Camadas Típicas; b) Betão poroso; c) Pavimento Permeável. Adapt. de Google Imagens, 2021.

I.6.5. Reservatórios de Chuva (Rain Barrels)

Reservatórios de chuva são dispositivos de armazenamento que tem como principal finalidade reservar água de chuva recolhidas por meio de calhas instaladas em telhados, e esta água armazenada pode ser posteriormente utilizada para irrigação ou

outros fins não potáveis. Podem ser considerados um tipo de cisterna mais simples uma vez que são apoiados (e não enterrados ou semi-enterrados como as cisternas) em uma superfície plana, onde na parte inferior do reservatório é inserido um dispositivo de descarga por onde sai a água (Figura I.6).

De acordo com estudos de Abi Aad *et al.* (2010) os reservatórios de chuva podem ser utilizados de duas maneiras:

- Reservatório de transbordamento, quando não há um regulador para armazenagem (torneira) no reservatório e durante os eventos de chuva ele tenha apenas a função de acumular e direcionar imediatamente a água para local específico (que pode ser o jardim, área relvada ou até mesmo a rede de drenagem/água residual);

- Reservatório de acumulação, quando há um dispositivo de controle e regulação da saída de água (torneira), que pode ser regulada e assim a água poderá ser usada posteriormente.

De acordo com Gao *et al.*, (2018) o volume dos reservatórios de chuva pode estar adequados à quantidade de água que se quer armazenar, a depender dos usos a serem dados. Em seu estudo eles mencionam que um reservatório de chuva de 200 litros, preenchido em um evento de chuva de 6 mm (adoptando um telhado residencial típico unifamiliar, de aproximadamente 90 m²), economizaria até 3,8 mil litros de água do sistema de abastecimento.

Neste sentido, o reservatório de chuva é uma tecnologia simples que pode ser utilizada em residências desde que tenha os sistemas de coleta em calhas. Possui também manutenção barata e para além da economia da água do sistema de abastecimento com as regas, reduzem os caudais de águas de chuva nas redes de águas residuais e de drenagem.



Figura I.6 - Reservatório de chuva a) desenho esquemático; b) instalação em residência; c) Valorização e integração paisagística. Adapt. de Google Imagens, 2022.

I.7. O software GISWATER

O GisWater é um software *open source*, desenvolvido com o objetivo de gerir redes de abastecimento de água e saneamento urbano. Foi desenhado para representar os elementos das infraestruturas hidráulicas numa interface gráfica de SIG, através da informação armazenada numa base de dados (Giswater.org, 2020). O Giswater atua como um driver de conexão entre a base de dados e os programas de modelação hidráulica, e pode ser incorporado no sistema informático de qualquer entidade ou empresa que se dedique à gestão da água. Os seus benefícios poderão ser multiplicados se for compatível com todos os elementos que constituem um sistema de gestão de rede de abastecimento ou saneamento, como é o caso do EPANET (Software de modelação para sistemas de abastecimento de água), EPA SWMM, GIS (sistema de informação geográfica (SIG) é que cria, realiza a gestão, analisa e mapeia todos os tipos de dados), WMS (*Warehouse Management System*, ou Sistema de Gerenciamento de Armazém, que tem por objetivo promover a gestão da cadeia de suprimentos e estoques) e SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, proveniente do seu nome em inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*, que utilizam software para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de processos industriais, não industriais e equipamentos

conectados através de servidores/drivers de comunicação específicos). Também pode ser integrado com ferramentas de gestão empresarial como ERP (Planeamento de Recursos Empresariais ou planeamento de recurso corporativo é um sistema de informação que interliga todos os dados e processos de uma organização em um único sistema), CRM (*Customer Relationship Management* ou Gestão de Relacionamento com o Cliente, o qual desenvolvido para definir toda uma classe de sistemas de informações ou ferramentas que automatizam as funções de contato com o cliente) ou *Business Intelligence* e com dispositivos móveis corporativos (Giswater.org, 2020). A Figura I.7 apresenta as interligações do Giswater.

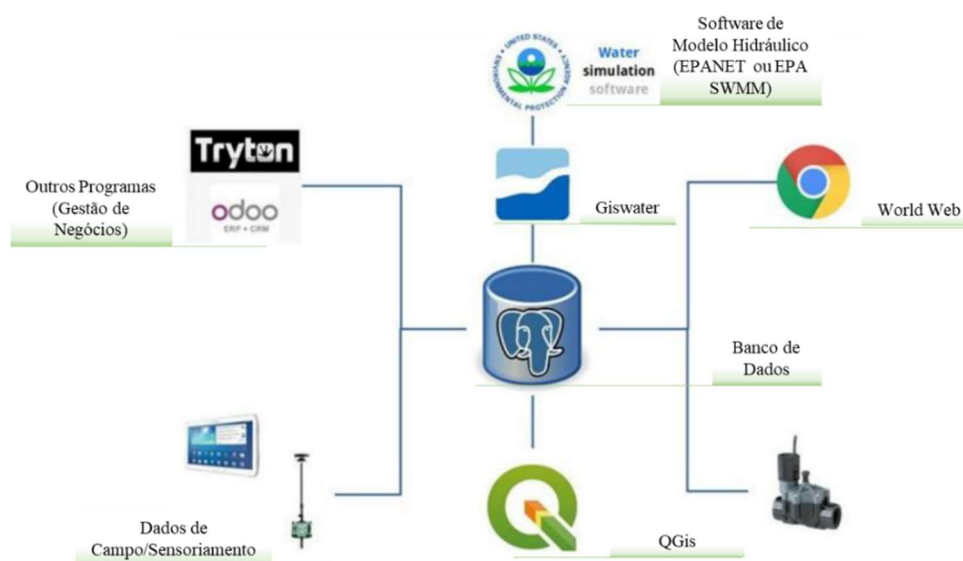


Figura I.7- Esquema de aplicação usado pelo Giswater, centralizado na base de dados. Extraído de Giswater.org, 2020

O Giswater permite armazenar dados de sensores de campo, inventariar os dados de infraestruturas urbanas (tubagens, redes, bombas, poços de visita, entre outros), além de ser capaz de registar a base de dados da rede urbana durante toda a sua vida útil. Promove ainda a sua própria gestão, uma vez que armazena informações referentes à manutenção e limpeza dos equipamentos urbanos, caudais e direções, sendo permitido inclusive o armazenamento de imagens e documentos. É possível também realizar o controlo dos ativos na gestão do saneamento, nomeadamente, o registo do material, preços e especificação dos equipamentos de abastecimento de água e efluentes sanitário/drenagem urbana (Giswater.org, 2020).

Por ser um software que acopla os dados espaciais do QGIS com o modelo de gestão de águas pluviais EPA (SWMM), constitui uma importante ferramenta para a

avaliação da eficácia na redução do escoamento da água da chuva, na modelação da implantação de SuDS/LIDS e, conseqüentemente, na redução do transbordamento combinado de efluente (DSU).

A aplicação de modelos computacionais tem vindo a ganhar cada vez mais espaço no quotidiano dos investigadores, pois, através de simulações é possível representar e avaliar processos ou operações, sem interferir no seu funcionamento. Por meio destas simulações pode-se analisar o comportamento do sistema, tirar conclusões ou, até mesmo, utilizar informações para simular comportamentos futuros (Fernandes, 2017). Assim, o software Giswater constitui uma importante ferramenta que pode ser utilizada dentro do contexto de gestão de água, em qualquer cidade do mundo.

I.8. Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral desta dissertação é avaliar os impactes em rede devido ao sistema em carga de efluentes unitários causados por diferentes chuvas e respetivos escoamentos, desenvolvendo modelos para a minimização desses impactes com a utilização de SuDS. A modelação utilizou o *software open source* Giswater e a área de análise foi o bairro de Montigalà, situado no município de Badalona, província de Barcelona, Espanha.

Os **objetivos específicos** consistem nos seguintes itens:

- Identificação de inconsistências no cadastro relativos às questões hidráulicas e hidrológicas no bairro Montigalà, após diferentes eventos de chuvas, por meio da modelação em SWMM da US EPA, do bairro na sua situação atual, isto é, sem SuDS;
- Promoção do estudo de alternativas para a implementação SuDS no bairro em estudo;
- Realização da modelação no bairro a partir de diferentes cenários, compostos por variações de eventos de chuva e variações nas tecnologias em SuDS;
- Avaliação dos impactes hidrológicos e hidráulicos após a implantação das tecnologias propostas e a sua melhor alternativa, avaliando também as influências no DSU.

II. METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os métodos e materiais usados para obter os resultados apresentados nesta dissertação. Desta forma, a presente metodologia divide-se em 3 subcapítulos: Caracterização da área de estudo, Tratamento e cadastro dos dados no QGis/Giswater e Tratamento e Cadastro dos dados no SWMM.

II.1.Caracterização da área de estudo

II.1.1. A Cidade de Badalona

Badalona é a quarta maior cidade da Região da Catalunha e integra a região metropolitana de Barcelona. Possui uma extensão de 21 km², com uma população de 223,000 habitantes (Instituto de Estadística de Catalunya, 2020).

Está situada na margem esquerda do rio Besòs, de frente para o Mar Mediterrâneo, e na base da cordilheira Serra de la Marina. A Figura II.1 mostra a localização de Badalona.

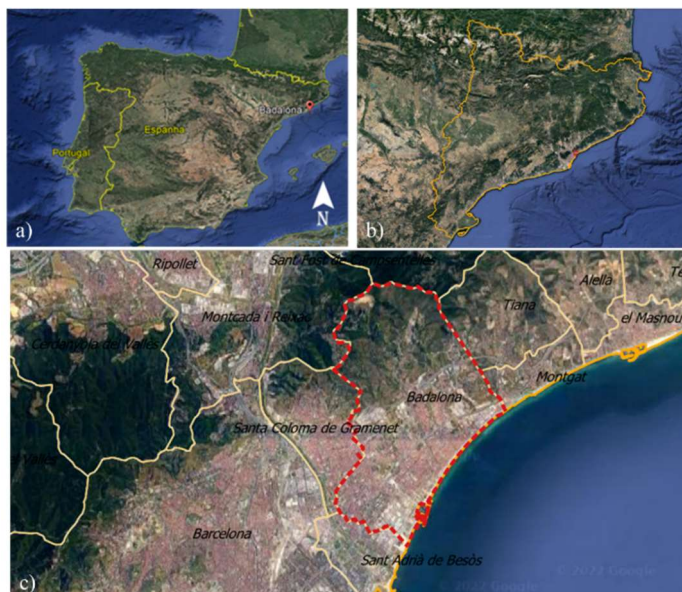


Figura II.1 - Área de estudo (badalona). a) localização dentro da Península Ibérica; b) recorte da Região da Catalunha e c) Badalona. Fonte: Autor/QGis (2021);

A cidade possui uma divisão administrativa composta por seis distritos e 24 subdistritos. A densidade populacional média de Badalona é de aproximadamente 10.500 hab/km² e em relação à estrutura urbana da cidade, em 2003 o terreno residencial de Badalona incluía espaços da planície e espaços da Serra de Marina, de forma contínua e

indiferenciada (Herrero *et al.*, 2003). Ainda de acordo com este estudo, Badalona dedicava cerca de 30% do solo urbano para áreas residenciais. Estas ocupações de terrenos residenciais propostos a partir de 1980 tiveram que “reconectar” os bairros que haviam sido urbanizados como pacotes ou bolsas isoladas, mas também reforçaram a “compacidade” da cidade, eliminando fronteiras entre o que é estritamente urbano e o que não é, e ajudando a aumentar as densidades de população (Herrero *et al.*, 2003).

A densidade urbana e consequente impermeabilização da cidade suscitou o aparecimento de algumas questões sociais e ambientais que terão que ser resolvidas. Durante os eventos de tempestade mais intensos, uma parte das águas pluviais não podem entrar na ETAR, levando a um DSU nas praias de Badalona com graves consequências ambientais, sociais e económicas. As descargas ocorrem ao longo da costa, onde existem vários emissários a partir dos quais o excesso de caudal que não foi direcionado para a ETAR é libertado (Sun *et al.*, 2020). A Figura II.2 mostra o sistema de saneamento da cidade de Badalona. A vermelho estão representados os emissários. De acordo com Locatelli *et al.* (2019) e Martínez-Gomariz Locatelli *et al.* (2019), não é preciso um evento de precipitação muito intensa para que cause DSU e durante a época balnear a praia fica interdita durante pelo menos 24 horas após as descargas.

A área de estudo tem um clima mediterrâneo, caracterizado por chuvas torrenciais, com picos de alta intensidade e curta duração, principalmente no outono. Essa climatologia acarreta problemas de enchentes locais, pois a infraestrutura de drenagem não é capaz de reagir, resultando em descargas unitárias do sistema e contaminação do meio recetor. As alterações climáticas, poderá levar a uma provável diminuição da precipitação e um aumento nos eventos de chuvas extremas em algumas cidades (Momparler *et al.*, 2019).



Figura II.2 - Sistema de Saneamento em Badalona. Retirado de Sun *et al.* (2020)

Para esta dissertação, foi dado foco no Bairro de Montigalà, devido à complexidade na consecução, elaboração e ajustes dos dados para esta dissertação.

II.1.2. Bairro Montigalà (Badalona, Espanha)

Montigalà fica na zona noroeste de Badalona (Figura II.3). De acordo com Lluçh (1997), o bairro de Montigalà surgiu em 1966, quando pequenos e médios proprietários de terras reivindicaram a transformação de uma área rural de vinhas e campos num setor urbano. Após isso, uma equipa multidisciplinar elaborou um primeiro Plano Parcial, cujo planeamento inicial previa a construção de 13.000 casas para uma população de 50.000 habitantes e também 38 hectares para o estabelecimento de zonas industriais com o propósito da criação de 4.500 empregos. O Plano foi elaborado tomando como exemplo a cidade de Tapiola, na Finlândia e tendo sido aprovado em 1969 pelo Ministério da Habitação. Devido às complexidades do Plano e aos custos da urbanização, os recursos financeiros só foram efetivamente aplicados em 1974.



Figura II.3 - Bairro Montigalà, em Badalona. a) Localização em Badalona; b) e c) Foto aérea do bairro. Fonte: Google Maps (2022) e Autor (QGis), 2022.

Durante o ano de 1976, com o objetivo de proteger o bairro, houve uma movimentação popular para a revisão do Plano, havendo mesmo a vontade de interromper a operação. As reivindicações abordavam o baixo nível de áreas verdes (2,18 m²/habitação), os problemas com águas residuais e a agressão às quintas que faziam parte do patrimônio histórico. Em 1977 foi destinado o valor de 900 milhões de pesetas (o

equivalente a 5.409.108,94 €) para a execução de parte da infraestrutura viária e saneamento (Lluch, 1997).

Após diversas discussões e novos planeamentos entre poder público, investidores imobiliários, população e áreas técnicas, a urbanização da zona ocorreu de 1987 a 1992, com a construção de 33 km de ruas, dois centros comerciais e habitações. A urbanização do bairro foi pautada pela especulação imobiliária que se tornou na época algo de inviável do ponto de vista de investimentos, levando as instituições públicas a adquirirem terrenos na zona. Montigalà foi concebida para ser um sítio que equilibrasse a cidade e, portanto, um espaço para a localização de grandes parques e equipamentos públicos, contudo, parte desse espaço foi substituído por uma zona comercial e industrial de grande importância (Lluch, 1997; Herrero *et al.*, 2003).

Apesar de ser um bairro de Badalona com a menor densidade urbana, Montigalà foi escolhido por ser uma área mista, concentrando zonas comerciais, industriais, residenciais e infraestruturas públicas, como o parque urbano de Montigalà (Figura II.4). Esta diversidade de ocupação e uso permite realizar simulações incorporando diversas tecnologias em SuDS.



Figura II.4 – Parque de Montigalà, Badalona. Disponível em Google Maps e Google Imagens (2022)

II.2.Tratamento e cadastro dos dados no QGis/Giswater

II.2.1. Divisão da zona de estudo para modelação

A partir da imagem de satélite e do Mapa Topográfico da Catalunha (1:5000) da Cidade de Badalona, foram delimitadas as zonas necessárias para o estudo, dentro de Montigalà, com o *software* QGis.

Esta parte da dissertação foi decisiva para a definição de que a área de estudo deveria restringir-se apenas ao bairro Montigalà, em vez de toda a cidade de Badalona, tendo em vista a elevada complexidade para a realização da tarefa em gabinete.

Este zonamento foi criado de acordo com os interesses para a instalação dos SuDS, tendo sido dividido em sub-bacias ou *subcatchments*, totalizando 576. Vale acrescentar que, para não haver confusão em relação à definição hidrológica para sub-bacias, durante este trabalho a terminologia sub-bacia foi substituída por *subcatchments*. A Tabela II.1 apresenta as divisões do bairro nas *subcatchments*, assim como suas respetivas áreas. Acrescenta-se que o número de elementos se refere à quantidade de sub-bacias existentes em cada tipologia.

Tabela II.1 - Divisão de Montigala em *Subcatchments*

TIPOLOGIA	NÚMERO DE ELEMENTOS	ÁREA TOTAL (m ²)	CARACTERIZAÇÃO	IMAGEM
Edificações	138	223.894,73	Prédios comerciais, públicos ou residenciais	
Parcela	99	140.455,90	Parques de estacionamento, calçadas e passeios públicos	
Parcela a edificar	05	2.202,85	Terrenos sem construção	
Rodovias (Vial)	283	192.247,80	Rodovias, ruas, avenidas. A quantidade de elementos nessa tipologia refere-se à recortes em função da rede de drenagem. Os arruamentos não são contínuos pois foram feitos cortes conforme as contribuições de escoamento para cada nó na rede.	
Zonas Verdes	51	86.121,03	Corresponde às áreas naturais da cidade, contemplando os parques, as rotundas relvadas, canteiros centrais e zonas com solo natural.	

Deve-se referir que os elementos da tipologia rodovias (ruas, arruamentos, avenidas, etc) não são contínuos. Efetuaram-se divisões nas interseções, nós, mudanças de direção e nas alterações das características/diâmetro dos coletores de águas residuais nelas existentes. As divisões dos elementos consideraram o escoamento resultante em cada ponto bem como a sua contribuição em cada nó da rede.

II.2.2. Estudo e identificação dos coeficientes de escoamento

Para a realização do estudo e cadastro dos coeficientes de escoamento foram identificadas as classes de espaços existentes na zona de estudo e após esta caracterização foi necessário elencar os tipos de solos existentes no bairro e as suas respetivas impermeabilidade e declividade. Estes fatores são determinantes para definição dos coeficientes de escoamento e o detalhe desta ação está abordada mais a frente.

Para além das subdivisões do bairro, foi considerado na tabela de atributos para cada elemento, o valor de impermeabilidade destes, definido como Coeficiente de escoamento (*C*) – *runoff coefficient*. Este coeficiente é adimensional e relaciona a quantidade de escoamento com a quantidade de precipitação recebida. Assume um maior valor para áreas com baixa infiltração e elevado escoamento (pavimento, gradiente acentuado) e mais baixo para áreas permeáveis e bem com vegetação (florestas, planícies, etc). Com isto, para cada elemento verificou-se os escoamentos conforme a Tabela II.2

Tabela II.2 - Coeficientes de Escoamento (*C*) conforme uso e ocupação do solo

USOS DO SOLO	C	USOS DO SOLO	C
Comércio:		Relvados:	
Centros Urbanos	0,70 - 0,95	Solos arenosos, planos, 2%	0,05 - 0,10
Áreas de vizinhança	0,50 - 0,70	Solos arenosos, dc. méd, 2-7%	0,10 - 0,15
Residencial:		Solos arenosos, íngremes, 7%	0,15 - 0,20
Áreas unifamiliares	0,30 - 0,50	Solos argilosos, planos, 2%	0,13 - 0,17
Multi-unidades separadas	0,40 - 0,60	Solos argilosos, dc. méd, 2-7%	0,18 - 0,22
Multi-unidades aglomeradas	0,60 - 0,75	Solos argilosos, íngremes, 7%	0,25 - 0,35
Subúrbio	0,25 - 0,40	Terras agricultáveis:	
Industrial:		<i>Solos nus</i>	
Indústrias de consumo (<i>light areas</i>)	0,50 - 0,80	Lisos	0,30 - 0,60
Indústrias pesadas (<i>heavy areas</i>)	0,60 - 0,90	Rugoso	0,20 - 0,50
		<i>Áreas Cultivadas</i>	
Parques, cemitérios	0,10 - 0,25	Solos argilosos, sem cultivos	0,30 - 0,60
<i>Playgrounds</i>	0,25 - 0,35	Solos argilosos, com cultivos	0,20 - 0,50
Passeios e zonas pedonais	0,75 - 0,85	Solos arenosos, sem cultivo	0,20 - 0,40
Vias:		Solos arenosos, com cultivo	0,10 - 0,25
Asfaltos	0,70 - 0,95	<i>Pastos</i>	
Betão	0,80 - 0,95	Solos pesados	0,15 - 0,45
Tijolo/blocos	0,70 - 0,85	Solos arenosos	0,05 - 0,25
		<i>Florestas</i>	0,05 - 0,25
Telhados	0,75 - 0,95		

Fonte: Adaptado de Jin *et al.*, 2015 e Wanielista *et al.*, 1997

NO QUE DIZ RESPEITO À CLASSIFICAÇÃO DO SOLO PARA O BAIRRO, CONFORME APRESENTADO NA FIGURA

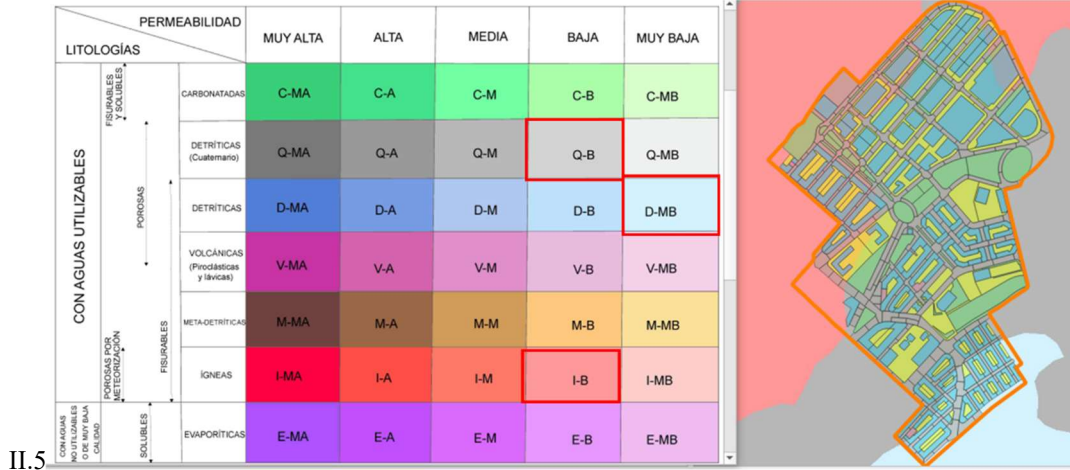


Figura II.5, Montigalà situa-se sobre solos que variam de baixa a muito baixa permeabilidade (em termos de classificação rochosa). Como não foram encontrados mapas satisfatórios para a classificação de solo na cidade, então usou-se dados litológicos. Com isso, o critério usado para o enquadramento situou-se sempre ao equivalente aos solos argilosos na Tabela II.2.



Figura II.5 – Classificação litológica no Bairro Montigalà. Disponível em: http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Tematica/IGME_Permeabilidad_200/MapServer/WMS/Server

A inserção de dados do coeficiente de escoamento (C) levou em conta também critérios de declividade e para isso usou-se também dados do Modelo Digital de Elevação de Badalona (mde_badalona) e a sua declividade, expostos como camada no *software* QGis, conforme se vê no painel de camadas e Value Tool à esquerda da Figura II.6 e à direita a respetiva tabela de atributos onde foram inseridos os valores de C em percentagem.

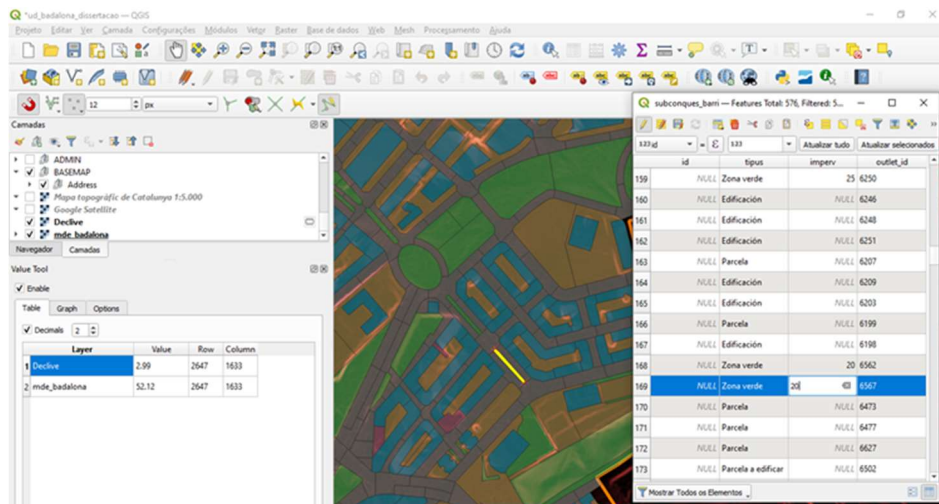


Figura II.6 - Inserção de dados de escoamento em cada elemento, considerando elevação do terreno.

Então, em resumo, para cada uma das tipologias e os seus respetivos elementos, considerados os critérios abordados anteriormente, a classificação foi a seguinte:

Em **Zonas Verdes** foram analisados os critérios de solo e declividade do terreno e com base nisto, os coeficientes selecionados ficaram entre 20%, adotados para áreas de baixa declividade e 25% para áreas com desníveis mais acentuados. A avaliação do desnível foi avaliada através da criação de uma camada *raster* de declividade e a análise um a um dos polígonos das zonas verdes, confrontando-os com o modelo digital de elevação para o bairro estudado.

No que diz respeito à aplicação dos critérios para os polígonos de **Rodovias (vial)**, estes foram considerados com material asfáltico, tendo sido adotado um coeficiente de escoamento 90%.

Já para as áreas de **Parcela a Edificar**, foi considerado o critério residencial, com área multiunidades separadas tendo sido utilizado 50%.

Nos polígonos de **Edificações** foram diferenciadas as zonas industriais e zonas residenciais. Foram utilizados os coeficientes 80% para os centros urbanos, e nos locais onde se observam telhados o coeficiente utilizado foi de 90%.

Para as **Parcelas**, classificadas como passeios públicos, calçadas/zonas pedonais e parques de estacionamento, foram utilizados os valores dos “passeios e zonas pedonais”. Assim, considerou-se 75% quando se observa alguma área permeável e 85% quando se trata de passeios e parques de betão. Nesses casos os desníveis não foram considerados.

II.3.Tratamento e Cadastro dos dados no SWMM

II.3.1. Escolha dos SuDS para modelação

A escolha das tecnologias em SuDS para o bairro de Montigalà teve em conta inicialmente as tecnologias *Low Impact Development, LID* disponíveis no *software* SWMM US EPA. Estas tecnologias consistem nas células de biorretenção, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, reservatórios de chuva, calhas de colheita em telhados e valas verdes.

A seguir, de acordo com as peculiaridades do bairro e as viabilidades de implantação dos SuDS, foi elaborada uma Matriz de Decisão, conforme a Tabela II.3. Nela estão dispostas as tecnologias viáveis a serem implantadas no bairro, de acordo com cada tipologia (*subcatcmnts*). Foi também definido a percentagem de cobertura de cada tecnologia. Para exemplificar, nas Edificações Residenciais, que corresponde a uma área de 18,78% da área total do bairro, para a tecnologia de telhados verdes, foram consideradas uma aplicação de 10% de cobertura, uma vez que ao escolher valores altos poderia comprometer a estrutura dos edifícios que não foram projetadas logo de início para esta tecnologia. Vale referir que essa matriz foi elaborada em conjunto com os técnicos da BGeo, que conhecem a cidade de Badalona e suas infraestruturas. Ao estabelecer essa matriz, partiu-se de uma premissa conservadora sobre a cobertura de cada tecnologia no bairro, com base em discussões, hipotéticas, da adequação, dos custos e implantação das tecnologias, bem como da disponibilidade financeira para pagar, caso as tecnologias fossem implantadas, considerando que o poder público deve ter mais aptidão a pagar por ativos ambientais do que o setor privado.

Os percentuais para o telhado verde tiveram por base o valor de 10% em todos os edifícios, isto é, todas as edificações do bairro teriam 10% de sua cobertura com essa tecnologia, muito embora, alguns edifícios não suportem essa cobertura e outros possam suportar mais que 10% (o nível de detalhe para carga, reconhecimento de estruturas e catalogação dos edifícios e demais *subcatcmnts* não foi avaliado neste estudo). Para o pavimento permeável, pensou-se no bairro com a substituição por SPP de 10% de todas as suas ruas, já nas trincheiras de infiltração, os valores foram menos conservadores para os verdes públicos uma vez que em termos de disponibilidade a pagar, a prefeitura estaria mais sujeita a fazer um maior investimento que empreendimentos privados. No geral, para cada tecnologia foram discutidas e afinal foram estabelecidos os percentuais de

cobertura das tecnologias e a seguir, com base nos dados de geoprocessamento/cadastro, calculou-se essa cobertura em números reais para o bairro, depois o percentual no setor assim como sua respectiva área, expostas na tabela a seguir.

Tabela II.3 - Matriz de Decisão para implantação de SuDS em Montigalà

SETOR	% SETOR	ÁREA SETOR	TELHADOS VERDES	PAVIMENTO PERMEÁVEL	TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO	BARRIL DE CHUVA	CÉL. DE BIO-RETENÇÃO	% SUD NO SETOR
Edificação industrial	15,94 %	102.770,91	10,00 %			100%		17,53 %
Edificação residencial	18,78 %	121.123,82	10,00 %			25,00%		6,57 %
Parcela	21,78 %	140.455,90					10,00 %	2,18 %
Parcela a Edificar	0,34 %	2.202,85	40,00 %			10%		0,17 %
Verde privado	1,09 %	7.036,05			25,00 %		25,00 %	0,55 %
Verde público	12,26 %	79.084,98			40,00 %		40,00 %	9,81 %
Rodovias (Viais)	29,81 %	192.247,80		10,00 %			10,00 %	8,94 %
TOTAL	100,00 %	644.922,30	3,61 %	2,98 %	5,18 %	20,66%	10,34 %	45,75%
ÁREA DE COBERTURA SuDS m²			23.270,61	19.224,78	33.393,00	133.272,15	66.663,37	295.048,70

Acrescenta-se que o Verde Público se refere às zonas verdes, nomeadamente, parques e canteiros centrais. Já o Verde Privado diz respeito aos jardins em zonas privadas e comerciais.

II.3.2. Ajustes na Rede

A empresa BGeo tem toda a rede da cidade de Badalona cadastrada no QGis/Giswater (Figura II.7). Os coletores assim como os elementos que os compõem (diâmetros, nós, bombas) e outros componentes da rede fazem parte deste cadastro.

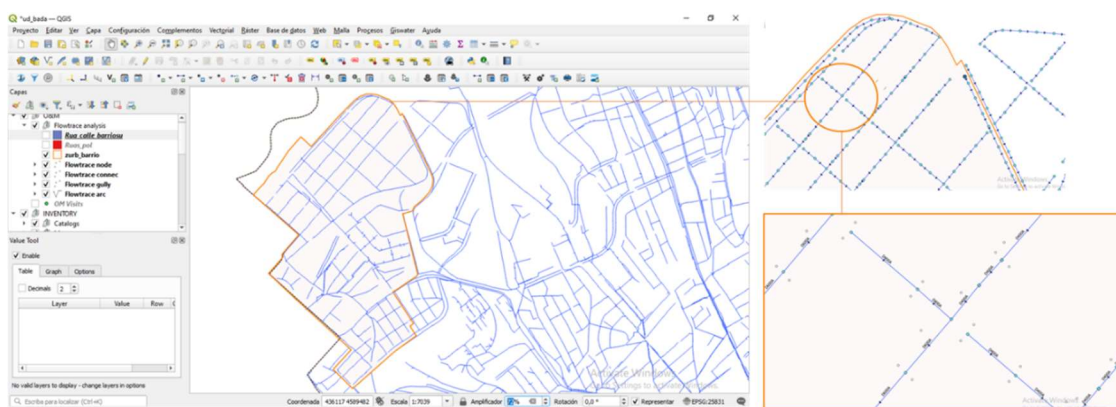


Figura II.7 - Rede de Montigalà cadastrada no Giswater.

Após toda a delimitação das sub-bacias (*subcatchments*), da definição e cadastro dos coeficientes de escoamento (segundo o que foi descrito no item II.3) e a construção da matriz de decisão (Tabela II.3) realizado no QGis/Giswater, foi gerado um ficheiro “.inp” para ser utilizado no SWMM 5.2.

A rede no SWMM está exemplificada na Figura II.8 .

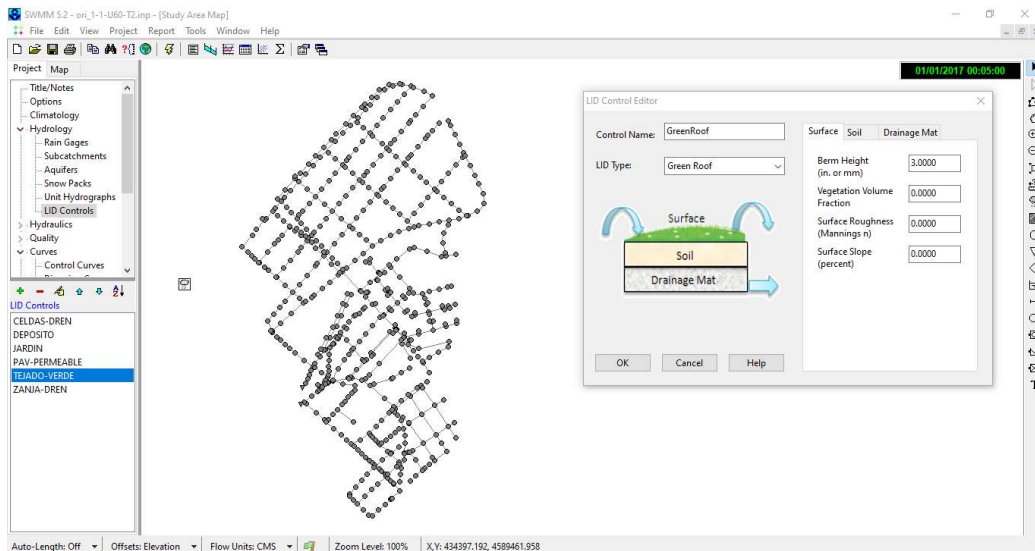


Figura II.8 - Rede do Bairro Montglá no SWMM 5.2 e cadastro de LIDs

Ainda no que diz respeito ao cadastro no SWMM, é importante mencionar que houve necessidade de se efetuarem ajustes à rede. Uns ajustes resultaram de reconhecimentos de campo efetuados pela empresa parceira (BGeo) e outros tiveram de ser realizados em gabinete ao serem observadas anomalias durante os processos de modelação, principalmente no que se refere às cotas de soleira em alguns troços (Figura II.10 e Figura II.10). As anomalias foram identificadas porque representavam discontinuidades nas cotas das redes, sendo por isso necessário realizar correções por serem expetáveis acumulações de água, prejudicando os resultados da modelação.

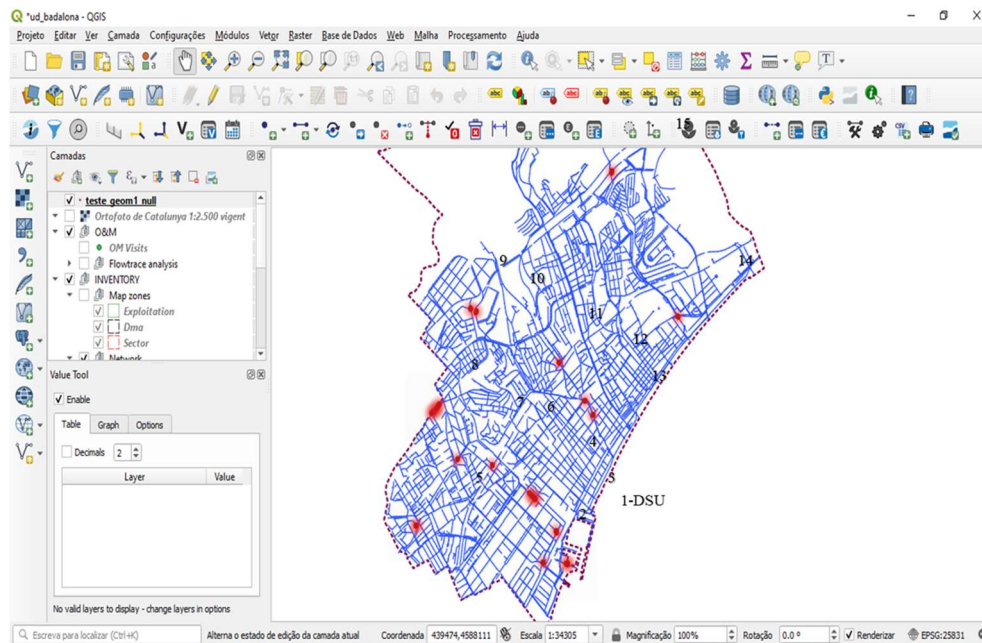


Figura II.9 - Exemplos de pontos críticos identificados para ajustes na rede na cidade de Badalona

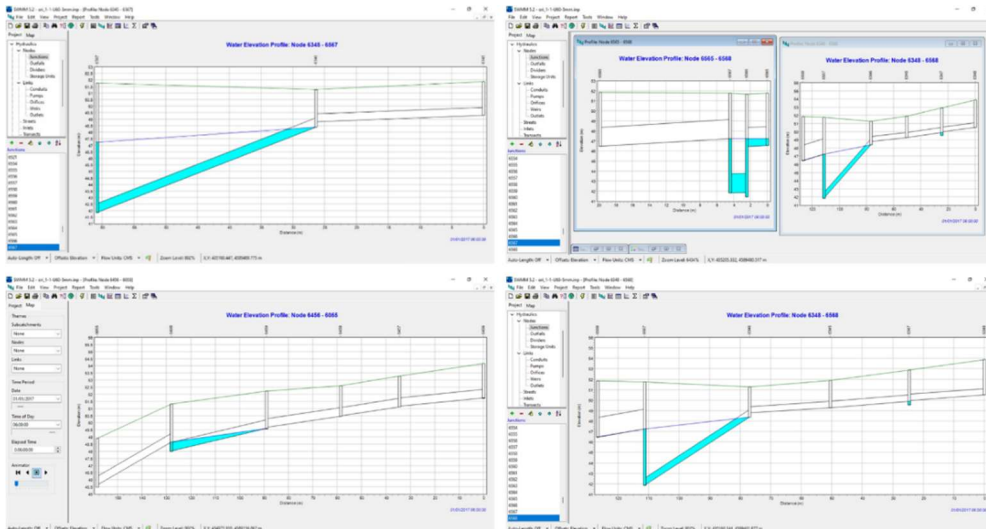


Figura II.10 - Exemplos de treços com anomalias nas cotas de soleira

Outro aspeto importante é o das tecnologias LID, uma vez que estas precisam ter especificações (índices) relevantes para a modelação e os seus respetivos impactes. Os índices selecionados e cadastrados, no *software*, tiveram em consideração as características da cidade de Badalona. Os valores atribuídos a cada índice foram obtidos a partir da literatura, especialmente em artigos com trabalhos experimentais de cada tecnologia, do manual de SuDS e em alguns casos mantiveram-se os índices do próprio SWMM. Todos os índices escolhidos estão expostos na

Tabela II.4 - Índices das Tecnologias LIDs/SuDS inseridas no SWMM
, na página a seguir.

Tabela II.4 - Índices das Tecnologias LIDs/SuDS inseridas no SWMM

LID/SUD	CAMADA	PARÂMETRO	VALOR ADOTADO	REFERÊNCIA
CÉLULAS DE BIO-RETENÇÃO (BIO-RETENTION CELL)	Superfície (Surface)	<i>StorHt</i> - altura da berma (mm)	200	De-Ville et al., 2021; USEPA, 2015
		<i>VegFrac</i> - fração vegetada (%)	0,7	
		<i>Rough</i> - coeficiente de Manning (adimen)	0	
		<i>Slope</i> - declividade (%)	0	
	Solo (Soil)	<i>Thick</i> - camada de solo (mm)	500	
		<i>Por</i> - porosidade (%)	50 0,5 (SWMM)	
		<i>FC</i> - capacidade de campo (%) ⁽¹⁾	20 0,2 (SWMM)	
		<i>WP</i> - ponto de murcha (%) ⁽²⁾	10 0,1 (SWMM)	
		<i>Ksat</i> - permeab. solo saturado (mm/h) ⁽³⁾	10	
		<i>Kcoeff</i> - curva de condut./mistura do solo (%) ⁽⁴⁾	10	
	Armazenamento (Storage)	<i>Height</i> - altura do depósito (mm) ⁽⁵⁾	2000	
		<i>Vratio</i> - índice de vazios (adim) ⁽⁶⁾	0,75	
		<i>Seepage</i> - permeabilidade do solo (mm/h)	100	
		<i>Vclog</i> - Fator de entupimento (%)	0	
Drenagem (Drain)	<i>Coeff (c)</i> - coef. de fluxo a ser drenado (mm/h)	0,5		
	<i>Expon (n)</i> - altura de deságue (mm)	0,5		
	<i>Offset (n)</i> - altura do dreno na parte superior (mm)	1800		
TELHADO VERDE (GREEN ROOF)	Superfície (Surface)	<i>StorHt</i> - altura da berma (mm)	100	Kourtis, Tsihrintzis & Baltas (2018); Peng & Stovin, (2017); Cipollaa, Maglionico & Stojkova (2016); Palla & Gnecco (2015); US EPA, 2015;
		<i>VegFrac</i> - fração vegetada (%)	0,7	
		<i>Rough</i> - coeficiente de Manning (adimen)	0,15	
		<i>Slope</i> - declividade (%)	0,5	
	Solo (Soil)	<i>Thick</i> - camada de solo (mm)	100	
		<i>Por</i> - porosidade (%)	50 0,5 (SWMM)	
		<i>FC</i> - capacidade de campo (%) ⁽¹⁾	20 0,2 (SWMM)	
		<i>WP</i> - ponto de murcha (%) ⁽²⁾	10 0,1 (SWMM)	
		<i>Ksat</i> - permeab. solo saturado (mm/h) ⁽³⁾	10	
		<i>Kcoeff</i> - curva de condut./mistura do solo (%) ⁽⁴⁾	10	
	Material Drenante (Drain Mat)	<i>Suct</i> - capilaridade (mm)	100	
		<i>Thick</i> - camada de material drenante (mm)	15	
		<i>Vratio</i> - índice de vazios (adim)	0,3	
		<i>Rough</i> - coeficiente de Manning (adimen)	0,03	
Superfície (Surface)	<i>StorHt</i> - altura da berma (mm)	100		
	<i>VegFrac</i> - fração vegetada (%)	0,7		
	<i>Rough</i> - coeficiente de Manning (adimen)	0,015		
	<i>Slope</i> - declividade (%)	0		
ARMAZENAMENTO (Storage)	<i>Height</i> - altura do depósito (mm) ⁽⁵⁾	2000 ⁽⁵⁾		
	<i>Vratio</i> - índice de vazios (adim) ⁽⁶⁾	0,75 ⁽⁶⁾		
	<i>Seepage</i> - permeabilidade do solo (mm/h)	24		
	<i>Vclog</i> - Fator de entupimento (%)	0		
	Drenagem (opcional)	<i>Coeff (c)</i> - coef. de fluxo a ser drenado (mm/h)	0,5	
		<i>Expon (n)</i> - Flow exponent (mm)	0,5	
<i>Offset (n)</i> - altura do dreno na parte superior (mm)		6		
PAVIMENTOS PERMEÁVEIS (PERMEABLE PAVEMENT)	Superfície (Surface)	<i>Delay</i> - horas de tempo seco para abertura (h)	1	Jato-Espino et al. (2016); CIRIA, 2015; Kuang, et al. (2011); Taji & Regulwar (2021)
		<i>StorHt</i> - altura da berma (mm)	100	
		<i>VegFrac</i> - fração vegetada (%)	0,7	
		<i>Rough</i> - coeficiente de Manning (adimen)	0,011	
	Pavimento (Pavimento)	<i>Slope</i> - declividade (%)	1	
		<i>Thick</i> - camada de pavimento (mm)	150	
		<i>Vratio</i> - índice de vazios (adim)	0,25	
		<i>FracImp</i> - fração impermeável (%)	0	
		<i>Perm</i> - permeabilidade do pavimento (mm/h)	1000	
		<i>Vclog</i> - Fator de entupimento (%)	100	
	Solo (Soil)	<i>Thick</i> - camada de solo (mm)	500	
		<i>Por</i> - porosidade (%)	50 0,5 (SWMM)	
		<i>FC</i> - capacidade de campo (%)	20 0,2 (SWMM) ⁽¹⁾	
		<i>WP</i> - ponto de murcha (%)	10 0,1 (SWMM) ⁽²⁾	
<i>Ksat</i> - permeab. solo saturado (mm/h)		10 ⁽³⁾		
<i>Kcoeff</i> - curva de condut./mistura do solo (%)		10 ⁽⁴⁾		
Armazenamento (Storage)	<i>Suct</i> - capilaridade (mm)	100		
	<i>Height</i> - altura do depósito (mm) ⁽⁵⁾	300		
	<i>Vratio</i> - índice de vazios (adim) ⁽⁶⁾	0,5		
	<i>Seepage</i> - permeabilidade do solo (mm/h)	0		
Drenagem (Drain)	<i>Vclog</i> - Fator de entupimento (%)	25		
	<i>Coeff (c)</i> - coef. de fluxo a ser drenado (mm/h)	0,5		
	<i>Expon (n)</i> - Flow exponent (mm)	0,5		
BARRIL DE CHUVA (RAIN BARREL)	Armazenamento (Storage)	<i>Offset (n)</i> - altura do dreno na parte superior (mm)	0	CIRIA, 2015, Graf Top Tanks Barr [™]
		<i>Height</i> - altura do depósito (mm) ⁽⁵⁾	1550	
	Drenagem (Drain)	<i>Coeff (c)</i> - coef. de fluxo a ser drenado (mm/h)	0,5	
		<i>Expon (n)</i> - Flow exponent (mm)	0,5	
		<i>Offset (n)</i> - altura do dreno na parte superior (mm)	0	
<i>Delay</i> - horas de tempo seco para abertura (h)	1			

⁽¹⁾ solo argiloso; ⁽²⁾ considerado solo quase seco; ⁽³⁾ considerado como solo franco arenoso; ⁽⁴⁾ valor adotado considerando um intermediário entre solo arenoso (5,0) e argiloso (15,0); ⁽⁵⁾ valor escolhido como critério de projeto; ⁽⁶⁾ adotado a partir do índice do cascalho como valor de referência (0,5 - 0,75); ⁽⁷⁾ valor adotado considerando barris de chuva pré-fabricados;

II.3.3. Chuvas consideradas para a modelação

A cidade de Badalona apresenta, em termos de precipitação, chuvas ao longo do ano com uma variação sazonal moderada.

De forma mais detalhada, para este trabalho foram analisados os dados do pluviómetro Fabra Observatory (UTM X426770; Y4585408 m; Z 411 m), estação mais representativa para a área de estudo em questão, situado na cidade de Badalona. Todos os dados foram retirados do sítio eletrónico dos Serviços Meteorológicos da Catalunha, em *meteo.cat*. As chuvas diárias, para o período de 01 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2021 (2 anos), foram solicitadas por comunicação eletrónica, através de formulário específico o qual foi respondido com os dados solicitados.

A partir da análise dos dados de chuva, apresentadas na Tabela II.5, observa-se que a cidade tem baixa pluviometria, em que na maior parte dos dias (553 dias) nos dois anos considerados não existem registos de chuvas.

Tabela II.5 - Dados de Chuva em Badalona (2020/2021)

CHUVAS (MM)	QTD DE DIAS	%
0	553	75,65%
0,1 - 0,5	54	7,39%
0,5 - 1	19	2,60%
1 - 4,9	59	8,07%
5,0 - 9,9	17	2,33%
10,0 - 14,9	13	1,78%
15 - 19,9	7	0,96%
20 - 50	11	1,50%
50 - 100	2	0,27%

Vale acrescentar que esta tabela foi inserida para demonstrar a baixa pluviosidade na cidade e justificar as chuvas escolhidas para o estudo. Mesmo com chuvas consideradas “comuns” a cidade sofre com enchentes e inundações praticamente todos os anos. A partir da tabela, é possível que as chuvas de 5 a 9,9 mm ocorreram apenas em 17 dias nos dois anos, a chuva de 10 a 15 mm em 13 dias e as chuvas de 20 e 29 mm ocorreram em menos de 11 dias nos dois anos.

A Figura II.11 apresenta a precipitação mensal média acumulada para a cidade de Badalona. A informação de base diz respeito aos registos horários da série temporal de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016 (Weatherspark, 2021).

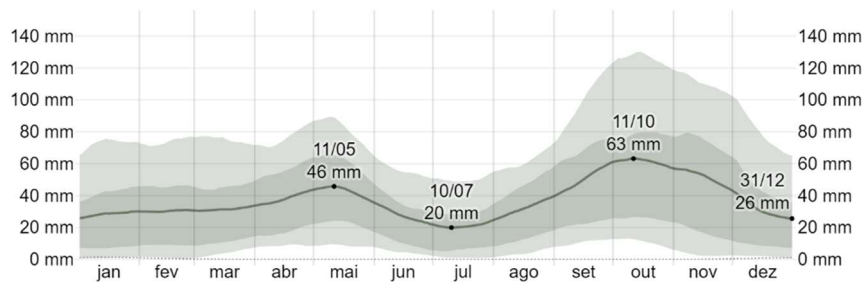


Figura II.11 - Chuva mensal média na Cidade de Badalona, Barcelona. Retirado de <https://pt.weatherspark.com/>

Neste estudo, a avaliação dos cenários e dos impactes da implantação dos LIDs/SuDS no bairro Montigalà, foram realizados com a modelação de chuvas de 5mm, 10mm e 20mm, com duração de 60 minutos. Foi também escolhida chuva com um período de retorno (T) igual a dois anos (29 mm).

II.3.4. Síntese dos Cenários de implantação e simulação de SuDS

Foram definidos seis cenários para a modelação no SWMM:

- sem SuDS;
- telhados verdes;
- células de bioretenção;
- trincheiras de infiltração;
- pavimento permeável;
- reservatório de chuva

Para cada cenário foram aplicadas chuvas de 5, 10 e 20 mm e ainda o período de retorno de dois anos (29 mm), donde resultaram 24 ficheiros de extensão “inp” para análise e comparação das simulações, resultados e impactes dos SuDS no bairro de Montigalà. A síntese dos cenários está exposta na tabela seguinte:

Tabela II.6 - Cenários para Modelação em SWMM 5.2

CENÁRIOS	ABORDAGENS DE GESTÃO	CHUVA 5mm	CHUVA 10mm	CHUVA 20mm	T = 2a 29mm
1	sem SUDS	x	x	x	x
2	Telhado Verde	x	x	x	x
3	Célula de Bioretenção	x	x	x	x
4	Trincheiras de Infiltração	x	x	x	x
5	Pavimento Permeável	x	x	x	x
6	Reservatório de Chuva	x	x	x	x

Foram estudadas individualmente, para cada cenário e para cada uma das chuvadas a capacidade de infiltração, escoamento superficial e vazão no Descarregador do Sistema Unitário do bairro uma vez que ao selecionar o relatório no SWMM, a tabela escolhida foi referente ao sistema, que envolve todo o bairro. Além desta, também foram compilados os relatórios do caudal no descarregador do sistema unitário (nó 821829) e as tabelas resumo para cada cenário de acordo os parâmetros estudados. As tabelas geradas foram migradas para excel de forma a obter-se uma melhor análise estatística dos resultados.

Importa referir que para todas as modelações, foram considerados dois critérios:

- (i) não existirem eventos de chuvas anteriores às chuvas simuladas, o que implica que o solo se encontra seco e com todo potencial para infiltração,
- (ii) não foram considerados os caudais de águas residuais na rede, apesar de tratar-se de um sistema unitário e por vezes misto.

III.RESULTADOS E DISCUSSÕES

III.1. O Bairro Montigalà sem a implantação de SuDS

Inicialmente serão abordados os resultados da infiltração para o bairro, que se designou por sistema. A partir da análise da Figura III.1, verifica-se que a infiltração se comporta de maneira uniforme durante os eventos de chuvas de 5 e 10 mm, alterando o seu comportamento para as chuvas de 20 e 29 mm, onde nestas verificam-se uma acentuada inclinação dos gráficos após o início destas chuva, devido à redução da capacidade de infiltração, em função da saturação do solo. A precipitação será representada com linhas pontilhadas (assim será em todos os gráficos apresentados neste capítulo) e a infiltração em linha contínua.

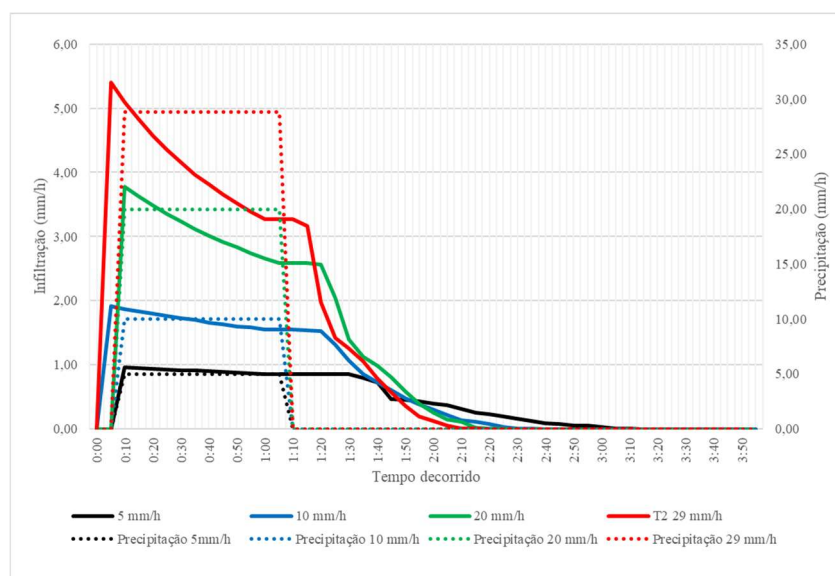


Figura III.1 - Infiltração (em mm/h) no Bairro Montigalà após eventos de chuva

Esta figura representa o comportamento de forma contínua dos quatro eventos de chuva ao longo do período modelado (4 horas).

Entretanto, considerando o relatório resumo do SWMM que fornece os dados acumulados, levando em consideração todo o sistema, os volumes infiltrados foram de 1.100 m³ para a chuva de 5mm, 1.780 m³ para a chuva de 10mm, 2.850 m³ para a chuva de 20mm e 3.630 m³ para a chuva de 29 mm (estes valores foram extraídos do relatório resumo do SWMM).

Relativamente ao escoamento superficial os resultados do sistema após eventos de chuva distribuída nas quatro horas modeladas são apresentados na figura a seguir.

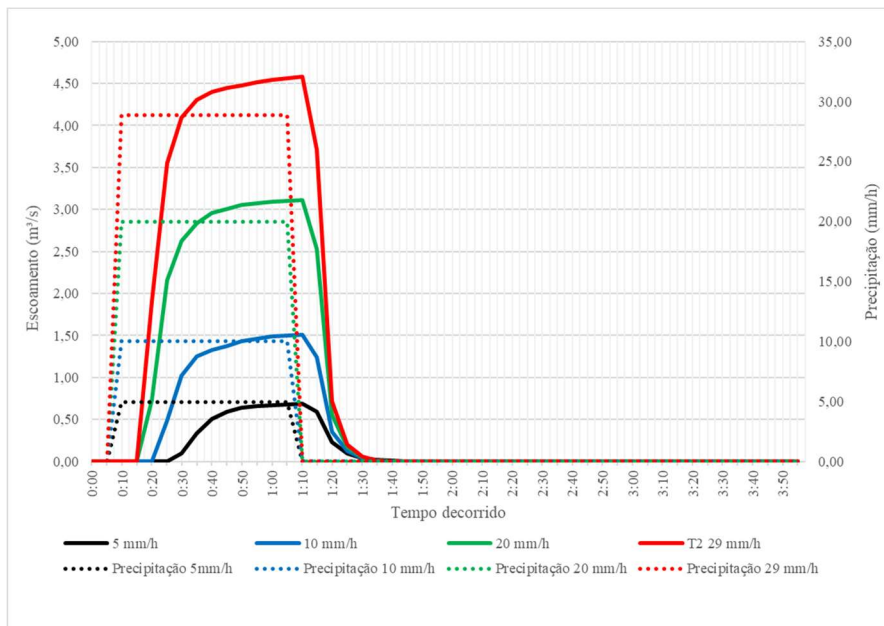


Figura III.2 - Escoamento Superficial (em m³/s) durante as chuvas modeladas no estudo em Montigalã

A partir da análise da Figura III.2, é possível observar que a chuva de 5 mm gera um escoamento 20 minutos após o início da chuva que nestas modelações se inicia aos 10 minutos. Já nas chuvas de 10 mm, o intervalo entre o início da chuva e a produção de escoamento reduz para 15 minutos. Nas chuvas de 20 e 29 mm o intervalo entre o início da chuva e a produção de escoamento diminuem para 10 minutos, em ambas. Neste estudo, ao final de 1h:30min o escoamento finaliza-se em todas as chuvas. Assim, quanto maior a intensidade da chuva, mais rapidamente o solo atingirá a sua capacidade de infiltração provocando o escoamento superficial devido ao excesso de precipitação (Rodrigues *et al*, 2011).

Em valores acumulados, estes foram de 1.760 m³; 4.400 m³; 9.920 m³ e 15.020 m³ para as chuvas de 5 mm, 10 mm, 20 mm e 29 mm, respetivamente.

Outra análise importante a ser feita diz respeito ao caudal afluente ao sistema nas chuvas modeladas, ou seja, o caudal de saída no nó considerado ser o descarregador do sistema unitário (DSU) do sistema (nó 821829).

Em termos de valores acumulados, expostos em metros cúbicos e extraídos no SWMM no campo de resultados em *outfall loading* (descarga no emissário), para a chuva de 5 mm o volume total afluente no DSU foi de 1.660 m³, já a de 10 mm contribuiu com

um volume de 4.253 m³. Na chuva de 20 mm obteve-se um volume de 9.725 m³ e finalmente, a chuva de 29 mm resultou um volume de 14.798 m³ no descarregador.

O comportamento deste caudal ao longo das séries é apresentado na Figura III.3.

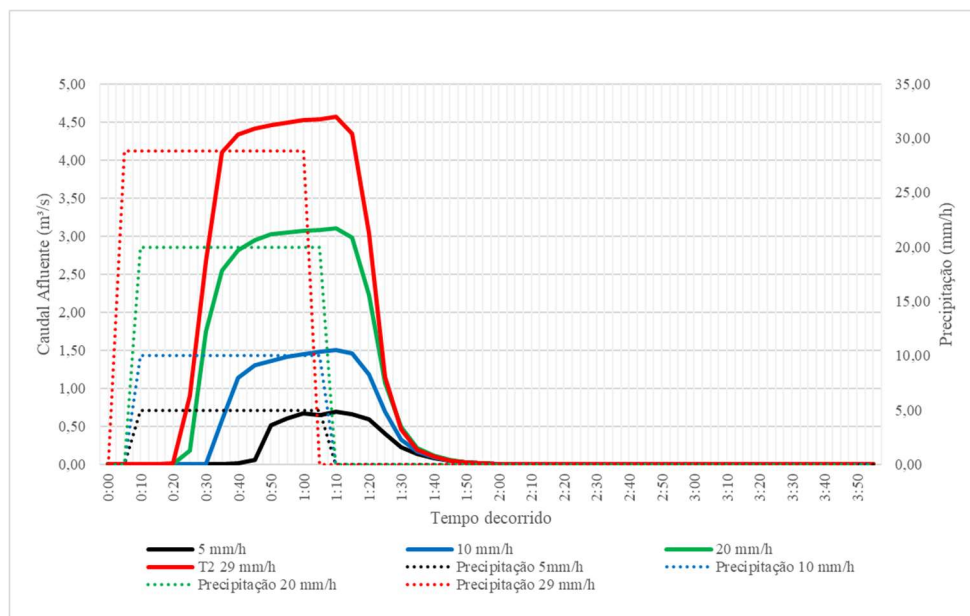


Figura III.3 - Comportamento do caudal (m³/s) no DSU do bairro Montigalã

À medida que a precipitação aumenta, os caudais afluentes comportam-se proporcionalmente a este aumento. Estas afluências chegam ao nó com um certo desfazamento principalmente nas chuvas de 5 e 10 mm o que indica que a rede consegue amortecer convenientemente estes volumes. Já para as chuvadas de 20 e 29 mm o intervalo entre a chuva e a descarga é significativamente menor, o que representa o aumento do fluxo na rede e que o amortecimento não é tão significativo.

III.2. Impacte da implantação dos Telhados Verdes

A partir da modelação dos cenários com os telhados verdes, observa-se que a tecnologia contribui para uma redução na infiltração do sistema (Figura III.4). Isto ocorre porque a tecnologia retém água por meio da interceptação vegetal ou da infiltração interna (no seu próprio sistema), o que reduz a contribuição de água no sistema (bairro) como um todo. As linhas pontilhadas representam as precipitações, as tracejadas o comportamento da infiltração sem SuDS e as linhas contínuas representam o telhado verde, representado na legenda como TelVer.

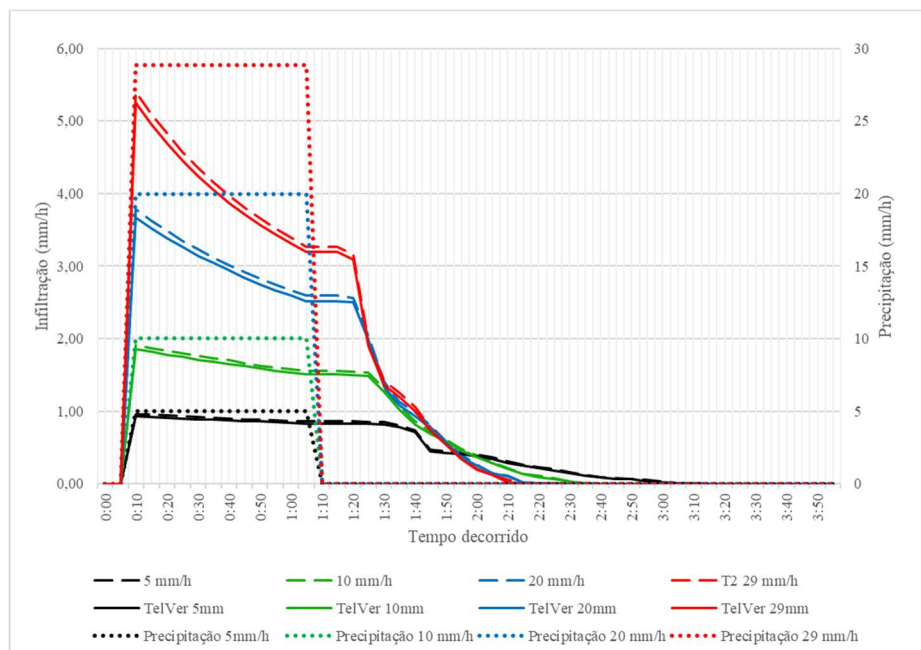


Figura III.4 - Impacte da implantação dos Telhados Verdes na infiltração do bairro Montigalà

O impacte desta tecnologia no que respeita à infiltração quando comparada com o sistema sem SuDS foi de uma ligeira redução. Em valores acumulados, os relatórios resumos mostraram para infiltração sem e com telhados verdes, respetivamente os valores de: para 5 mm partiu-se de 1.100 m³ infiltrados para 1.060 m³, para a chuva de 10 mm os valores caíram de 1.780 m³ para 1.730 m³, sendo que para 20 mm caiu de 2.850 m³ para 2.760 m³ e por último, na chuva de 29 mm tinha-se 3.630 m³, reduzindo a infiltração para 3.530 m³. Em suma, portanto, se comparado com o volume total infiltrado no sistema (m³) sem SuDS, o telhado verde representou uma redução 3% em média para todas as chuvas modeladas.

Relativamente ao escoamento superficial, os telhados verdes demonstram melhoria de comportamento sendo semelhantes em quaisquer das chuvas consideradas (Figura III.5).

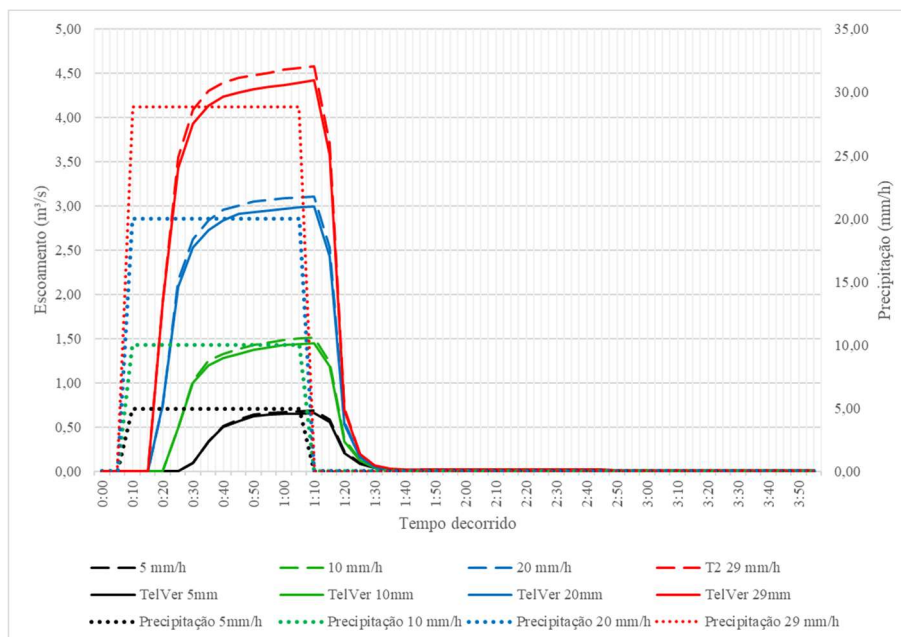


Figura III.5 - Escoamento Superficial (em m³/s) após implantação de telhados verdes

As percentagens de redução para o escoamento superficial foram de 3,7% em 5 mm de chuva, 3,72% para 10 mm, 3,69% na chuva de 20 mm e 3,7% na chuva com período de retorno de dois anos (29 mm).

Os volumes acumulados de escoamento, em metros cúbicos, sem e com a implantação de telhados verdes, foi de 1.760 m³ para 1.700 m³ na chuva de 5 mm; de 4.400 m³ para 4.230 m³ na de 10 mm; de 9.920 m³ para 9.560 m³ na chuvada de 20 mm e por último, de 15.020 m³ para 14.460 m³ na chuva de período de retorno T igual a dois anos.

Relativamente ao contributo para o DSU, de acordo com o relatório de descarga de emissário, os telhados verdes reduziram o volume de água no nó, de 1.660 m³ para 1.570 m³ na chuva de 5 mm; de 4.253 m³ para 3.673 m³ na chuva de 10 mm; 9.725 m³ para 9.445 m³ na chuva de 20 mm e finalmente, de 14.798 m³ para 14.410 na chuva de 29 mm. A Figura III.6 demonstra as reduções do caudal no nó 821829, onde as linhas tracejadas são os caudais sem a implatação do SuDS em questão e as linhas contínuas representam os telhados verdes nas respetivas séries.

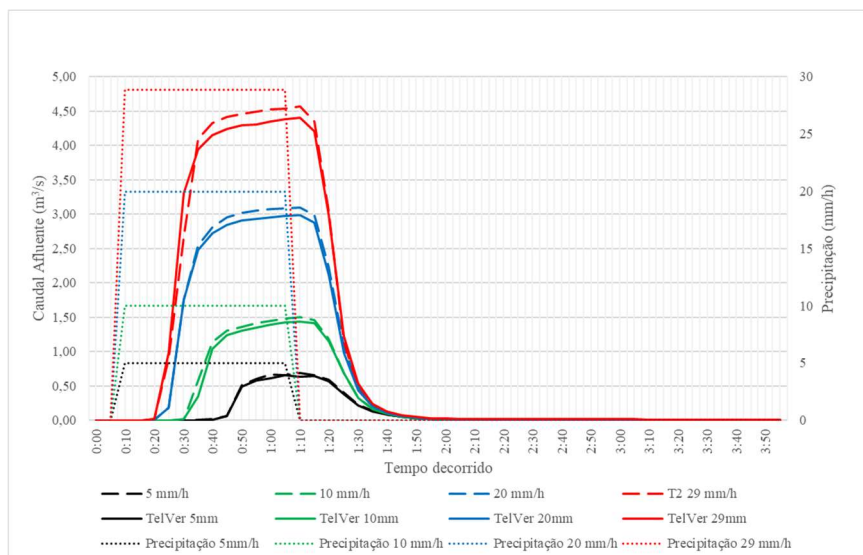


Figura III.6 - Caudal afluente ao DSU (m^3/s) após a implantação do telhado verde

Na Figura III.6 observa-se uma redução do caudal que aflui ao DSU (representado pela linha contínua) o que indica que a tecnologia de telhado verde mostrou-se eficiente quando comparada ao sistema sem a implantação da tecnologia, concluindo que os telhados verdes absorvem parte dos caudais que afluem às infraestruturas. Dos valores calculados a partir dos relatórios resumo, aferiu-se a percentagem média de 3% para a redução deste parâmetro.

De forma geral, a tecnologia influenciou positivamente no desempenho hidrológico do sistema, apesar dos baixos valores de percentagem apresentados, os quais são explicados pela sua reduzida participação na área do bairro, estimados em 3,61% (Tabela II.3), em II.3.1.

Acrescenta-se que os ganhos da tecnologia vão além dos aspetos hidrológicos, envolvendo também ganhos ambientais e serviços ecossistêmicos com a melhoria do microclima circundante, atenuação da temperatura nas edificações e outros benefícios já mencionados neste estudo.

III.3. Impacte da implantação das Células de Biorretenção

A tecnologia de células de biorretenção foi considerada em 10,34% do bairro Montigalà, tendo sido implantada nas vias (10% de todas as vias existentes foram colocadas células de biorretenção), zonas verdes (25% em privados e 40% nos públicos) e parcelas (10%) (Tabela II.3).

A partir da modelação dos cenários com as células de biorretenção, observa-se que a tecnologia reduz significativamente os valores de infiltração do sistema (Figura III.7).

As linhas pontilhadas representam as precipitações, as tracejadas o comportamento da infiltração sem SuDS e as linhas contínuas representam a célula de biorretenção, representado na legenda como BioCel.

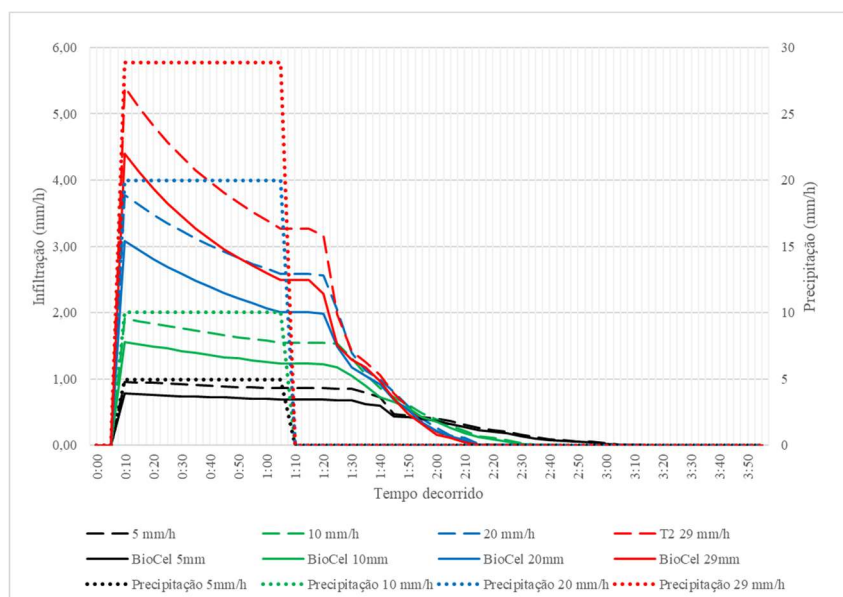


Figura III.7 - Impacte da implantação das células de bio-retenção na infiltração do bairro Montigalà

A redução da infiltração deve-se ao facto desta tecnologia apresentar uma camada de solo espessa com vegetação à cota do terreno, captando o escoamento afluente, e retendo um maior volume de água. Este feito contribui para que a afluência do escoamento superficial do bairro seja menor.

Em valores acumulados, os relatórios resumos mostraram para infiltração sem e com células de biorretenção, respetivamente os valores de: para 5 mm partiu-se de 1.100 m³ infiltrados para 900 m³; para a chuvada de 10 mm os valores caíram de 1.780 m³ para 1.450 m³, sendo que para 20 mm caiu de 2.850 m³ para 2.280 m³ e por último, na chuvada de 29 mm tinha-se 3.630 m³ reduzindo a infiltração para 2.880 m³. Então, quando comparado com o volume total infiltrado no sistema (m³) sem SuDS, a célula de biorretenção representou uma redução 19% em média para todas as chuvadas modeladas.

No que diz respeito ao escoamento superficial, a célula de biorretenção apresentou um desempenho positivo, favorecendo a redução do caudal escoado (Figura III.8).

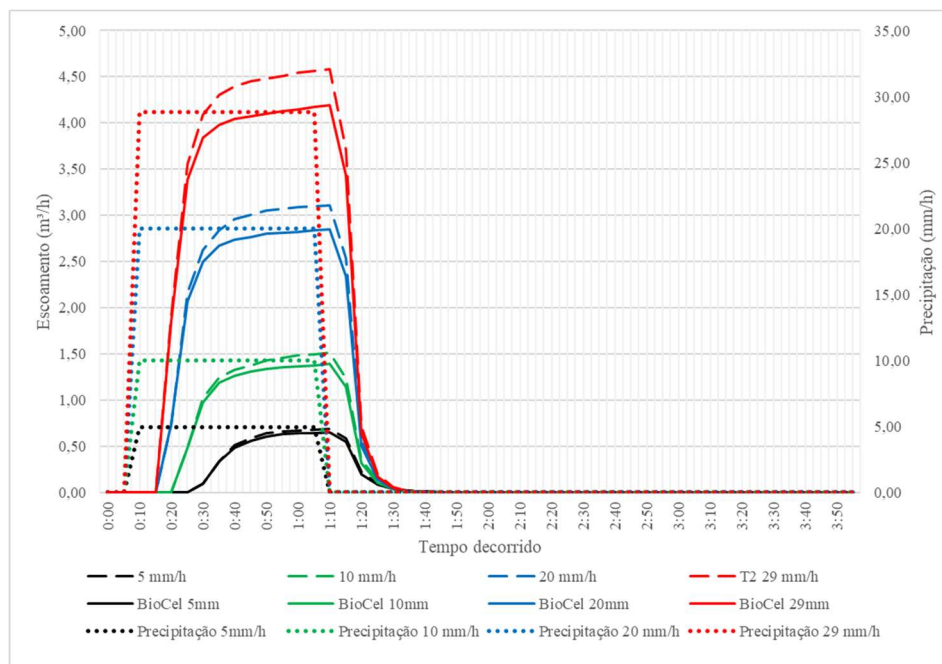


Figura III.8 - Escoamento Superficial (em m³/s) após implantação de células de biorretenção

Estas reduções foram da ordem 5,5% em 5 mm de chuva, 6,5% para 10 mm; 7,3% na chuva de 20 mm e 7,7% na chuva com período de retorno de dois anos (29 mm).

Os valores acumulados para os volumes de escoamento foram de 1.660 m³; 4.110 m³; 9.190 m³ e 13.870 m³ para as chuvas de 5, 10, 20 e 29 mm, respetivamente. Note-se que estes valores são inferiores aos obtidos quando não há qualquer intervenção em SuDS (1.760 m³, 4.400 m³, 9.920 m³ e 15.020 m³ para as chuvas de 5, 10 20 e 29 mm, respetivamente).

Ao ser feita a análise do relatório de descarga no emissário, relativamente ao contributo para o DSU, em volumes acumulados, as células de biorretenção reduziram o volume de água no nó, de 1.660 m³ para 1.538 m³ na chuva de 5 mm; de 4.253 m³ para 3.966 m³ na chuva de 10 mm; de 9.725 m³ para 9.021 m³ na chuva de 20 mm e finalmente, de 14.798 m³ para 13.677 m³ na chuva de 29 mm.

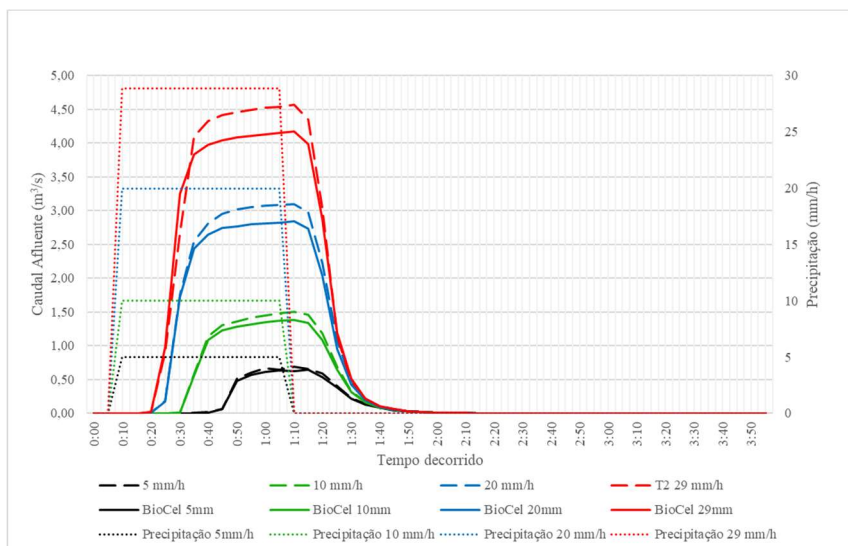


Figura III.9 - Caudal afluyente ao DSU (m^3/s) após a implantação da célula de biorretenção

A Figura III.9 representa o comportamento do caudal afluyente durante os eventos de chuva modelados ilustrando um bom desempenho da tecnologia, principalmente nas chuvadas de 20 e 29 mm, onde as linhas tracejadas e contínuas estão visivelmente separadas, embora se observe, mesmo em pequenas proporções algum benefício na implantação das células de biorretenção no caudal afluyente ao DSU (nó 821829) para as chuvas de 5 e 10 mm, não tão significativo tendo a vista a proximidade entre as duas curvas.

III.4. Impacte da implantação das Trincheiras de Infiltração

A implantação da tecnologia em SuDS por trincheira de infiltração representou uma cobertura de 5,18% do bairro, tendo sido implantada nas zonas verdes, conforme exposto na Matriz de Decisão.

Nesta modelação os valores de infiltração subiram porque foram consideradas maiores superfícies de infiltração e uma melhor distribuição dos volumes no sistema (Figura III.10), vale referir que as trincheiras têm como maior finalidade a infiltração, portanto a água que entra na tecnologia fica retida no solo e contribui para o fluxo das águas subterrâneas.

Nas figuras as linhas pontilhadas representam as precipitações, as tracejadas o comportamento da infiltração sem SuDS e as linhas contínuas representam a trincheira de infiltração, representado na legenda como TrInf.

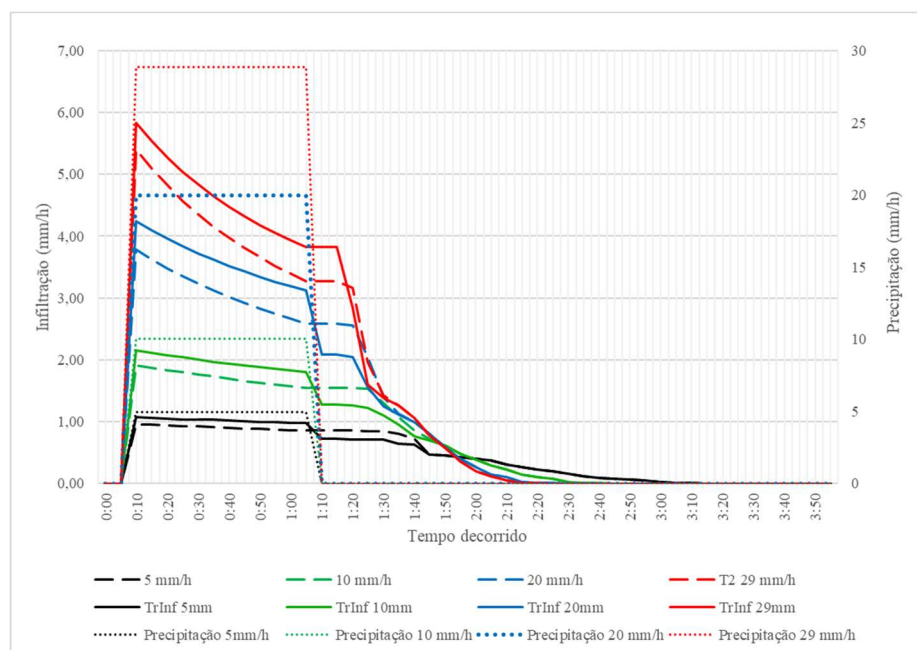


Figura III.10 - Impacte da implantação das trincheiras de infiltração no bairro Montigalà, em termos de infiltração (mm/h)

A partir da análise da Figura III.10 observa-se que as chuvas de 10, 20 e 29 mm obtiveram uma melhor resposta à infiltração, enquanto a chuva de 5 mm obteve uma menor representatividade.

No que concerne aos valores acumulados, como referiu-se, houve um aumento na infiltração. Na chuva de 5 mm partiu-se de 1.100 m³ infiltrados para 1.120 m³; para a chuvada de 10 mm os valores subiram de 1.780 m³ para 1.850 m³, sendo que para 20 mm subiu de 2.850 m³ para 3.050 m³ e por último, na chuvada de 29 mm tinha-se 3.630 m³ aumentando a infiltração para 3.970 m³.

Em compensação, as utilizações das trincheiras de infiltração apresentaram um impacte na diminuição do escoamento superficial. Analisando os dados acumulados, as percentagens de redução no escoamento superficial foram inferiores a 2%, com exceção da chuva de período de retorno de dois anos (29 mm), que atingiu 2,2%. Estes valores de volume de escoamento foram de 1.760 m³; 4.350 m³; 9.730 m³ e 14.690 m³ para as chuvas de 5, 10, 20 e 29 mm, respetivamente. Note-se que são inferiores aos obtidos quando não

há qualquer intervenção em SuDS (1.760 m³, 4.400 m³, 9.920 m³ e 15.020 m³ para as chuvas de 5, 10 20 e 29 mm, respetivamente).

A Figura III.11 apresenta a comparação do escoamento superficial, em m³/s para as séries modeladas.

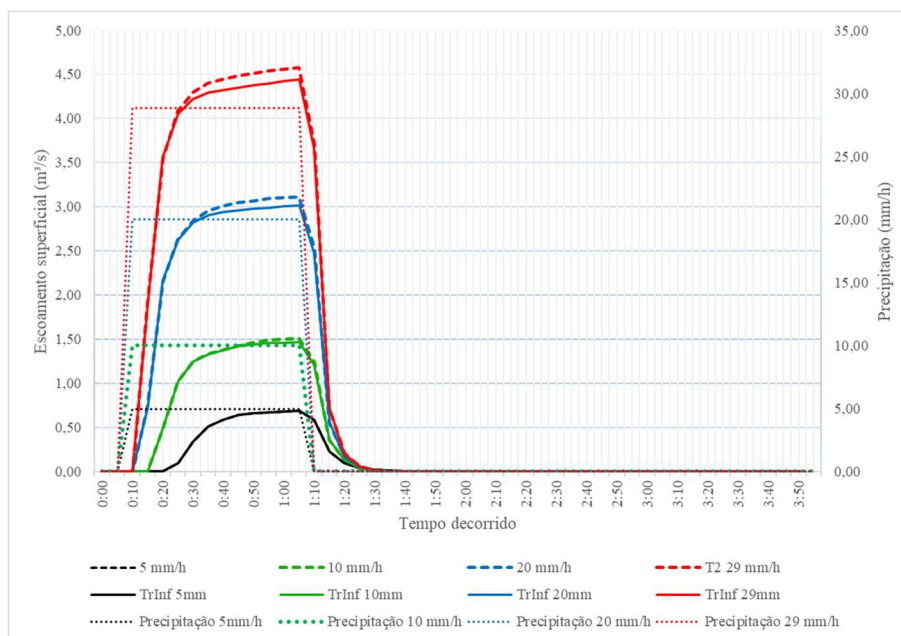


Figura III.11 - Escoamento Superficial (em m³/s) após implantação de trincheiras de infiltração

Da análise da figura, afere-se que esta tecnologia pouco altera o escoamento superficial nas chuvas de 5 e 10 mm, observando a proximidade das linhas contínuas e tracejadas, entretanto, uma maior efetividade das trincheiras pode ser observada na chuva de 29 mm diante da diferença entre as curvas em vermelho, com e sem a implantação das trincheiras.

No que concerne aos contributos no descarregador do sistema unitário, a tecnologia de trincheira de infiltração pouco reduziu os caudais afluentes.

Os valores acumulados passaram de 1.660 m³ para 1.634 m³ na chuva de 5 mm, de 4.253 m³ para 4.206 m³ na chuva de 10 mm, de 9.725 m³ para 9.556 m³ na chuva de 20 mm e finalmente, de 14.798 m³ para 14.491 m³ na chuva de 29 mm.

A Figura III.12 mostra as reduções do caudal no nó 821829, onde as linhas tracejadas representam os caudais sem a implantação do SuDS em questão e as linhas contínuas representam os caudais com as trincheiras de infiltração nas respetivas séries.

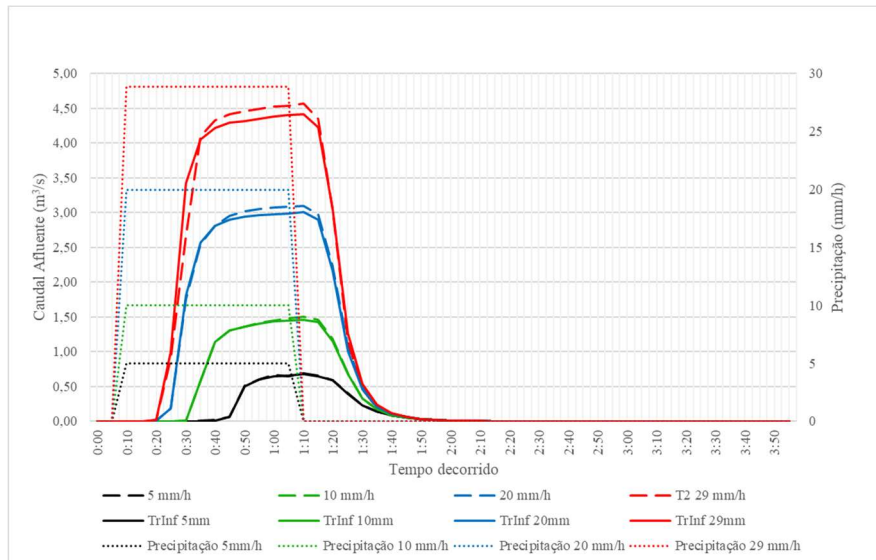


Figura III.12 - Caudal afluente ao DSU (m^3/s) após a implantação das trincheiras de infiltração

De acordo com a figura, as linhas com e sem a trincheira de infiltração são praticamente coincidentes ao longo do período modelado, o que significa uma ligeira redução dos caudais afluentes. Entretanto, observa-se uma separação das linhas perceptível nas chuvas de 20 e 29 mm.

III.5. Impacte da implantação dos Pavimentos Permeáveis

De acordo com a matriz de decisão, foi estabelecida a implantação de pavimentos permeáveis em 10% dos elementos rodovias, o que equivale a 2,98% de Sistema de Pavimento Permeável (SPP) em todo bairro.

Tal como ocorreu com os telhados verdes e as células de biorretenção, o pavimento permeável reduziu os volumes infiltrados.

Apesar de tratar-se de uma tecnologia que favorece a infiltração, a diminuição verificada, explica-se pelo facto de que os volumes infiltrados serem direcionados para um dreno que os encaminha para a rede, conforme apresentado em I.6.4, reduzindo assim os volumes disponíveis para infiltração no sistema.

Nas figuras deste tópico as linhas pontilhadas representam as precipitações, as tracejadas o comportamento da infiltração sem SuDS e as linhas contínuas representam os pavimentos permeáveis, representado na legenda como PavPer.

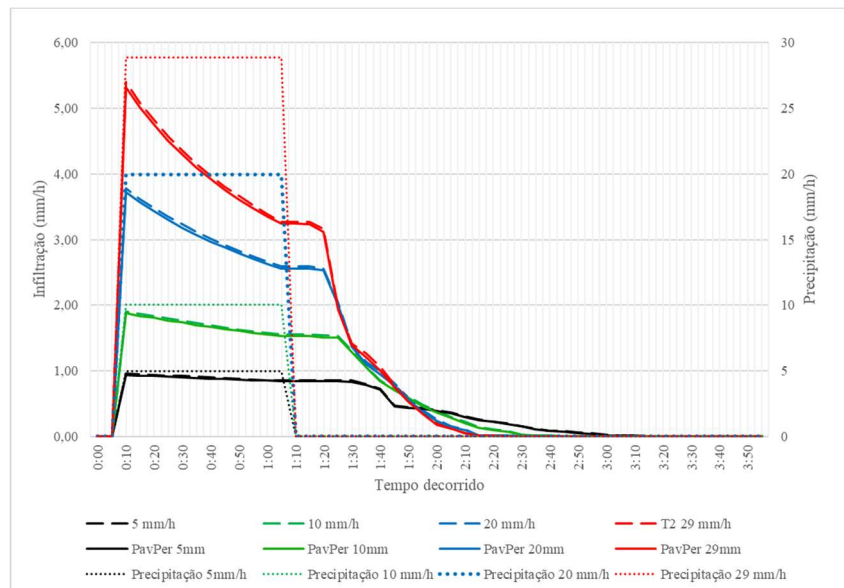


Figura III.13 - Impacte da implantação de Pavimento Permeável na infiltração do bairro Montigalà

Com isto, a partir da análise da Figura III.13, observa-se que não há uma relevante distinção no comportamento das quatro chuvas modeladas em termos de infiltração no sistema após a implantação dos pavimentos permeáveis.

Em valores acumulados, expostos nos relatórios resumos, na chuva de 5 mm partiu-se de 1.100 m³ infiltrados, sem a implantação de pavimentos nas rodovias, para 1.060 m³ com os pavimentos; para a chuvada de 10 mm os valores caíram de 1.780 m³ apenas para 1.750 m³, enquanto para 20 mm caiu de 2.850 m³ para 2.800 m³ e por último, na chuvada de 29 mm a redução da infiltração quando não há pavimentos permeáveis tinha-se 3.630 m³ reduzindo a infiltração apenas para 3.570 m³.

Avaliando a componente escoamento superficial, em valores acumulados, para a chuva de 5 mm houve uma redução de 1,9% no volume total escoado (de 1.760 m³ para 1.730 m³). Entretanto à medida que as chuvas subiram, estes valores estabilizaram-se em torno de 3,3%, sendo de 4.240 m³ na chuva de 10 mm (sem PavPer 4.400 m³), 9.590 m³ em 20 mm (sem PavPer 9.920 m³) e 14.530 m³ para o período de retorno de 2 anos (29 mm) (sem PavPer 15.020 m³). A Figura III.14 apresenta o escoamento superficial representado em m³/s para as séries modeladas.

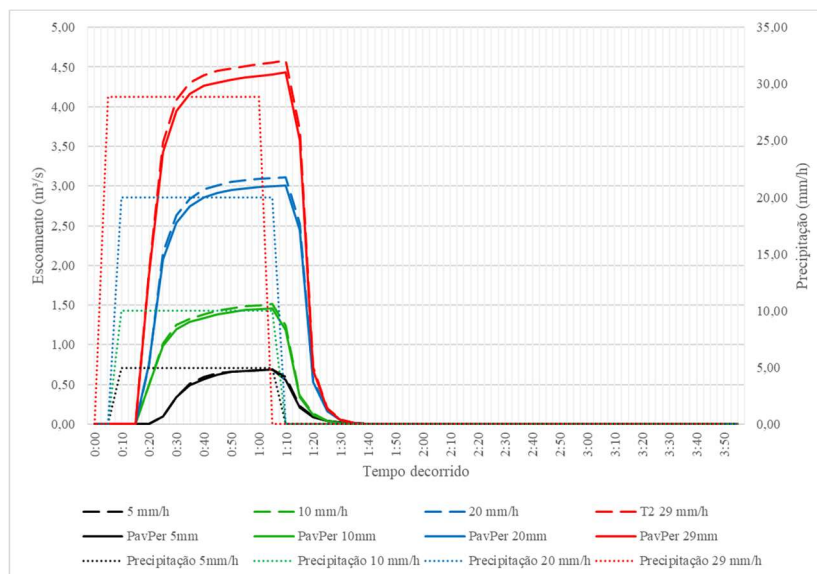


Figura III.14 - Escoamento Superficial (em m³/s) durante as chuvas modeladas no estudo em Montigalá

A partir da análise da Figura III.14, aferiu-se que para o escoamento, as diferenças entre as curvas foram mais expressivas, indicando que a tecnologia responde bem a uma redução de pico e retenção de volumes de chuva no sistema, principalmente para as chuvas de 20 e 29 mm.

Partindo para a análise do impacto da implantação desse SuDS no nó de descarga do sistema, para a chuva com período de retorno de dois anos (29 mm), a implantação do pavimento permeável apresentou o menor desempenho, provavelmente ocasionada pela saturação mais rápida do solo e conseqüente a redução das taxas de infiltração e de retenção da água. Para esta chuva, em valores acumulados, o volume aflúente no DSU foi de 14.327 m³ (sem SuDS de 14.798 m³), nas chuvas de 5, 10 e 20 mm os valores foram de 1.601 m³, 3.686 m³ e 9.422 m³, respetivamente (quando sem SuDS eram 1.660 m³; 4.253 m³; 9.725 m³).

A Figura III.15 mostra as reduções do caudal no nó 821829, onde as linhas tracejadas são os caudais sem a implantação do SuDS em questão e as linhas contínuas representam os pavimentos permeáveis nas respetivas séries.

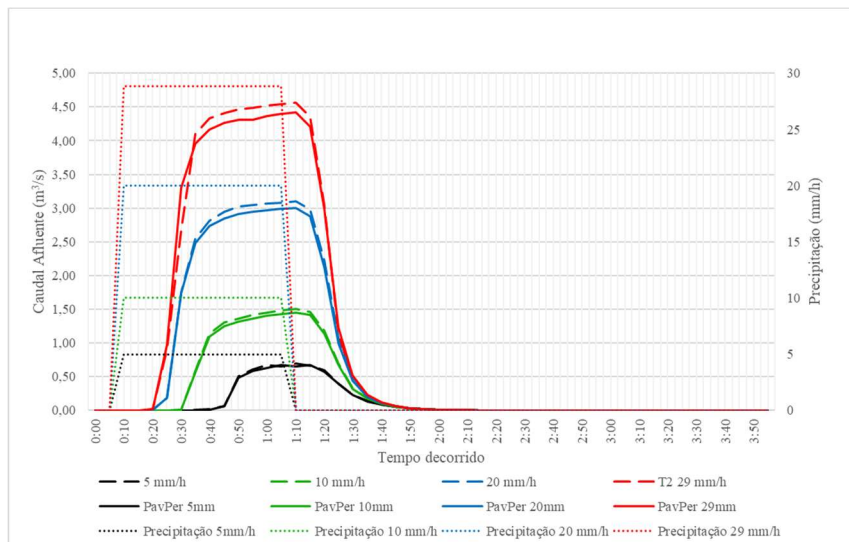


Figura III.15 - Caudal afluente ao DSU (m^3/s) após a implantação do pavimento permeável

A análise da figura acima permite aferir que embora pequena, os pavimentos permeáveis representaram uma boa resposta como tecnologia de amortecimento de cheia, uma vez que reduziu os volumes que chegam no nó. Isso ocorreu mais expressivamente nas chuvas de 20 e 29 mm.

III.6. Impacte da implantação dos Reservatórios de Chuva

Por ter uma área de cobertura maior em comparação a outros SuDS abordados neste estudo, correspondendo a 20,66% da área do bairro, esta tecnologia surtiu o maior impacto nos parâmetros hidrológicos apresentados. A escolha de uma elevada cobertura para esta tecnologia deve-se ao facto da implantação ser de fácil execução, com custos reduzidos na instalação, baixa exigência de intervenções nas infraestruturas existentes e pela facilidade de manutenção.

Os reservatórios de chuva contribuem para a redução da infiltração, por se tratar de uma tecnologia de armazenamento. Através de calhas, o caudal é encaminhado para o reservatório onde fica retido, evitando a sua descarga no solo (Figura III.16).

Nas figuras deste tópico as linhas pontilhadas representam as precipitações, as tracejadas o comportamento da infiltração sem SuDS e as linhas contínuas representam o reservatório de chuva, representado na legenda como BarCh.

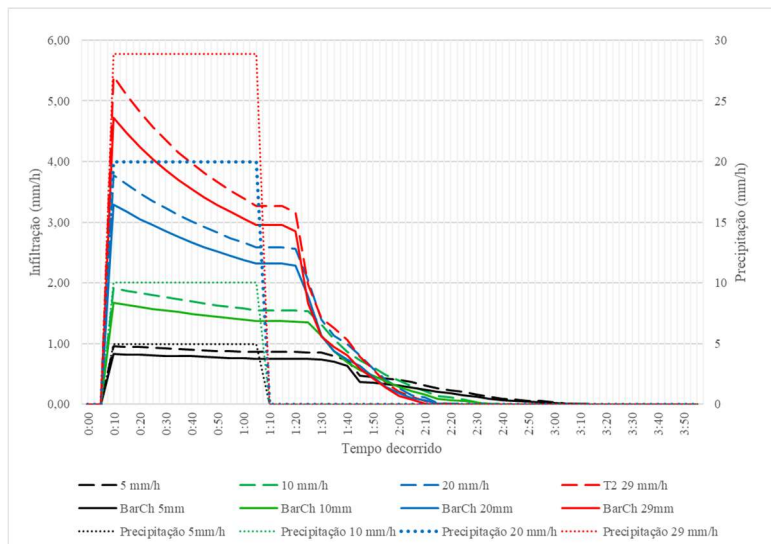


Figura III.16 - Infiltração (em mm/h) no Bairro Montigalà após implantação dos reservatórios de chuva

A partir da análise da figura acima, observa-se que há impactos expressivos na infiltração uma vez que a tecnologia impediu a descarga das águas das chuvas no solo do sistema (bairro), o que se observa pelas distâncias entre as linhas tracejadas e contínuas.

Isso é bastante evidente nos valores acumulados, extraídos dos relatórios resumos do SWMM, onde a redução da infiltração quando comparada ao cenário sem SuDS foi de 1.100 m³ infiltrados para 940 m³ na chuva de 5 mm pós instalação dos reservatórios de chuva; para a chuvada de 10 mm os valores caíram de 1.780 m³ para 1.540 m³; já na chuva de 20 mm essa redução foi de 2.850 m³ para 2.480 m³ e por último, na chuvada de 29 mm tinha-se 3.630 m³ reduzindo a infiltração para 3.180 m³.

Relativamente ao escoamento, justamente por armazenar água, a tecnologia permitiu uma redução significativa do caudal escoado, conforme se observa na Figura III.17.

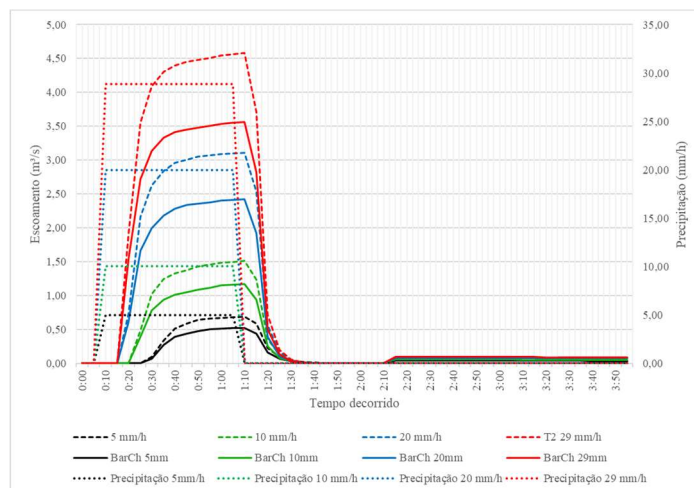


Figura III.17 - Escoamento Superficial (em m^3/s) após a implantação de reservatórios de chuva em Montigalà

Da análise da figura anterior aferiu-se que os escoamentos são abruptamente reduzidos com esta tecnologia para todas as chuvas estudadas, entretanto, observa-se um ligeiro aumento do caudal a partir da hora 2:10, explicado pelo facto de a água armazenada volta para o sistema conforme a utilização ou *overflow* da água armazenada, inserida no modelo.

Em termos de volumes acumulados, os reservatórios de chuva reduziram o escoamento em 25% para a chuva de 5 mm, partindo de um volume de $1.760 m^3$ sem SuDS para $1.320 m^3$ após instalação dos reservatórios. Para a chuva de 10 mm o volume caiu de $4.440 m^3$ para $3.360 m^3$, o que corresponde a uma redução de 24,8% do volume escoado. Em 20 mm essa percentagem foi de 23,6% (com um decréscimo de volumes de $9.920 m^3$ para $7.650 m^3$) e na chuva de 29 mm o volume escoado foi de $15.020 m^3$ para $11.610 m^3$, o que correspondeu a uma queda de 23,6%.

Para a avaliação do caudal afluyente ao sistema nas chuvas modeladas, na chuva de 5mm o volume total afluyente no DSU (acumulado) foi de $1.336 m^3$, na de 10 mm foi de $3.096 m^3$, na de 20 mm obteve-se um volume de $7.904 m^3$ e na chuva de 29 mm resultou um volume de $11.923 m^3$ no descarregador, isto representou uma redução média de 18% para as chuvas estudadas (relembrando os valores sem a tecnologia são $1.660 m^3$; $4.253 m^3$; $9.725 m^3$ e $14.798 m^3$, para as chuvas de 5, 10, 20 e 29 mm, respetivamente). O comportamento deste caudal ao longo das séries é apresentado na Figura III.18

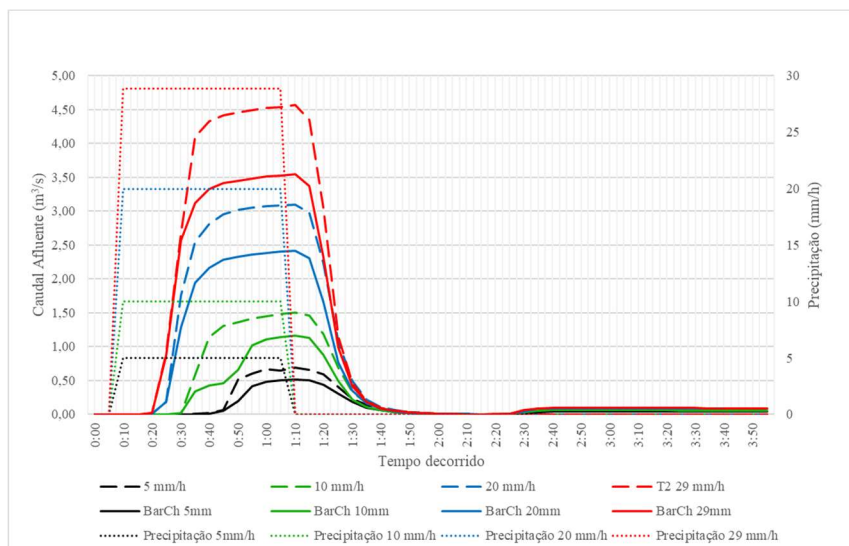


Figura III.18 - Comportamento do caudal (m^3/s) no DSU com modelação da implantação de reservatórios de chuva no bairro Montigalà

De acordo com a Figura III.18 as linhas com e sem a reservatório de chuva também apresentaram grandes diferenças ao longo do período modelado, o que significa uma redução expressiva dos caudais afluentes ao nó DSU. Essa tecnologia, portanto, apresentou o melhor desempenho entre todas as tecnologias apresentadas neste estudo, embora este possa ser explicado pela maior cobertura da tecnologia no bairro.

III.7. Avaliação do impacto dos SuDS/LIDs nas *subcatchments* associadas

Neste estudo, foram delimitadas 576 sub-bacias (*subcatchments*) nas quais foram distribuídos os cinco tipos de LIDS conforme a Matriz de Decisão (Tabela II.3 - Matriz de Decisão para implantação de SuDS em Montigalà, em II.3.1. Então foi realizada uma análise comparativa para avaliar o impacto da implantação das tecnologias em SuDS/LIDs restritas a essas *subcatchments* associadas.

Com isto foi feita a comparação das sub-bacias com seus respectivos LIDs associados e observando o escoamento com a tecnologia inativa (desligada na modelação), ou seja, naquelas sub-bacias onde há determinados infraestruturas em SuDS, foi considerado o escoamento do bairro tal como ele está agora (cenário sem SuDS), ou seja, sem tecnologias instaladas. Estes valores foram representados na tabela a seguir.

Tabela III.1 - Volumes escoados nas sub-bacias (*subcatchments*) na ausência de LID (em m³)

SuDS/LIDS a serem instalados	Qtd de <i>Subcatchments</i>	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
Célula de Bioretenção	433	360	2.490	6.120	9.340
Telhado Verde	143	530	1.730	3.740	5.640
Trincheira de Infiltração	51	0	100	470	880
Pavimento Permeável	283	100	1.470	3.410	5.110
Reservatório de Chuva	143	530	1.730	3.740	5.640

A partir da ativação da tecnologia (ligada na modelação) os valores obtidos reduziram o escoamento conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela III.2 - Volumes escoados nas sub-bacias (*subcatchments*) com LID (em m³)

SuDS/LIDS após instalação	Qtd de <i>Subcatchments</i>	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
Célula de Bioretenção	433	270	2.190	5.320	8.260
Telhado Verde	143	440	1.560	3.400	5.280
Trincheira de Infiltração	51	0	70	280	500
Pavimento Permeável	283	80	1.290	3.040	4.690
Reservatório de Chuva	143	300	980	2.070	2.900

Comparando as duas tabelas acima, percebe-se o impacto implantação das infraestruturas em suas sub-bacias, trazendo grande benefício para o bairro, o que pode ser expandido para as cidades de uma forma geral.

Para se ter uma melhor visibilidade da implantação das tecnologias frente as suas áreas de cobertura, procedeu-se a elaboração da Tabela III.4, que está em ordem decrescente de desempenho em termos de escoamento.

Tabela III.3 – Percentual de redução dos volumes escoados com a ativação dos LIDs (em m³)

SuDS/LIDS após instalação	Área de cobertura	% cobertura*	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
Reservatório de Chuva	133.272 m ²	59,24%	43,40%	43,35%	44,65%	48,58%
Trincheira de Infiltração	33.393 m ²	38,77%	-	30,00%	40,43%	43,18%
Célula de Bioretenção	66.663 m ²	15,92%	25,00%	12,05%	13,07%	11,56%
Pavimento Permeável	19.225 m ²	10%	20,00%	12,24%	10,85%	8,22%
Telhado Verde	23.271 m ²	10,29%	16,98%	9,83%	9,09%	6,38%

* este percentual refere-se à cobertura da tecnologia nos somatórios de *subcatchments* onde elas estão implantadas

Com isto a tecnologia que apresentou maior impacto nas sub-bacias as quais está associada foi o reservatório de chuva, seguido pelas trincheiras de infiltração, depois as células de biorretenção, a seguir o pavimento permeável e por último o telhado verde.

Estes desempenhos estão condizentes com as áreas de cobertura das tecnologias, exceto pela célula de biorretenção que apesar de cobrir uma maior área no bairro, teve um menor desempenho do que as trincheiras de infiltração, entretanto, em termos de

proporcionalidade, exposta em percentuais de cobertura (na coluna de % da tabela acima) em relação à área total de sub-bacias, os valores relacionam-se.

III.8. Redução de caudais no extravasor do sistema

A implantação dos SuDS no bairro Montigalà em Badalona teve um saldo positivo no descarregador do sistema contribuindo assim, para a redução dos caudais que chegariam ao extravasor. Algumas das tecnologias aplicadas, nomeadamente as trincheiras de infiltração, os pavimentos permeáveis e as células de biorretenção, não apenas amortecem as chuvas afluentes ao descarregador como também trazem contributos importantes para a qualidade desta água descarregada. Em termos de volume, as tecnologias trouxeram impactes positivos na descarga desses sistemas (Tabela III.4).

Tabela III.4 - Resumo de volumes afluentes ao nó de descarga do sistema unitário em m³

SuDS CHUVA	SEM SuDS (m ³)	TELHADO VERDE (m ³)	CÉLULA DE BIO- RETENÇÃO (m ³)	TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO (m ³)	PAVIMENT O PERMEÁVE L (m ³)	RESERVA TÓRIO DE CHUVA (m ³)
5 mm	1.660	1.570	1.538	1.634	1.601	1.336
10mm	4.253	3.673	3.966	4.206	3.686	3.096
20mm	9.725	9.445	9.021	9.556	9.422	7.904
30mm	14.798	14.410	13.677	14.491	14.327	11.923
Área de cobertura (m ²)	295.048,70	23.270,61	66.663,37	33.393,00	19.224,78	133.272,15

Os impactes das tecnologias dos SuDS no bairro de Montigalà estão relacionadas com a sua área de implantação referidas na Matriz de Decisão (Tabela II.3) e apresentadas também na Tabela III.3 . Os resultados dos reservatórios de chuva, que corresponde a uma área de cobertura total de 133.272,15 m², mostraram um melhor desempenho face às outras tecnologias, que embora positivas, tinham menores áreas de cobertura, nomeadamente, os pavimentos permeáveis e telhados verdes com áreas 19.224,78 m² e 23.270,61 m², respetivamente.

É importante observar que, para além da sua cobertura nos locais a serem implantados, cada tecnologia tem a sua peculiaridade em termos de desempenho, quer seja devido às maiores taxas de infiltração quer devido à redução e/ou amortecimento nos picos de escoamento. Para uma análise mais correta, a respeito das performances de cada tecnologia, é necessário avaliar a proporcionalidade da área de abrangência no local de estudo e ponderar os resultados obtidos face a estas áreas, tal como foi demonstrado na Tabela III.3.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

Em todos os cenários apresentados, o período crítico compreende-se entre os 10 minutos iniciais (quando se iniciam as chuvas) até ao final do escoamento que dura cerca de uma hora e meia. Este intervalo temporal implica uma necessidade de serem implantadas as tecnologias estudadas para beneficiar o sistema como um todo.

No que diz respeito aos resultados dos caudais afluentes ao nó, durante o tempo decorrido na modelação (4 horas) observa-se um desfasamento temporal aceitável, entre o início da precipitação e a descarga no DSU (nó 821829), tendo em conta que o nó pode ser considerado o exutório do sistema e os escoamentos gerados/acumulados levam tempo para que afluam a este ponto.

Os estudos aqui realizados mostraram um baixo impacto quando se trata das chuvas de 5 mm, uma vez que o bairro já tem capacidade de infiltração suficiente para amortecer esta baixa precipitação. Isso deverá estar intimamente ligado ao planeamento inicial do bairro, que previu um parque urbano com área considerável, para além das áreas de amortecimento difusas (rotundas, canteiros, entre outros) existentes.

De forma geral, as tecnologias propostas apresentaram bom desempenho para as chuvas de 10 mm, amortecendo os efeitos dessa chuva no bairro. Já para as chuvas de 20 e 29 mm observa-se a necessidade de uma maior área de cobertura de LIDs/SuDS, uma vez que a capacidade de infiltração sofre impactes mais significativos durante esses eventos. Assim, para avaliar as causas e efeitos das tecnologias recomenda-se aumentar as percentagens de cobertura na malha urbana. Realça-se que os valores adotados para este trabalho foram conservadores, podendo ter resultados mais significativos a partir deste aumento.

Portanto, não se pode comparar as tecnologias em SuDS/LID especificamente neste sistema em termos de melhor ou pior desempenho, uma vez que estas foram aplicadas em escala real e obedecendo critérios de cobertura que os limitam, por exemplo, não ter sido aplicado telhado verde na totalidade dos edifícios, por questões de carga e não se prever o pavimento permeável em todas as vias, por questões de investimento e infraestrutura urbana.

Como recomendações, sugere-se a realização de estudos para a avaliação das melhorias nos serviços ambientais e ecossistêmicos observados com a implantação das

tecnologias em SuDS, com a componente de qualidade de água e ar incrementados pelas tecnologias, para além dos impactes hidrológicos.

Outra melhoria importante para este estudo implica em considerar chuvas mais intensas, com período de retorno de 10 anos ou maiores, por exemplo, indicados para projetos de SuDS, além disso, considerar os caudais de águas residuais na modelação, para se avaliar de forma mais fiável os impactes hidráulicos na rede do bairro.

Estas recomendações seriam relevantes para a avaliação do impacto de SuDS na mitigação de eventos relacionados às alterações climáticas, ao abordar e modelar diferentes eventos de chuva e seus efeitos no meio ambiente, uma vez que o SWMM tem a capacidade de incorporar cenários, envolvendo também a qualidade das águas descarregadas. Esses estudos e modelações são importantes para a criação de políticas de mitigação e adaptabilidade às mudanças do clima e podem ser objetos de estudos futuros, tomando-se por base os resultados favoráveis que os SuDS podem trazer na malha urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi Aad, M. P., Suidan, M. T., & Shuster, W. D. (2010). Modeling techniques of best management practices: Rain barrels and rain gardens using EPA SWMM-5. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 434-443. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000136](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000136)
- Aguiar, F. C., Bentz, J., Silva, J. M., Fonseca, A. L., Swart, R., Santos, F. D., & Penha-Lopes, G. (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. *Environmental Science & Policy*, 86, 38-63. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.010>
- Alon, L. By Leigh Alon, Patricia Brandt, Blaire Byg, Hannah Flynn, Leah Garner, Lily Gordon, Bryan Graybill, Kylah Johnston, Colin Parts, Hanna Petroski, Roberta Weiner, Sam Zacher and Bailey Zweifel (2016). A Summary of Environmental Quality and Stormwater Management and Green Infrastructure in the Calumet Region. Disponível em <https://calumetquarter.uchicago.edu/2014/a-summary-of-environmental-quality-and-stormwater-management-and-green-infrastructure-in-the-calumet-region>. Acesso em fev/2021.
- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2018). Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM. *Water*, 11(1), 33. <https://doi.org/10.3390/w11010033>
- Bianchini, F., & Hewage, K. (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and environment*, 48, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.019>
- Bíblia Sagrada (2012). Edição Pastoral. Editora Paulus. 33ª impressão. São Paulo, Brasil.
- Bonito, A. J. C. (2014). Infiltrações na rede de drenagem de águas residuais-Caso de estudo da bacia de drenagem de Lanheses. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. <https://hdl.handle.net/10216/76205>
- Botturi, A., Ozbayram, E. G., Tondera, K., Gilbert, N. I., Rouault, P., Caradot, N., Gutierrez, O., Daneshgar, S., Frison, N., Akyol, Ç., Foglia, A., Eusebi, A. L. & Fatone, F. (2020) Combined sewer overflows: A critical review on best practice and innovative solutions to mitigate impacts on environment and human health, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, [https://doi: 10.1080/10643389.2020.1757957](https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1757957)
- Butler, D. & Davies, JW, 2000. *Urban Drainage*, E&FN SPON, Londres, 489 pp.
- Cipolla, S. S., Maglionico, M., & Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological engineering*, 95, 876-887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.009>
- Costello, D. M., Hartung, E. W., Stoll, J. T., & Jefferson, A. J. (2020). Bioretention cell age and construction style influence stormwater pollutant dynamics. *Science of the Total Environment*, 712, 135597. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135597>
- Currie, B. A., & Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban ecosystems*, 11(4), 409-422. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0054-y>

- Decreto-Regulamentar Nº 23/95 – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Drenagem de Águas Residuais. Diário da República, I Série B, nº 1984, 1995. Disponível em <https://dre.pt/pesquisa/-/search/431873/details/maximized>. Acesso em fev/2021.
- Dias, S. M. F. L. (2014). Avaliação do impacto das alterações climáticas nos sistemas de drenagem em meios urbanos (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra). <http://hdl.handle.net/10316/38601>. Acesso em fev/2021.
- Ebrahimian, A., Sokolovskaya, N., & Wadzuk, B. (2021). Modeling dynamic performance of urban infiltration trench systems: Methodology and a case study in Philadelphia. *Journal of Hydrology*, 594, 125938. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125938>
- European Environment Agency (EEA). Indicators Heavy precipitation in Europe (2019). Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/precipitation-extremes-in-europe-3>. Acesso em jan/2021
- European Environment Agency (EEA). Urban Wastewater Treatment (2020). Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures/uwwtd/urban-waste-water-treatment>. Acesso em fev/2021.
- Fernandes, L. B., (2017) Modelagem Hidráulica do Interceptor Leste de Fortaleza utilizando o SWMM. 2017. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/45547>. Acesso em abr/2020.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more—The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban water journal*, 12(7), 525-542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Gao, Y., Church, S. P., Peel, S., & Prokopy, L. S. (2018). Public perception towards river and water conservation practices: Opportunities for implementing urban stormwater management practices. *Journal of environmental management*, 223, 478-488. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.059>
- Herrero, M., Tort, J., & Paül, V. (2003). L’habitatge:¿ Moneda de canvi, element d’exclusió territorial o dret bàsic? Badalona com a punt de referència. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 7. <https://www.researchgate.net/profile/Valeria-Pauel/publication/39107043>
- Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikawa, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou, 2018. Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I.

- Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Disponível em <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-3/>. Acesso em jan/2021
- Huertas, D. C. B., Muñoz, N. A. M., Pablo, J., & Sánchez, R. (2019). SuDSSuDS Treatment Train Modeling Using SWMM. In E-proceedings of the 38th IAHR World Congress (pp. 1-10). <https://doi.org/10.3850/38WC092019-1490>
- Jato-Espino, D., Charlesworth, S. M., Bayon, J. R., & Warwick, F. (2016). Rainfall-runoff simulations to assess the potential of SuDS for mitigating flooding in highly urbanized catchments. *International journal of environmental research and public health*, 13(1), 149. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010149>
- Jiménez Ariza, SL, Martínez, JA, Muñoz, AF, Quijano, JP, Rodríguez, JP, Camacho, LA, & Díaz-Granados, M. (2019). A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas, 11 (8), 2312. <https://doi.org/10.3390/su11082312>
- Jin, R., Yoo, J. Y., & Lee, K. S. (2015). Investigation of urban flooding characteristics due to heavy summer rainfall in Seoul using GIS. *한국방재학회논문집*, 15(6), 101-108. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.6.101>
- Johnson JP, Hunt WF. A Retrospective Comparison of Water Quality Treatment in a Bioretention Cell 16 Years Following Initial Analysis. *Sustainability*. 2019; 11(7):1945. <https://doi.org/10.3390/su11071945>
- Joshi, P., Leitão, J. P., Maurer, M., & Bach, P. M. (2021). Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows. *Water Research*, 191, 116780. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116780>
- Jotte, L., Raspati, G., & Azrague, K. (2017). Report review of stormwater management. Disponível em https://www.sintefbok.no/book/download/1121/iorganisasjonkunnskapsformidling130122_safutgivelseklima2050klima2050_reportreport_07nettklima_2050_report_no_7pdf. Acesso em fev/2021
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.). (2017). Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Kondratenko, J., Kotoviča, N. & Reča M. (2021). Regional and national policy recommendations for implementing the integrated stormwater management in the Baltic Sea Region. Deliverable 4.4 of the BSR WATER project, co-funded by the European Development Fund. Riga City Council. www.ubcsustainable.net/library/publication/policy-recommendations-implementingintegrated-stormwater-management
- Locatelli, L., Russo, B., & Martinez, M. (2019). Evaluating health hazard of bathing waters affected by combined sewer overflows. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss*, 1-19. <https://doi.org/10.5194/nhess-2019-292>
- Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5254-5264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.062>

- Lourenço, R., (2014). Sistemas Urbanos de Drenagem. Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Master Thesis. <http://hdl.handle.net/10400.26/14071>.
- Lluch, F. P. (1997). Montigalà. Carrer dels Arbres. Revista anuari del Museu de Badalona, (8), 67-82. Disponível em <https://raco.cat/index.php/CarrerArbres/article/view/294827>. Acesso em dez/21
- Mahaut, V., & Andrieu, H. (2019). Relative influence of urban-development strategies and water management on mixed (separated and combined) sewer overflows in the context of climate change and population growth: A case study in Nantes. *Sustainable Cities and Society*, 44, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.012>
- Martínez-Gomariz, E., Locatelli, L., Guerrero, M., Russo, B., & Martínez, M. (2019). Socio-economic potential impacts due to urban pluvial floods in Badalona (Spain) in a context of climate change. *Water*, 11(12), 2658.
- Marengo, J. A. (2008). Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, 22(63), 83-96. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>.
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., ... & Zhao, Z. C. (2007). Global climate projections. Chapter 10. Disponível em <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf>. Acesso em jan/22
- Momparler, S. P., Romero, E. C., Catalán, C. B., Pitarch, I. B. (2019) Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término Municipal de Castelló de La Plana. Ayuntamiento de Castelló de la Plana Disponível em http://www.castello.es/archivos/1466/Guia_Sistemas_Drenaje_Sostenible.pdf. Acesso em fev/2021.
- Monrose, J., & Tota-Maharaj, K. (2018). Technological review of permeable pavement systems for applications in small island developing states. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 46(9), 1700168. <https://doi.org/10.1002/clen.201700168>
- Monteiro, C. S. & Capeli R. (2018). Estudo das contribuições indevidas na rede de esgoto sanitário no distrito de Barão Geraldo, Campinas-SP. Universidade São Francisco Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Campus Campinas. Disponível em <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3049.pdf>. Acesso em jun/22.
- Musakwa, W. (2017). Perspectives on geospatial information science education: an example of urban planners in Southern Africa, *Geo-spatial Information Science*, 20:2, 201-208, <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1339403>
- Oliveira, N. T., Barros, E. N. S., & Botelho, P. B. (2021). Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas. *Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, (Especial)*, 318-321. <https://doi.org/10.20873/uftsupl2020-8582>.
- Palla, A., & Gnecco, I. (2015). Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. *Journal of hydrology*, 528, 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.050>

- Pappalardo, V., La Rosa, D., Campisano, A., & La Greca, P. (2017). The potential of green infrastructure application in urban runoff control for land use planning: A preliminary evaluation from a southern Italy case study. *Ecosystem Services*, 26, 345-354.
- Peng, L. L., & Jim, C. Y. (2015). Economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: The case of Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 554-561. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.05.006>
- Peng, Z., & Stovin, V. (2017). Independent Validation of the SWMM Green Roof Module. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(9), 04017037. [https://doi:10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001558](https://doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0001558)
- Pistocchi, A., Dorati, C., Grizzetti, B., Udias, A., Vigiak, O., & Zanni, M. , 2019. Water quality in Europe: effects of the Urban Wastewater Treatment Directive. A retrospective and scenario analysis of Dir. 91/271/EEC, EUR 30003 EN, JRC.
- Quaranta, E., Fuchs, S., Liefting, HJ, Schellart, A., & Pistocchi, A. (2022). Um modelo hidrológico para estimar a poluição por transbordamento de esgoto combinado em escala regional: Aplicação à Europa. *Journal of Hydrology: Regional Studies* , 41 , 101080. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101080>
- Ramos, R. M. S. (2021) Sustentabilidade na construção civil coberturas “Verdes” : estratégias de prevenção e segurança contra incêndios. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dissertação de mestrado. <http://hdl.handle.net/10400.21/13150>
- Riechel, M., Matzinger, A., Pallasch, M., Joswig, K., Pawlowsky-Reusing, E., Hinkelmann, R., & Rouault, P. (2020). Sustainable urban drainage systems in established city developments: Modelling the potential for CSO reduction and river impact mitigation. *Journal of Environmental Management*, 274, 111207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111207>
- Rimes, L. A. G. (2015). Medidas Compensatórias de Infiltração na Drenagem Urbana Sustentável. 157 p.:il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro.
- Rodrigues, C. M., Guimarães, R. C., & Moreira, M. (2011). Apontamentos para as aulas de hidrologia. Universidade de Évora. Disponível em https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4721/1/Apontamentos_hidrologia.pdf. Acesso em mar/22
- Silva J., Barbosa, M A, Silva, S. R. da, & Cabral, J. J. S. P. (2017). Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife - PE. *RBRH*, 22, e19. Epub January 30, 2017. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716040>
- Skilton, D. (2010). "Implementation of Blue-Green Corridors in Urban Environments" Tese de Doutorado, Department of Civil and Environmental Engineering Implementation. Londres
- Sukop, M. C., Rogers, M., Guannel, G., Infanti, J. M., & Hagemann, K. (2018). High temporal resolution modeling of the impact of rain, tides, and sea level rise on water table flooding in the Arch Creek basin, Miami-Dade County Florida USA. *Science*

of the Total Environment, 616, 1668-1688.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.170>.

- Sun, Y. W., Pomeroy, C., Li, Q. Y., & Xu, C. D. (2019). Impacts of rainfall and catchment characteristics on bioretention cell performance. *Water Science and Engineering*, 12(2), 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.06.002>
- Sun, L. Romero, B. Joseph, J. Meseguer, E. Muñoz, R. Guasch, M. Martinez, V. Puig and G. Cembrano (2020). Integrated pollution-based real-time control of sanitation systems. *Journal of Environmental Management*, 269: 110798. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110798>.
- Taji, S. G., & Regulwar, D. G. (2021). LID coupled design of drainage model using GIS and SWMM. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 27(sup1), 376-389. <https://doi.org/10.1080/09715010.2019.1660919>.
- Tapia, C., Abajo, B., Feliu, E., Mendizabal, M., Martinez, J. A., Fernández, J. G., & Lejarazu, A. (2017). Profiling urban vulnerabilities to climate change: An indicator-based vulnerability assessment for European cities. *Ecological indicators*, 78, 142-155.
- Teotónio, I., Cabral, M., Cruz, C. O., & Silva, C. M. (2020). Decision support system for green roofs investments in residential buildings. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119365>
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., ... & Zhai, P. (2007). Observations. *Surface and Atmospheric Climate Change*. Chapter 3.
- Tundisi, J. G. (2008). Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, 22 (63), 7-16. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>
- UNESCO, UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO. Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en>. Acesso em jan/2021
- United Nations (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>. Acesso em jan/2021.
- United Nations (2019), Department of Economic and Social Affairs, Population Division . World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> Acesso em jan/2021.
- United States Environmental Protection Agency (EPA): Combined Sewer Overflows (2021). Disponível em <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/cso.html><https://www.epa.gov/npdes/combined-sewer-overflows-csos>. Acesso em fev/2021
- Urbanas, B.; Stahre, P. (1993). Stormwater Best Management Practices and Detention. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.
- Volschan, I., Tsutiya, M. T., Martins, R. H. de O., & Yazaki, L. F. O. (2009). Sistema unitário x sistema separador absoluto: qual o mais atraente para as condições

brasileiras? Revista DAE, 2009 (180), 40-43. Disponível em http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_180_n_1708.pdf. Acesso em fev/2021.

- Wanielista, M. P. and Kersten, R. and Eaglin, R. (1997). Hydrology and Water Quality Control, J. Wiley and Sons, N.Y., 567 pages.
- WEF (World Economic Forum). (2019). The Global Risks Report 2019. Fourteenth Edition. Geneva, WEF. Disponível em <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019>. Acesso em janeiro/2021.
- Woods Ballard, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Ashely, R.; Kellagher, R. CIRIA—The SuDS Manual; CIRIA Research Project 2015, (RP)992; Department for Environment Food & Rural Affairs: London, UK, 2015; ISBN 978-0-86017-760-9. Disponível em: <https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductCode=C753&Category=BOOK&WebsiteKey=3f18c87a-d62b-4eca-8ef4-9b09309c1c91>. Acesso em set/21
- World Wildlife Fund. (2018) O nosso Planeta - Alterações climáticas. Disponível em http://www.wwf.pt/o_nosso_planeta/alteracoes_climaticas/. Acesso em fev/2021
- Zhang, G., & He, B. J. (2021). Towards green roof implementation: Drivers, motivations, barriers and recommendations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58, 126992. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126992>
- Zhou, Q. (2014). A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6(4), 976–992. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w6040976>
- Zhou, Q., Leng, G., Su, J., & Ren, Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of the Total Environment*, 658, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>
- Kuang, X., Sansalone, J., Ying, G., & Ranieri, V. (2011). Pore-structure models of hydraulic conductivity for permeable pavement. *Journal of Hydrology*, 399 (3-4), 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.024>

ANEXO

Tabela de valores – retirados do SWMM

Bairro Montigala sem SuDS

5 mm/h					
Elapsed Hours	Infiltration (mm/hr)	Runoff m ³ /s	Total Inflow m ³ /s	Outflow m ³ /s	Storage (m ³)
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
0:10	0,96	0,00	0,00	0,00	0,06
0:15	0,95	0,00	0,00	0,00	0,06
0:20	0,94	0,00	0,00	0,00	0,06
0:25	0,93	0,00	0,00	0,00	0,11
0:30	0,92	0,10	0,10	0,00	9,83
0:35	0,91	0,34	0,34	0,01	61,22
0:40	0,90	0,51	0,51	0,02	157,75
0:45	0,89	0,59	0,59	0,06	257,38
0:50	0,88	0,64	0,64	0,51	306,43
0:55	0,87	0,66	0,66	0,60	324,46
1:00	0,86	0,67	0,67	0,67	332,39
1:05	0,86	0,68	0,68	0,65	333,89
1:10	0,86	0,69	0,69	0,69	337,10
1:15	0,86	0,59	0,59	0,66	326,36
1:20	0,86	0,23	0,23	0,59	266,86
1:25	0,85	0,10	0,10	0,40	189,35
1:30	0,85	0,04	0,04	0,23	134,94
1:35	0,80	0,02	0,02	0,14	101,53
1:40	0,73	0,01	0,01	0,08	80,54
1:45	0,47	0,00	0,00	0,05	67,39
1:50	0,45	0,00	0,00	0,03	59,11
1:55	0,43	0,00	0,00	0,02	53,89
2:00	0,40	0,00	0,00	0,01	50,45
2:05	0,37	0,00	0,00	0,01	48,03
2:10	0,31	0,00	0,00	0,01	46,35
2:15	0,26	0,00	0,00	0,00	45,15
2:20	0,23	0,00	0,00	0,00	44,25
2:25	0,20	0,00	0,00	0,00	43,57
2:30	0,16	0,00	0,00	0,00	43,05
2:35	0,12	0,00	0,00	0,00	42,63
2:40	0,09	0,00	0,00	0,00	42,30
2:45	0,08	0,00	0,00	0,00	42,03
2:50	0,06	0,00	0,00	0,00	41,81
2:55	0,05	0,00	0,00	0,00	41,62
3:00	0,03	0,00	0,00	0,00	41,47
3:05	0,01	0,00	0,00	0,00	41,34
3:10	0,01	0,00	0,00	0,00	41,23
3:15	0,00	0,00	0,00	0,00	41,14
3:20	0,00	0,00	0,00	0,00	41,06
3:25	0,00	0,00	0,00	0,00	40,99
3:30	0,00	0,00	0,00	0,00	40,92
3:35	0,00	0,00	0,00	0,00	40,87
3:40	0,00	0,00	0,00	0,00	40,82
3:45	0,00	0,00	0,00	0,00	40,78
3:50	0,00	0,00	0,00	0,00	40,74
3:55	0,00	0,00	0,00	0,00	40,70

Bairro Montigala sem SuDS

10 mm/h					
Elapsed Hours	Infiltration (mm/hr)	Runoff m³/s	Total Inflow m³/s	Outflow m³/s	Storage (m³)
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
0:10	1,91	0,00	0,00	0,00	0,06
0:15	1,87	0,00	0,00	0,00	0,06
0:20	1,83	0,00	0,00	0,00	0,29
0:25	1,80	0,49	0,49	0,00	57,09
0:30	1,76	1,02	1,02	0,01	230,87
0:35	1,73	1,25	1,25	0,58	430,58
0:40	1,70	1,33	1,33	1,14	507,01
0:45	1,66	1,38	1,38	1,30	530,48
0:50	1,63	1,43	1,43	1,36	544,91
0:55	1,60	1,46	1,46	1,41	557,49
1:00	1,58	1,49	1,49	1,45	565,67
1:05	1,55	1,50	1,50	1,48	571,10
1:10	1,55	1,51	1,51	1,50	574,51
1:15	1,55	1,24	1,24	1,46	544,63
1:20	1,54	0,36	0,36	1,18	409,36
1:25	1,53	0,13	0,13	0,69	251,56
1:30	1,31	0,04	0,04	0,33	162,88
1:35	1,07	0,01	0,01	0,17	116,84
1:40	0,86	0,00	0,00	0,09	90,95
1:45	0,72	0,00	0,00	0,05	75,96
1:50	0,61	0,00	0,00	0,03	67,17
1:55	0,48	0,00	0,00	0,02	62,00
2:00	0,39	0,00	0,00	0,01	58,74
2:05	0,30	0,00	0,00	0,01	56,55
2:10	0,22	0,00	0,00	0,01	55,06
2:15	0,14	0,00	0,00	0,00	53,99
2:20	0,11	0,00	0,00	0,00	53,20
2:25	0,08	0,00	0,00	0,00	52,61
2:30	0,03	0,00	0,00	0,00	52,14
2:35	0,01	0,00	0,00	0,00	51,79
2:40	0,01	0,00	0,00	0,00	51,50
2:45	0,00	0,00	0,00	0,00	51,27
2:50	0,00	0,00	0,00	0,00	51,08
2:55	0,00	0,00	0,00	0,00	50,93
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,80
3:05	0,00	0,00	0,00	0,00	50,69
3:10	0,00	0,00	0,00	0,00	50,59
3:15	0,00	0,00	0,00	0,00	50,51
3:20	0,00	0,00	0,00	0,00	50,44
3:25	0,00	0,00	0,00	0,00	50,38
3:30	0,00	0,00	0,00	0,00	50,33
3:35	0,00	0,00	0,00	0,00	50,28
3:40	0,00	0,00	0,00	0,00	50,23
3:45	0,00	0,00	0,00	0,00	50,19
3:50	0,00	0,00	0,00	0,00	50,16
3:55	0,00	0,00	0,00	0,00	50,13

Bairro Montigala sem SuDS

20 mm/h					
Elapsed Hours	Infiltration (mm/hr)	Runoff m³/s	Total Inflow m³/s	Outflow m³/s	Storage (m³)
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
0:10	3,78	0,00	0,00	0,00	0,06
0:15	3,62	0,00	0,00	0,00	0,06
0:20	3,48	0,74	0,74	0,01	86,56
0:25	3,35	2,16	2,16	0,18	422,22
0:30	3,23	2,63	2,63	1,75	776,24
0:35	3,12	2,84	2,84	2,55	880,50
0:40	3,01	2,96	2,96	2,81	921,91
0:45	2,92	3,01	3,01	2,95	942,05
0:50	2,83	3,05	3,05	3,02	954,42
0:55	2,74	3,07	3,07	3,05	962,77
1:00	2,66	3,09	3,09	3,07	967,54
1:05	2,59	3,10	3,10	3,08	968,99
1:10	2,59	3,11	3,11	3,10	969,07
1:15	2,59	2,53	2,53	2,98	906,06
1:20	2,56	0,56	0,56	2,23	631,12
1:25	2,04	0,17	0,17	1,07	341,84
1:30	1,40	0,05	0,05	0,49	208,48
1:35	1,13	0,01	0,01	0,22	145,61
1:40	0,99	0,00	0,00	0,11	113,68
1:45	0,81	0,00	0,00	0,06	96,60
1:50	0,59	0,00	0,00	0,03	87,35
1:55	0,40	0,00	0,00	0,02	82,32
2:00	0,26	0,00	0,00	0,01	79,29
2:05	0,15	0,00	0,00	0,01	77,35
2:10	0,11	0,00	0,00	0,01	76,04
2:15	0,02	0,00	0,00	0,00	75,13
2:20	0,01	0,00	0,00	0,00	74,45
2:25	0,01	0,00	0,00	0,00	73,94
2:30	0,00	0,00	0,00	0,00	73,56
2:35	0,00	0,00	0,00	0,00	73,26
2:40	0,00	0,00	0,00	0,00	73,02
2:45	0,00	0,00	0,00	0,00	72,83
2:50	0,00	0,00	0,00	0,00	72,68
2:55	0,00	0,00	0,00	0,00	72,55
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,44
3:05	0,00	0,00	0,00	0,00	72,35
3:10	0,00	0,00	0,00	0,00	72,27
3:15	0,00	0,00	0,00	0,00	72,21
3:20	0,00	0,00	0,00	0,00	72,15
3:25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,10
3:30	0,00	0,00	0,00	0,00	72,06
3:35	0,00	0,00	0,00	0,00	72,01
3:40	0,00	0,00	0,00	0,00	71,98
3:45	0,00	0,00	0,00	0,00	71,95
3:50	0,00	0,00	0,00	0,00	71,92
3:55	0,00	0,00	0,00	0,00	71,90

Bairro Montigala sem SuDS

T2 29 mm/h

Elapsed Hours	Infiltration (mm/hr)	Runoff m ³ /s	Total Inflow m ³ /s	Outflow m ³ /s	Storage (m ³)
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
0:10	5,40	0,00	0,00	0,00	0,06
0:15	5,09	0,00	0,00	0,00	0,06
0:20	4,82	1,91	1,91	0,02	235,79
0:25	4,57	3,55	3,55	0,90	672,24
0:30	4,35	4,09	4,09	2,67	1131,35
0:35	4,15	4,30	4,30	4,10	1201,84
0:40	3,97	4,40	4,40	4,33	1225,53
0:45	3,81	4,45	4,45	4,41	1236,62
0:50	3,66	4,48	4,48	4,46	1243,14
0:55	3,52	4,51	4,51	4,49	1248,71
1:00	3,39	4,54	4,54	4,52	1253,07
1:05	3,27	4,56	4,56	4,54	1256,92
1:10	3,27	4,58	4,58	4,57	1260,35
1:15	3,27	3,71	3,71	4,35	1171,92
1:20	3,16	0,72	0,72	3,04	791,38
1:25	1,97	0,20	0,20	1,15	446,03
1:30	1,42	0,06	0,06	0,46	319,81
1:35	1,26	0,01	0,01	0,19	261,60
1:40	1,06	0,00	0,00	0,10	233,91
1:45	0,78	0,00	0,00	0,05	218,54
1:50	0,57	0,00	0,00	0,03	209,74
1:55	0,36	0,00	0,00	0,02	205,01
2:00	0,20	0,00	0,00	0,01	201,92
2:05	0,12	0,00	0,00	0,01	200,19
2:10	0,05	0,00	0,00	0,00	199,07
2:15	0,01	0,00	0,00	0,00	198,53
2:20	0,01	0,00	0,00	0,00	198,09
2:25	0,00	0,00	0,00	0,00	197,76
2:30	0,00	0,00	0,00	0,00	197,37
2:35	0,00	0,00	0,00	0,00	196,95
2:40	0,00	0,00	0,00	0,00	196,57
2:45	0,00	0,00	0,00	0,00	196,26
2:50	0,00	0,00	0,00	0,00	196,09
2:55	0,00	0,00	0,00	0,00	196,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	196,04
3:05	0,00	0,00	0,00	0,00	196,05
3:10	0,00	0,00	0,00	0,00	196,08
3:15	0,00	0,00	0,00	0,00	195,97
3:20	0,00	0,00	0,00	0,00	195,87
3:25	0,00	0,00	0,00	0,00	195,65
3:30	0,00	0,00	0,00	0,00	195,56
3:35	0,00	0,00	0,00	0,00	195,43
3:40	0,00	0,00	0,00	0,00	195,47
3:45	0,00	0,00	0,00	0,00	195,48
3:50	0,00	0,00	0,00	0,00	195,61
3:55	0,00	0,00	0,00	0,00	195,60

Telhado Verde

Elapsed Hours	Infiltration (mm/h)				Runoff (m ³ /s)				Descarregador do sistema (m ³ /s)			
	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
	00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:10:00	0.93	1.86	3.67	5.25	0	0	0	0	0	0	0	0
00:15:00	0.92	1.82	3.52	4.95	0	0	0	0	0	0	0	0
00:20:00	0.91	1.78	3.38	4.69	0	0	0	0	0	0	0	0
00:25:00	0.9	1.75	3.26	4.45	0	0	0.75	1.9	0	0	0	0.02
00:30:00	0.89	1.71	3.14	4.24	0.49	1	2.09	3.43	0	0	0	0.18
00:35:00	0.88	1.68	3.04	4.05	0.34	1.2	2.53	3.93	0	0.02	1.75	3.3
00:40:00	0.87	1.65	2.94	3.87	0.5	1.28	2.73	4.14	0	0.35	2.48	3.94
00:45:00	0.86	1.62	2.84	3.71	0.57	1.33	2.84	4.24	0.01	1.04	2.72	4.15
00:50:00	0.86	1.59	2.75	3.57	0.62	1.37	2.91	4.28	0.06	1.24	2.84	4.24
00:55:00	0.85	1.56	2.67	3.44	0.64	1.4	2.93	4.32	0.49	1.3	2.91	4.29
01:00:00	0.84	1.53	2.6	3.31	0.65	1.43	2.95	4.35	0.58	1.35	2.93	4.3
01:05:00	0.83	1.51	2.52	3.2	0.65	1.44	2.97	4.37	0.61	1.39	2.95	4.35
01:10:00	0.83	1.51	2.52	3.2	0.66	1.45	2.99	4.4	0.65	1.42	2.97	4.38
01:15:00	0.83	1.51	2.52	3.2	0.66	1.45	3	4.42	0.63	1.44	2.99	4.4
01:20:00	0.83	1.5	2.5	3.09	0.66	1.45	2.43	3.58	0.64	1.41	2.87	4.2
01:25:00	0.83	1.49	1.98	1.9	0.66	1.19	0.53	0.69	0.57	1.15	2.12	2.99
01:30:00	0.82	1.27	1.34	1.36	0.21	0.34	0.16	0.2	0.38	0.69	0.98	1.23
01:35:00	0.78	1.02	1.08	1.2	0.04	0.04	0.05	0.07	0.22	0.33	0.53	0.53
01:40:00	0.71	0.82	0.93	1	0.02	0.01	0.02	0.03	0.13	0.16	0.2	0.24
01:45:00	0.45	0.69	0.77	0.74	0	0	0.01	0.02	0.08	0.09	0.11	0.13
01:50:00	0.42	0.58	0.56	0.54	0	0	0.01	0.02	0.05	0.05	0.06	0.07
01:55:00	0.41	0.46	0.37	0.34	0	0	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05
02:00:00	0.38	0.37	0.25	0.19	0	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
02:05:00	0.34	0.29	0.15	0.12	0	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
02:10:00	0.29	0.2	0.1	0.02	0	0	0.01	0.02	0.01	0	0	0.02
02:15:00	0.25	0.14	0.02	0.01	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:20:00	0.22	0.09	0.01	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:25:00	0.18	0.07	0.01	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:30:00	0.15	0.03	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:35:00	0.11	0.01	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:40:00	0.09	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:45:00	0.07	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:50:00	0.06	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
02:55:00	0.03	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02
03:00:00	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02
03:05:00	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02
03:10:00	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:15:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:20:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:25:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:30:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:35:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:40:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:45:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:50:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
03:55:00	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01

Célula de Bio-retenção

Elapsed Hours	Infiltration (mm/h)			Runoff (m³/s)			Descarregador do sistema (m³/s)			
	5 mm	10 mm	20 mm	5 mm	10 mm	20 mm	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:10:00	0.78	1.56	3.08	4.4	0	0	0	0	0	0
00:15:00	0.77	1.52	2.94	4.12	0	0	0	0	0	0
00:20:00	0.76	1.49	2.81	3.87	0	0	0	0	0	0
00:25:00	0.75	1.46	2.69	3.65	0	0	0.75	1.86	0	0.01
00:30:00	0.74	1.42	2.58	3.45	0.1	0.49	2.07	3.39	0	0.17
00:35:00	0.74	1.39	2.48	3.27	0.34	1.19	2.67	3.98	0.01	1.72
00:40:00	0.73	1.36	2.39	3.11	0.49	1.26	2.74	4.04	0.56	2.44
00:45:00	0.72	1.33	2.3	2.96	0.56	1.31	2.77	4.07	1.23	2.65
00:50:00	0.71	1.31	2.22	2.83	0.61	1.34	2.8	4.1	1.28	2.74
00:55:00	0.7	1.28	2.15	2.71	0.63	1.36	2.81	4.13	1.32	2.77
01:00:00	0.7	1.26	2.07	2.6	0.64	1.37	2.82	4.15	1.35	2.8
01:05:00	0.69	1.23	2.01	2.49	0.64	1.38	2.84	4.17	1.37	2.81
01:10:00	0.69	1.23	2.01	2.49	0.65	1.39	2.85	4.19	1.38	2.82
01:15:00	0.69	1.23	2.01	2.49	0.55	1.14	2.34	3.43	1.34	2.84
01:20:00	0.69	1.22	1.98	2.29	0.2	0.32	0.5	0.64	1.34	2.73
01:25:00	0.68	1.17	1.49	1.51	0.09	0.11	0.14	0.17	1.34	2.65
01:30:00	0.68	1.05	1.18	1.29	0.04	0.04	0.04	0.05	0.65	0.95
01:35:00	0.62	0.9	1.05	1.17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.22	0.42
01:40:00	0.6	0.72	0.92	0.97	0.01	0	0	0	0.16	0.19
01:45:00	0.44	0.65	0.69	0.7	0	0	0	0	0.08	0.11
01:50:00	0.42	0.56	0.53	0.47	0	0	0	0	0.04	0.05
01:55:00	0.4	0.43	0.34	0.32	0	0	0	0	0.03	0.03
02:00:00	0.37	0.35	0.22	0.16	0	0	0	0	0.02	0.02
02:05:00	0.32	0.26	0.14	0.11	0	0	0	0	0.01	0.01
02:10:00	0.28	0.18	0.08	0.04	0	0	0	0	0.01	0.01
02:15:00	0.23	0.12	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
02:20:00	0.2	0.09	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
02:25:00	0.18	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01
02:30:00	0.14	0.02	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
02:35:00	0.1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
02:40:00	0.08	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45:00	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:50:00	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:55:00	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:05:00	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:10:00	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:25:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:35:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:55:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Trincheira de Infiltração

Elapsed Hours	Infiltration (mm/h)						Runoff (m ³ /s)						Descarregador do sistema (m ³ /s)											
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm		5 mm		10 mm		20 mm		29 mm		5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:10:00	1,07	2,15	4,24	5,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:15:00	1,06	2,11	4,1	5,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:20:00	1,05	2,07	3,96	5,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:25:00	1,04	2,04	3,84	5,04	0	0	0	0	0	0	0	0,74	1,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02
00:30:00	1,03	2	3,72	4,83	0	0	0	0	0,49	2,16	3,56	2,16	3,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	1	
00:35:00	1,03	1,97	3,62	4,64	0	0	0	0	0,1	1,02	2,63	4,05	4,05	0	0	0	0	0	0,01	1,81	2,57	3,43	4,05	
00:40:00	1,02	1,94	3,52	4,47	0	0	0	0	0,34	1,25	2,82	4,22	4,22	0	0	0	0	0	0,58	2,81	4,22	4,22	4,22	
00:45:00	1,01	1,91	3,43	4,32	0	0	0	0	0,51	1,33	2,9	4,29	4,29	0	0	0	0	0,01	1,14	2,81	4,22	4,22	4,22	
00:50:00	1	1,88	3,34	4,18	0	0	0	0	0,59	1,38	2,94	4,32	4,32	0	0	0	0	0,06	1,3	2,9	4,29	4,29	4,29	
00:55:00	0,99	1,85	3,26	4,05	0	0	0	0	0,64	1,42	2,96	4,35	4,35	0	0	0	0	0,5	1,36	2,94	4,32	4,32	4,32	
01:00:00	0,98	1,83	3,19	3,93	0	0	0	0	0,66	1,44	2,98	4,38	4,38	0	0	0	0	0,6	1,4	2,96	4,35	4,35	4,35	
01:05:00	0,98	1,8	3,12	3,82	0	0	0	0	0,67	1,46	2,99	4,4	4,4	0	0	0	0	0,64	1,44	2,98	4,38	4,38	4,38	
01:10:00	0,72	1,28	2,08	3,82	0	0	0	0	0,68	1,46	3,01	4,42	4,42	0	0	0	0	0,66	1,45	2,99	4,4	4,4	4,4	
01:15:00	0,72	1,28	2,08	3,82	0	0	0	0	0,69	1,47	3,02	4,44	4,44	0	0	0	0	0,68	1,46	3,01	4,42	4,42	4,42	
01:20:00	0,71	1,27	2,05	2,84	0	0	0	0	0,59	1,21	2,48	3,66	3,66	0	0	0	0	0,64	1,42	2,9	4,23	4,23	4,23	
01:25:00	0,71	1,22	1,56	1,6	0	0	0	0	0,23	0,36	0,56	0,72	0,72	0	0	0	0	0,59	1,15	2,16	3,05	3,05	3,05	
01:30:00	0,65	1,1	1,25	1,38	0	0	0	0	0,1	0,13	0,17	0,2	0,2	0	0	0	0	0,39	0,68	1,01	1,26	1,26	1,26	
01:35:00	0,65	0,95	1,12	1,26	0	0	0	0	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0	0	0	0	0,23	0,33	0,46	0,54	0,54	0,54	
01:40:00	0,63	0,77	0,99	1,06	0	0	0	0	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0,14	0,17	0,21	0,24	0,24	0,24	
01:45:00	0,47	0,7	0,81	0,78	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	
01:50:00	0,45	0,61	0,59	0,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	
01:55:00	0,43	0,48	0,4	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
02:00:00	0,4	0,39	0,26	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
02:05:00	0,37	0,3	0,15	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
02:10:00	0,31	0,22	0,11	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
02:15:00	0,26	0,14	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
02:20:00	0,23	0,11	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
02:25:00	0,2	0,08	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
02:30:00	0,16	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:35:00	0,12	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:40:00	0,09	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:45:00	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:50:00	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:55:00	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:00:00	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:05:00	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:10:00	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:25:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:35:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:45:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:55:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Pavimentos Permeáveis

Elapsed Hours	Infiltration (mm/h)			Runoff (m³/s)			Descarregador do sistema (m³/s)			
	5 mm	10 mm	20 mm	5 mm	10 mm	20 mm	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:10:00	0.94	1.88	3.72	5.32	0	0	0	0	0	0
00:15:00	0.93	1.84	3.57	5.02	0	0	0	0	0	0
00:20:00	0.92	1.81	3.43	4.75	0	0	0.75	1.87	0	0.01
00:25:00	0.91	1.77	3.3	4.51	0	0.49	2.08	3.43	0	0.18
00:30:00	0.9	1.74	3.18	4.29	0.1	0.99	2.54	3.95	0	0.97
00:35:00	0.89	1.7	3.07	4.1	0.34	1.2	2.74	4.16	0.01	1.74
00:40:00	0.88	1.67	2.97	3.92	0.49	1.29	2.86	4.26	0.56	2.48
00:45:00	0.88	1.64	2.88	3.76	0.57	1.34	2.91	4.3	0.01	2.73
00:50:00	0.87	1.61	2.79	3.61	0.62	1.38	2.95	4.34	0.06	2.85
00:55:00	0.86	1.58	2.71	3.48	0.66	1.41	2.97	4.37	0.48	2.91
01:00:00	0.85	1.55	2.63	3.35	0.67	1.44	2.99	4.39	0.58	2.95
01:05:00	0.84	1.53	2.56	3.24	0.68	1.45	3	4.41	0.63	2.97
01:10:00	0.84	1.53	2.56	3.24	0.69	1.46	3.01	4.43	0.67	2.99
01:15:00	0.84	1.53	2.56	3.23	0.66	1.19	2.44	3.58	0.65	3
01:20:00	0.84	1.51	2.53	3.12	0.21	0.34	0.53	0.68	0.67	2.88
01:25:00	0.84	1.51	2.01	1.94	0.09	0.12	0.16	0.19	0.57	2.12
01:30:00	0.83	1.29	1.37	1.39	0.04	0.04	0.05	0.05	0.39	0.99
01:35:00	0.79	1.05	1.1	1.21	0.02	0.01	0.01	0.01	0.23	1.23
01:40:00	0.72	0.84	0.95	1.01	0.01	0	0	0	0.32	0.52
01:45:00	0.46	0.7	0.77	0.75	0	0	0	0	0.44	0.23
01:50:00	0.44	0.59	0.56	0.53	0	0	0	0	0.17	0.2
01:55:00	0.42	0.46	0.37	0.34	0	0	0	0	0.08	0.11
02:00:00	0.39	0.37	0.24	0.18	0	0	0	0	0.05	0.06
02:05:00	0.35	0.28	0.14	0.12	0	0	0	0	0.03	0.03
02:10:00	0.3	0.2	0.1	0.05	0	0	0	0	0.02	0.02
02:15:00	0.25	0.13	0.02	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
02:20:00	0.22	0.1	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
02:25:00	0.19	0.07	0.01	0	0	0	0	0	0	0
02:30:00	0.15	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0
02:35:00	0.11	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
02:40:00	0.09	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45:00	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:50:00	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:55:00	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:05:00	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:10:00	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:25:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:35:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:55:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Reservatórios de Chuva

Elapsed Hours	Infiltration (mm/h)			Runoff (m ³ /s)			Descarregador do sistema (m ³ /s)			
	5 mm	10 mm	20 mm	5 mm	10 mm	20 mm	5 mm	10 mm	20 mm	29 mm
00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:10:00	0.83	1.67	3.29	4.72	0	0	0	0	0	0
00:15:00	0.82	1.64	3.17	4.47	0	0	0	0	0	0
00:20:00	0.82	1.6	3.05	4.24	0	0	0	0	0	0
00:25:00	0.81	1.57	2.95	4.04	0	0	0.62	1.54	0	0.02
00:30:00	0.8	1.54	2.85	3.86	0.07	0.39	1.66	2.72	0	0.87
00:35:00	0.79	1.52	2.76	3.69	0.27	0.94	2	3.14	0	2.57
00:40:00	0.79	1.49	2.67	3.54	0.39	1.01	2.18	3.33	0	3.12
00:45:00	0.78	1.46	2.59	3.41	0.44	1.05	2.28	3.41	0.01	3.33
00:50:00	0.77	1.44	2.52	3.28	0.48	1.09	2.34	3.45	0.05	3.41
00:55:00	0.76	1.42	2.45	3.17	0.5	1.12	2.36	3.48	0.2	3.45
01:00:00	0.76	1.39	2.38	3.06	0.51	1.15	2.38	3.51	0.41	3.48
01:05:00	0.75	1.37	2.32	2.96	0.52	1.16	2.41	3.55	0.48	3.51
01:10:00	0.75	1.37	2.32	2.96	0.52	1.17	2.42	3.56	0.5	3.53
01:15:00	0.75	1.37	2.32	2.96	0.44	0.94	1.92	2.82	0.51	3.55
01:20:00	0.75	1.36	2.29	2.85	0.16	0.25	0.39	0.5	0.5	2.3
01:25:00	0.75	1.35	1.78	1.66	0.07	0.08	0.11	0.13	0.3	0.88
01:30:00	0.74	1.13	1.13	1.12	0.03	0.03	0.03	0.03	0.18	1.66
01:35:00	0.7	0.88	0.87	0.95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.22	2.32
01:40:00	0.63	0.69	0.74	0.81	0	0	0	0	0.1	0.77
01:45:00	0.37	0.56	0.63	0.59	0	0	0	0	0.06	0.41
01:50:00	0.35	0.47	0.45	0.43	0	0	0	0	0.06	0.09
01:55:00	0.33	0.38	0.29	0.27	0	0	0	0	0.02	0.09
02:00:00	0.31	0.29	0.18	0.14	0	0	0	0	0.01	0.02
02:05:00	0.28	0.22	0.1	0.08	0	0	0	0	0.01	0.01
02:10:00	0.24	0.16	0.07	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
02:15:00	0.21	0.09	0.01	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0	0
02:20:00	0.18	0.07	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0	0
02:25:00	0.15	0.05	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0	0.01
02:30:00	0.12	0.03	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.01	0.01
02:35:00	0.09	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.01	0.06
02:40:00	0.07	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.03	0.09
02:45:00	0.05	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.04	0.1
02:50:00	0.04	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.04	0.1
02:55:00	0.03	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.04	0.1
03:00:00	0.02	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.04	0.1
03:05:00	0.01	0	0	0	0.04	0.06	0.08	0.1	0.04	0.1
03:10:00	0.01	0	0	0	0.04	0.05	0.08	0.1	0.04	0.1
03:15:00	0	0	0	0	0.04	0.05	0.08	0.1	0.04	0.1
03:20:00	0	0	0	0	0.04	0.05	0.08	0.09	0.04	0.1
03:25:00	0	0	0	0	0.04	0.05	0.08	0.09	0.04	0.1
03:30:00	0	0	0	0	0.04	0.05	0.08	0.09	0.04	0.1
03:35:00	0	0	0	0	0.04	0.05	0.08	0.09	0.04	0.1
03:40:00	0	0	0	0	0.03	0.05	0.08	0.09	0.04	0.09
03:45:00	0	0	0	0	0.03	0.05	0.08	0.09	0.04	0.09
03:50:00	0	0	0	0	0.03	0.05	0.08	0.09	0.04	0.09
03:55:00	0	0	0	0	0.03	0.05	0.08	0.09	0.04	0.09

Tabela Resumo - Descarregador

nó 821829	Chuvas	10 ⁶ L	Redução
Sem SuDS	5mm	1,66	
	10mm	3,836	
	20mm	9,725	
	30mm	14,403	
Telhado Verde	5mm	1,57	5,4%
	10mm	3,673	4,2%
	20mm	9,445	2,9%
	30mm	14,41	0,0%
Célula de bio-retenção	5mm	1,538	7,3%
	10mm	3,966	-3,4%
	20mm	9,021	7,2%
	30mm	13,677	5,0%
Trincheira de Infiltração	5mm	1,634	1,6%
	10mm	3,788	1,3%
	20mm	9,556	1,7%
	30mm	14,491	-0,6%
Pavimento Permeável	5mm	1,601	3,6%
	10mm	3,686	3,9%
	20mm	9,422	3,1%
	30mm	14,327	0,5%
Reservatório de chuva	5mm	1,336	19,5%
	10mm	3,096	19,3%
	20mm	7,904	18,7%
	30mm	11,923	17,2%

Sem SuDS								
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm
Total Precipitation	0,321	4,980	0,646	10,020	1,289	19,980	1,861	28,860
Evaporation Loss	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Infiltration Loss	0,110	1,699	0,178	2,761	0,285	4,414	0,363	5,628
Surface Runoff	0,176	2,730	0,440	6,816	0,992	15,386	1,502	23,295
Final Storage	0,042	0,646	0,042	0,651	0,041	0,637	0,040	0,625
Continuity Error (%)	-1,899		-2,075		-2,290		-2,387	

Telhado Verde								
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm
Initial LID Storage	0,023	0,361	0,023	0,361	0,023	0,361	0,023	0,361
Total Precipitation	0,321	4,98	0,646	10,02	1,289	19,98	1,861	28,86
Evaporation Loss	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration Loss	0,106	1,641	0,173	2,675	0,276	4,286	0,353	5,469
Surface Runoff	0,17	2,629	0,423	6,562	0,956	14,818	1,446	22,426
Final Storage	0,075	1,163	0	0,001	0,008	0,119	0,017	0,265
LID Drainage	0	0	0,087	1,347	0,102	1,575	0,115	1,789
Continuity Error (%)	-1,736		-1,956		-2,242		-2,491	

Célula de Bioretensão								
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm
Initial LID Storage	0,333	5,168	0,333	5,168	0,333	5,168	0,333	5,168
Total Precipitation	0,321	4,98	0,646	10,02	1,289	19,98	1,861	28,86
Evaporation Loss	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration Loss	0,09	1,403	0,145	2,241	0,228	3,532	0,288	4,459
Surface Runoff	0,166	2,58	0,411	6,37	0,919	14,256	1,387	21,503
Final Storage	0,404	6,257	0,437	6,778	0,506	7,841	0,562	8,713
Continuity Error (%)	-0,896		-1,322		-1,911		-1,9	

Trincheira de Infiltração								
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm
Total Precipitation	0,321	4,98	0,646	10,02	1,289	19,98	1,861	28,86
Evaporation Loss	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration Loss	0,112	1,738	0,185	2,874	0,305	4,735	0,397	6,15
Surface Runoff	0,176	2,729	0,435	6,744	0,973	15,09	1,469	22,78
Final Storage	0,039	0,606	0,039	0,608	0,039	0,603	0,038	0,595
Continuity Error (%)	-1,885		-2,055		-2,243		-2,32	

Pavimento Permeável								
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm
Initial LID Storage	-	-	0,096	1,49	0,096	1,49	0,096	1,49
Total Precipitation	0,321	4,98	0,646	10,02	1,289	19,98	1,861	28,86
Evaporation Loss	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration Loss	0,107	1,664	0,175	2,71	0,28	4,34	0,357	5,54
Surface Runoff	0,173	2,677	0,424	6,582	0,959	14,877	1,453	22,525
Final Storage	0,047	0,731	0,156	2,421	0,174	2,704	0,191	2,956
Continuity Error (%)	-1,848		-1,762		-2,101		-2,208	

Reservatório de chuvas								
	5 mm		10 mm		20 mm		29 mm	
	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm	hectare-m	mm
Total Precipitation	0,321	4,98	0,646	10,02	1,289	19,98	1,861	28,86
Evaporation Loss	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration Loss	0,094	1,451	0,154	2,383	0,248	3,846	0,318	4,938
Surface Runoff	0,132	2,054	0,336	5,208	0,765	11,86	1,161	18,008
LID Drainage	0,025	0,383	0,036	0,561	0,052	0,809	0,063	0,981
Final Storage	0,076	1,183	0,133	2,062	0,25	3,877	0,358	5,543
Continuity Error (%)	-1,824		-1,925		-2,063		-2,114	