

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE UMA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA
COM RECURSO AO PROGRAMA DE MODELAÇÃO SWMM
CASO DE ESTUDO DE UMA BACIA DE DRENAGEM URBANA DE VILA REAL**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil

Pedro André Sol Vilela

Orientadora: Professora Doutora Ana Cristina Ribeiro Afonso de Matos Coutinho

Coorientadora: Professora Doutora Isabel Maria Assunção Marta de Oliveira Bentes



Vila Real, 2016

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE UMA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA
COM RECURSO AO PROGRAMA DE MODELAÇÃO SWMM
CASO DE ESTUDO DE UMA BACIA DE DRENAGEM URBANA DE VILA REAL**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil

Pedro André Sol Vilela

Orientadora: Professora Doutora Ana Cristina Ribeiro Afonso de Matos Coutinho

Coorientadora: Professora Doutora Isabel Maria Assunção Marta de Oliveira Bentes

Composição do Júri:

Professora Doutora Ana Cristina Briga de Sá

Professora Doutora Ana Cristina Ribeiro Afonso de Matos Coutinho

Professor Doutor Carlos Afonso de Moura Teixeira

Vila Real, 2016

RESPONSABILIDADE DAS IDEIAS APRESENTADAS

Eu, Pedro André Sol Vilela, com número de aluno 24246, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, declaro ser responsável pelas ideias apresentadas ao longo do presente trabalho de investigação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este espaço a todos os que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste desafio.

Acima de tudo e todos tenho de agradecer aos meus Pais e à minha família, não só por estes anos, mas por tudo que me proporcionaram na minha vida. Sem eles nada seria possível.

À minha namorada, por todo o apoio, dedicação e paciência.

Gostava de agradecer também as minhas orientadoras da dissertação, Prof. Isabel Bentes e Prof. Cristina Matos, pelo apoio e ajuda prestados.

Aos meus amigos, que apesar de os conhecer há uns anos, são sem dúvida os melhores amigos que se pode desejar ter: Tarcio, Abaças, Tropa, Mário, Ana, Luís Maria, Artur, Filipe, Luís Afonso e Foskitos.

A todos os que não foram mencionados mas sabem que lhes estou profundamente agradecido, a todos o meu Obrigado.

Resumo

Com o enorme crescimento que se tem verificado ao longo dos anos, os grandes centros urbanos estão cada vez mais impermeabilizados. O que outrora era terreno de cultivo ou apenas terreno a monte, hoje em dia é um prédio ou uma estrada. Todas estas modificações levam a que o terreno fique impermeabilizado, fazendo com que se altere o ciclo natural da água. A água pluvial que outrora era infiltrada nos solos tem, hoje em dia, que ser canalizada de modo a que se consiga evitar o aparecimento dos mais diversos tipos de problemas.

Projetar e monitorizar as redes de drenagem pluvial urbana é algo relativamente simples de se fazer, quando se possuem as melhores ferramentas para o trabalho. Como auxiliares de trabalho existem programas de modelação matemática que nos permitem, não só a resolver os problemas, como também a prever o aparecimento destes e sua resolução.

O objetivo da presente dissertação é o estudo de uma sub-bacia de drenagem de águas pluviais da cidade de Vila Real com recurso a um destes programas, sendo neste caso escolhido o SWMM (Storm Water Management Model). Com o recurso a este programa efetuar-se-á a simulação do funcionamento da rede com eventos de precipitação reais de várias intensidades (fraco, médio e forte), identificando os pontos mais vulneráveis da rede em questão. A rede estudada teve um desempenho aceitável em praticamente toda a sua extensão, no que toca a precipitações de baixa intensidade. No entanto, quando as intensidades são excecionais, ou seja, quando nos deparamos com precipitações com um período de retorno maior, a rede mostra-se mais vulnerável, existindo zonas onde podem ocorrer inundações das caixas de visita que, ao extravasar, podem provocar inundações das zonas urbanas e, até, acidentes de trânsito, uma vez que a maioria destas caixas se encontra no eixo das faixas de rodagem.

Palavras-chave: rede de drenagem pluvial, eventos de precipitação, SWMM, modelação matemática.

Abstract

With the tremendous growth that has been evident over the years, the major urban centres are increasingly waterproofed. What was once farm land or just ground the lot, today is a building or a road. All these modifications in soil sealing made the terrain waterproofed, causing the change of the natural water cycle. The rainwater that was once infiltrated into the soil has nowadays to be channelled so that it can avoid the appearance of several types of problems. Design and monitoring of urban stormwater networks, is relatively simple to do when you have the best tools for the job.

To help us, there are mathematical modelling programs that help us not only to solve problems, but also help us to predict the appearance of these.

The purpose of this dissertation is to study of an urban stormwater sub-basin from the city of Vila Real with recourse to these programs, in this case was chosen the SWMM (Storm Water Management Model). With program the simulation of the operation of the network with actual precipitation events of various intensities (weak, medium and strong) is made, identifying the most vulnerable points of the network in question. The studied network, had an acceptable performance in almost its entire length, when it comes to low-intensity rainfall. However, when the intensities are exceptional, or precipitation with a greater return period, the network appears to be quite vulnerable, from areas where there may flood the manholes that the vent may cause flooding of urban areas and until, traffic accidents, since most of these cases is the axis of roads.

Keywords: rainwater drainage network, precipitation events, SWMM, mathematical modelling.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. ALGUNS MODELOS DE SIMULAÇÃO	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DE ALGUNS MODELOS.....	3
2.2.1 System for Urban Storm Water Treatment and Analysis Integration Model (SUSTAIN).....	3
2.2.2 Water Quality Analysis Simulation Program (WASP7).....	4
2.2.3 Hydrological Simulation Program – FORTRAN (HSPF).....	5
2.2.4 Storm Water Management Model (SWMM).....	5
2.2.4.1 Exemplos de Aplicação do modelo SWMM.....	7
3. CRITÉRIOS DE FUNCIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	11
4. CASO DE ESTUDO	15
4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	15
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA.....	16
4.3. METODOLOGIA DE TRABALHO	17
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	47
Bibliografia	49
Anexos.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área da bacia urbana em Vila Real e sua delimitação (Google Earth 2014).....	15
Figura 2. Representação dos usos do solo constituintes da nossa bacia (GETER-UTAD).	16
Figura 3. Mapa topográfico da área de Vila Real.....	17
Figura 4. Características dos coletores no SWMM.....	18
Figura 5. Características das Caixas de visita no SWMM.....	19
Figura 6. Características das sub-bacias no SWMM.....	20
Figura 7. Características do Pluviómetro.....	22
Figura 8. Características do evento fraco.....	23
Figura 9. Características do evento médio.....	24
Figura 10. Características do evento forte.....	25
Figura 11. Dados do evento real ocorrido entre 23/12/2013 e 27/12/2013.....	26
Figura 12. Dados do evento real ocorrido entre 22/01/2014 e 30/01/2014.....	27
Figura 13. Execução da simulação.....	28
Figura 14. Rede de drenagem no SWMM.....	29
Figura 15. Gráfico de velocidades, para o evento teórico fraco.....	30
Figura 16. Troço das piscinas de Codessais em perfil (altura da lâmina líquida).....	31
Figura 17. Gráfico de precipitação e escoamento do evento fraco.....	31
Figura 18. Gráfico de velocidades para o evento teórico médio.....	32
Figura 19. Troço das Piscinas Codessais em perfil, evento médio.....	33
Figura 20. Gráfico de precipitação e escoamento para o evento teórico médio.....	33
Figura 21. Troço das piscinas de Codessais em perfil, Evento teórico forte.....	34
Figura 22. Gráfico de velocidades para o evento teórico forte.....	35
Figura 23. Gráfico de precipitação e escoamento para o evento teórico forte.....	35
Figura 24. Gráfico de escoamento e precipitação do evento real e fraco.....	36
Figura 25. Velocidades de escoamento para o evento real e fraco.....	37
Figura 26. Perfil da tubagem entre o Hospital veterinário e o local de descarga.....	38
Figura 27. Perfil da tubagem proveniente de Nossa Senhora da Conceição.....	40

Figura 28. Velocidades para o evento real forte	41
Figura 29. Perfil entre o Hospital Veterinário e o local de descarga.....	43
Figura 30. Perfil entre a Praça de Nossa Senhora da Conceição e local de descarga	44
Figura 31. Perfil entre o viaduto de Nossa Senhora da Conceição e o local de descarga .	45
Figura 32. Evento de precipitação real forte	46

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SIGLAS

.dwg – Tipo de ficheiro usado em autoCAD

.INP – Tipo de ficheiro usado no SWMM

Ac – Áreas de contribuição

BMP – Best Management Practices

c – Coeficiente de escoamento

COD – Carência química de oxigénio

DL – Decreto de Lei

DR – Decreto Regulamentar

GETER-UTAD – Grupo de estudos territoriais da UTAD

HSPF – Hydrological Simulation Process

i – Inclinação

LID – Low Impact Development

n – Rugosidade das tubagens

NTK – Nitrogénio total

SS – Sólidos em suspensão

SUSTAIN – System for Urban Storm Water Treatment and Analysis IntegratioN Model

SWMM – Storm Water Management Model

T – Tempo de retorno

Tc – Tempo de concentração

TMDL – Cargas totais máximas diárias

US EPA – United States Environmental Protection Agency

WASP – Water quality Analysis Simulation Program

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana, caracterizada por um ritmo rápido de urbanização de áreas inicialmente rurais, tem criado profundas alterações no ciclo da água natural, originando muitas vezes, situações problemáticas no que diz respeito ao desenvolvimento equilibrado dos ecossistemas. Pode referir-se, a título de exemplo, o mau comportamento hidráulico das redes de drenagem pluvial, devido a um deficiente dimensionamento ou a entupimentos e obstruções das secções de escoamento, com conseqüente entrada em carga de coletores e inundação dos pontos baixos das bacias drenadas, ou ao sub-dimensionamento das sarjetas de passeio e dos sumidouros, com conseqüentes inundações. Outra situação problemática frequente é descarga de escorrências pluviais em zonas pavimentadas para meios recetores sensíveis.

A crescente preocupação com os recursos hídricos e o aumento da complexidade dos sistemas de drenagem urbana têm fomentado o uso de modelos matemáticos, o que se revela uma ferramenta útil a nível de operação, planeamento e validação de projeto do sistema. A modelação de redes de drenagem de águas pluviais é muito importante para se conseguir estabelecer critérios de dimensionamento otimizado, testados em várias situações diferentes e, também, para poder gerir mais eficazmente as redes. Os programas de modelação matemática são extremamente úteis na gestão das redes existentes e, conseqüentemente, na simulação do seu funcionamento, uma vez que dessa forma se consegue prever possíveis problemas e estudar formas de os evitar.

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal da presente dissertação corresponde ao estudo hidráulico de sistemas de drenagem de águas pluviais, em meio urbano, através da utilização de instrumentos de modelação, que permitam simular, de forma dinâmica, o comportamento da massa de água nas diversas componentes dos sistemas, designadamente, coletores e caixas de visita. Pretende-se, assim, com este estudo, contribuir para a melhoria do estado do conhecimento nesta área, e, simultaneamente, potenciar o uso de modelos de simulação de drenagem urbana como uma ferramenta de engenharia, nomeadamente, na otimização do desempenho hidráulico das redes de drenagem urbana.

De modo a alcançar o objetivo anteriormente referido, propuseram-se alguns objetivos específicos, nomeadamente:

1. Seleção da área de estudo e do modelo de simulação a utilizar, de acordo com a finalidade pretendida;
2. Recolha de informação cadastral do sistema de drenagem de águas pluviais, com vista à construção do modelo, assim como, ao levantamento de dados necessários para o seu funcionamento;
3. Simulação de múltiplos cenários acompanhados pelo tratamento e análise dos correspondentes resultados.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação divide-se em cinco capítulos:

O primeiro capítulo diz respeito à introdução, objetivos e apresentação da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo refere-se à revisão bibliográfica referente aos modelos de simulação existentes.

No capítulo três faz-se uma descrição dos critérios mais importantes que constam do regulamento português de águas e esgotos, referentes à drenagem de águas pluviais.

No quarto capítulo apresenta-se o caso de estudo, bem como a metodologia adotada na presente dissertação, resultados e discussão.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões e propostas de trabalho futuro.

2. ALGUNS MODELOS DE SIMULAÇÃO

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será feita uma breve revisão bibliográfica sobre alguns modelos utilizados para a previsão qualitativa e quantitativa do escoamento superficial. Todos os programas abaixo apresentados são modelos computacionais que simulam quer a qualidade quer a quantidade de água superficial gerada pela chuva. Por outras palavras, todos eles fazem a modelação hidrológica, processos químicos e biológicos que ocorrem nos escoamentos superficiais.

Existem vantagens no uso de programas de modelação sendo que a principal é, sem dúvida, o tempo necessário para efetuar determinado estudo. Hoje em dia, os programas de modelação oferecem-nos ferramentas muito úteis, desde o dimensionamento de uma nova rede até à deteção e correção de problemas que possam existir em redes mais antigas.

2.2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DE ALGUNS MODELOS

Os programas mais relevantes para a modelação do escoamento superficial que serão descritos neste trabalho são os seguintes:

- a) System for Urban Storm Water Treatment and Analysis Integration Model (SUSTAIN).
- b) Water quality Analysis Simulation Program (WASP).
- c) Hydrological Simulation Process – FORTRAN (HSPF).
- d) Storm Water Management Model (SWMM).

2.2.1 System for Urban Storm Water Treatment and Analysis Integration Model (SUSTAIN)

O System for Urban Storm Water Treatment and Analysis IntegratioN Model (SUSTAIN) foi desenvolvido pela Tetra Tech, empresa que presta serviços de engenharia e consultadoria ambiental, a pedido da United States Environmental Protection Agency (EPA).

SUSTAIN é um valioso auxiliar nos planos de implementação da rede de água pluvial e no controlo do fluxo de poluição da rede de águas, permitindo um controlo muito maior no

que toca à qualidade da água que é recolhida. É, também, extremamente útil na implementação das BMP's¹, relativamente ao custo e eficiência.

O programa é composto por 7 módulos:

- Módulo de inserção de dados em ecrã principal;
- Módulo de implantação e escolha das BMP's;
- Módulo de edição de terreno;
- Módulo de edição de BMP;
- Módulo de transporte (entre programas);
- Módulo de Otimização;
- Processador pós simulação.

Este programa possui a vantagem de converter ficheiros em arcGIS para o formato de trabalho no ambiente SUSTAIN, ficando automaticamente configurado, sem haver necessidade da inserção de dados manualmente. A simulação do escoamento e dos agentes poluentes pode ser feita seguindo os algoritmos do SWMM5 ou seguindo o método de cálculo adaptado do HSPF (Hydrological Simulation Program - FORTRAN). Apresenta como vantagem o facto de fazer uma avaliação de custo das BMP's a utilizar. Com a simulação feita, podem-se, então, exportar os resultados para ficheiro Excel, de modo a facilitar a criação de gráficos e, assim, a análise dos resultados.

2.2.2 Water Quality Analysis Simulation Program (WASP7)

Este programa surge de uma melhoria da versão original WASP (Di Toro et al., 1983; Connolly and Winfield, 1984; Ambrose, R.B. et al., 1988).

O WASP é um dos modelos de simulação da qualidade da água mais utilizados nos Estados Unidos e em todo o mundo. Devido às suas capacidades de modelação para lidar com vários tipos de poluentes, tem sido amplamente utilizado no desenvolvimento de cargas totais máximas diárias (TMDL). O WASP tem capacidades de ligação com modelos

¹ Best Management Practices (BMPs) é um termo usado nos EUA e no Canadá para descrever recentes técnicas de controlo da poluição da água.

hidrodinâmicos e de bacias hidrográficas, permitindo a análise multi-ano, sob diferentes condições meteorológicas e ambientais.

Relativamente ao WASP7, este tem como principal função ajudar a prever e a interpretar respostas no que toca à qualidade da água e estas, por sua vez, a fenómenos poluentes naturais ou causados por fontes externas. Desta forma, controla vários parâmetros numa única simulação.

Estruturalmente, o WASP assenta nos seguintes mecanismos:

- Transporte e dispersão na coluna de água;
- Transporte e dispersão na água dos poros;
- Decantação e sedimentação até três classes de sólidos (Metais, Cerâmicos e Poliméricos);
- Evaporação ou precipitação.

2.2.3 Hydrological Simulation Program – FORTRAN (HSPF)

O HSPF faz a modelação de fenómenos hidrológicos, referente a bacias hidrográficas, simulando também a qualidade da água de escorrência. Este programa faz o tratamento da bacia hidrográfica incluindo também o transporte da água pelos canais até à bacia. Este modelo abrange a bacia hidrográfica e a qualidade da água, permitindo que a simulação integre os processos de infiltração de água no solo, os processos de escoamento de contaminantes, as iterações hidráulicas e a sedimentação química.

2.2.4 Storm Water Management Model (SWMM)

O Modelo de Gestão de Drenagem Urbana (Storm Water Management Model - SWMM), da EPA, é um modelo dinâmico que simula quantitativa e qualitativamente o escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. O SWMM pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso ou para uma simulação contínua a longo prazo. Atua com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluentes. Este programa simula o percurso destas águas através do sistema de drenagem composto por tubagens, canais, dispositivos de armazenamento e

tratamento, bombas e elementos de regulação. Ao simular o processo, fornece também os parâmetros hidráulicos tais como, a altura de escoamento, o caudal, a velocidade, entre outros parâmetros.

O SWMM foi desenvolvido em 1971, tendo sofrido desde então diversas atualizações. É amplamente utilizado em várias partes do mundo para planeamento, análise e projeto de sistemas de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas, sistemas de coletores de águas residuais, com inúmeras aplicações, também em áreas não urbanas.

O programa considera diversos processos hidrológicos que produzem escoamentos provenientes de áreas urbanas. Entre estes, consideram-se os seguintes:

- Precipitações variáveis no tempo;
- Evaporação de águas empoçadas;
- Acumulação e degelo da neve;
- Intercessão de precipitação por armazenamento em depressões;
- Infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas;
- Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos;
- Troca de fluxo entre aquíferos e sistemas de drenagem;
- Modelação do fluxo superficial por meio de reservatórios não lineares;
- Captação e retenção das precipitações segundo técnicas LID².

O SWMM contém um conjunto muito versátil de ferramentas de modelação hidráulica utilizadas para conduzir o caudal decorrente do escoamento superficial. Estas ferramentas proporcionam a capacidade de:

- Manipular redes de tamanho ilimitado;
- Utilizar uma ampla variedade de geometrias para as condutas, tanto abertas como fechadas, assim como para canais naturais;
- Modelar elementos especiais como unidades de armazenamento e tratamento, divisores de caudal, bombas e orifícios;
- Considerar escoamentos externos quanto à qualidade e quantidade, sejam eles superficiais ou provenientes de trocas com aquíferos;
- Utilizar tanto o método da onda cinemática como o método completo da onda dinâmica, para a propagação dos caudais;
- Modelar distintos regimes de escoamento.

² LID – Low Impact Development – São técnicas onde se tentam criar processos de modo a que por meio de infiltração ou evaporação se consiga melhor a qualidade da água.

Desde a sua criação o SWMM foi utilizado para inúmeros estudos de redes de drenagem, tanto de águas residuais como de águas pluviais. É de mencionar as seguintes aplicações:

- Conceção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controlo de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios para o controlo de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- Criação de estratégias de controlo para minimizar o extravasamento de sistemas unitários e mistos;
- Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o extravasamento de sistemas de drenagem de águas residuais.

2.2.4.1 Exemplos de Aplicação do modelo SWMM

Choi e Ball, em 2000, efetuaram um estudo incidindo na estimativa de parâmetros para a modelação de escoamento urbano. Estes autores desenvolveram um sistema hidrodinâmico, que lhes permitia efetuar a aquisição dos parâmetros de controlo dos sistemas de modelação, melhorando o processo de calibração tradicional. Desta forma, as informações foram armazenadas numa base de dados, utilizando esta informação para gerar a informação de entrada necessária para a operação de uma bacia hidrográfica com base no SWMM, podendo simular processos de escoamento superficial. O algoritmo de otimização foi utilizado para fixar valores ótimos de fatores que intervêm na modelação. Comparando entre as novas e as tradicionais abordagens de calibração, verificou-se que os sistemas hidrodinâmicos podem ser utilizados de forma eficaz para avaliar a modelação de escoamento e melhorar a precisão e eficiência da calibração do sistema de modelação no que ao escoamento superficial diz respeito.

Temprano, Arango, Cagiao, Suárez e Tejero, em 2001, aplicaram o modelo de gestão de águas pluviais (SWMM), com o intuito de simular os caudais e as cargas poluentes durante um determinado período de tempo chuvoso no sistema de drenagem de águas residuais à saída da bacia hidrográfica de Santander (Espanha). Sólidos em suspensão (SS), Nitrogénio Total (NTK) e Carência Química de Oxigénio (COD) foram medidos na secção de saída da bacia, sendo esses parâmetros utilizados na calibração e

validação do modelo. Após a calibração do modelo SWMM os resultados obtidos permitiram tirar conclusões acerca da sua relevância na capacidade de previsão, quando calibrado adequadamente, e a partir de dados medidos. No que toca à validação hidráulica, atingiram uma grande precisão em termos de tempo e variação de caudais, e o volume total simulado apresentou apenas uma diferença de 4% em relação ao volume medido. Para a validação da qualidade, a precisão total do ajuste entre as cargas totais de SS, NTK e COD, medido e simulado no final da precipitação, foi de 93%, 95% e 78%, respetivamente. Os fenómenos de *build-up*, *scour*³ e transporte de poluentes em sistemas de drenagem de águas residuais unitários são influenciados por um grande número de variáveis, e a sua dinâmica não é muito bem conhecida. O *First flush* foi observado nos eventos de precipitação analisados, representando 65% da carga de COD e 57% da carga de SS durante os primeiros 30% do volume de caudais. Noutro caso de maior intensidade de precipitação verificou-se que o efeito do primeiro escoamento era menor, devido ao facto de a amostra ser recolhida em períodos de uma hora. Desta forma, concluíram haver necessidade de colher amostras frequentes no início do evento de chuva para o fenómeno ser avaliado com maior rigor.

Reis e Ilha, em 2008, verificaram que a população, a construção de infraestruturas, a vegetação e a posição de resíduos de forma inadequada leva a problemas de infiltração, potenciando desequilíbrios nos sistemas de drenagem urbanos. Realizaram, assim, um estudo com base no SWMM, com o intuito de verificar até que ponto o impacto da construção de infraestruturas e a impermeabilização do solo afetam o sistema de recolha de águas pluviais. Assim, foram simuladas três situações distintas: o solo em condições normais (antes de serem construídas quaisquer infraestruturas), o solo na situação real (com as infraestruturas já construídas) e o solo na situação real, porém com a implementação de um procedimento LID. Como valores de entrada no programa foram considerados: Período de retorno (T), tempo de concentração (tc), Dados pluviométricos, Áreas de contribuição (Ac), coeficiente de escoamento (c), Inclinação (i), rugosidade das tubagens (n) e Volume de retenção. Dos resultados obtidos, salientou-se o aumento em 328.9% do escoamento pluvial da situação onde o solo não possuía nenhuma infraestrutura para a situação real. Quanto à aplicação das técnicas LID, verificaram o seu bom funcionamento, não sendo entretanto suficiente para evitar a entrada em carga do sistema de recolha.

Investigadores da Universidade da Coreia, em 2008, efetuaram um estudo com base na bacia hidrográfica do rio Ham. Inicialmente foi utilizado o SWMM para obter valores da

³ *Hydrodynamic scour*, é o desaparecimento de solo, devido à sua remoção por agentes externos. Isto pode causar o aumento de velocidades de escoamento e depressões nos sistemas de drenagem.

quantidade e qualidade de água de escorrência, para *A posteriori* comparar os valores relativos à qualidade da água com os valores obtidos com o programa HSPF. Foram introduzidas quatro estações para recolha de dados, quer de quantidade quer de qualidade de água. Foram considerados sete eventos de precipitação. No entanto, os dados de precipitação foram recolhidos de hora em hora, o que não permitiu validação dos mesmos, dada a necessidade de serem recolhidos em intervalos curtos de tempo, (5 em 5 minutos ou 10 em 10 minutos). Há a salientar que o HSPF é um programa de modelação mais adequado para a avaliação e previsão de fatores poluentes. Já o SWMM é mais adequado na avaliação do escoamento dinâmico, uma vez que permite uma avaliação contínua da quantidade de água num evento de precipitação. Uma vez que não foi possível validar os resultados, os elementos do grupo de estudo, referiram que este se resumiu à simulação do escoamento e da quantidade de água. Referem, porém, a importância do cuidado a ter na inserção dos dados de entrada do modelo, dos valores dos parâmetros e do algoritmo de cálculo do modelo, uma vez que à mínima variação dos parâmetros, os resultados poderão ser díspares.

3. CRITÉRIOS DE FUNCIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

O Decreto-Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto aprova o regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais. Dispõe sobre conceção dos sistemas, dimensionamento, rede de distribuição e seus elementos acessórios, instalações complementares, verificação, ensaios e desinfeção, relativamente aos sistemas públicos e de distribuição predial de água, bem como aos sistemas de drenagem pública e predial de águas residuais (domésticas, fluviais e industriais).

O seguinte quadro-tabela resume, no que a esta dissertação concerne, todos os parâmetros de relevo, em termos da legislação em vigor, para o estudo de caso.

TITULO I CAPITULO 1	<u>Artigo 1º</u>	O presente Regulamento tem por objeto os sistemas de distribuição pública e predial de água e de drenagem pública e predial de águas residuais, de forma que seja assegurado o seu bom funcionamento global, preservando-se a segurança, a saúde pública e o conforto dos utentes.
	<u>Artigo 3º</u>	1 – A gestão dos sistemas de distribuição de água e de drenagem de águas residuais deve ser preferencialmente conjunta. 2 – A entidade gestora deve assegurar o equilíbrio económico e financeiro do serviço, com um nível de atendimento adequado.
TITULO II CAPITULO 1	<u>Artigo 5º</u>	1 – A conceção dos sistemas de distribuição pública de água deve passar pela análise prévia das previsões do planeamento urbanístico e das características específicas dos aglomerados populacionais. (...).
TITULO II CAPITULO 2	<u>Artigo 9º</u>	2 – Os cadastros devem estar permanentemente atualizados e conter, no mínimo: a) A localização em planta das condutas, acessórios e instalações complementares, sobre carta topográfica a escala compreendida entre 1:500 e 1:2000, com implantação de todas as edificações e pontos importantes; b) As secções, profundidades, materiais e tipos de junta das condutas; c) A natureza do terreno e condições de assentamento; d) O estado de conservação das condutas e acessórios; e) A ficha individual para os ramais de ligação e outras instalações do sistema. 3 – Os cadastros podem existir sob a forma gráfica ou informatizados.
	<u>Artigo 11º</u>	1- Na elaboração de estudos de sistemas de distribuição de água é indispensável conhecer a situação demográfica atualizada da zona a

		<p>servir, em termos de população residente e flutuante, e avaliar a sua evolução previsível.</p> <p>2 – Devem ser consultados os dados de estudos existentes e os registos disponíveis, nomeadamente os recenseamentos populacionais (...).</p>
	<u>Artigo 17º</u>	<p>As fugas de água nos sistemas devem ser avaliadas, não podendo, em caso algum, admitir-se um valor inferior a 10% do volume de água entrado no sistema.</p>
TITULO IV CAPITULO 1	<u>Artigo 115º</u>	<p>1 – Os sistemas de drenagem pública de águas residuais são essencialmente constituídos por redes de coletores, instalações de tratamento e dispositivos de descarga final. (...)</p> <p>4 – As águas residuais pluviais, ou simplesmente águas pluviais, resultam da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes e apresentam geralmente menores quantidades de matéria poluente, particularmente de origem orgânica.</p> <p>5 – Consideram-se equiparadas a águas pluviais as provenientes de regas de jardins e espaços verdes, de lavagem de arruamentos, passeios, pátios e parques de estacionamento, normalmente recolhidas por sarjetas, sumidouros e ralos.</p>
	<u>Artigo 116º</u>	<p>1- Os sistemas de drenagem pública de águas residuais podem ser:</p> <p>a) Separativos, constituídos por duas redes de coletores distintas, destinadas às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem de águas pluviais ou similares;</p> <p>b) Unitários, constituídos por uma única rede de coletores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais;</p> <p>c) Mistos, constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo;</p> <p>d) Separativos parciais ou pseudo-separativos, em que se admite, em condições excecionais, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas.</p>
TITULO IV CAPITULO II	<u>Artigo 118º</u>	<p>3 - Na conceção de sistemas de drenagem de águas pluviais devem ser cuidadosamente analisadas as áreas em que o escoamento se pode fazer superficialmente, com o objetivo de reduzir, por razões económicas, a extensão da rede.</p>
	<u>Artigo 119º</u>	<p>1 - Na conceção de sistemas de drenagem pública de águas residuais em novas áreas de urbanização deve, em princípio, ser adotado o sistema separativo.</p> <p>2 - Em sistemas novos, é obrigatória a conceção conjunta do sistema de drenagem de águas residuais domésticas e industriais e do sistema de drenagem de águas pluviais, independentemente de eventuais faseamentos diferidos de execução das obras.</p>

	<u>Artigo 120º</u>	<p>1 - Na remodelação de sistemas unitários ou mistos existentes deve ser considerada a transição para o sistema separativo.</p> <p>2 - Se, devido a condicionamentos locais, a aplicação da disposição referida no número anterior for praticamente inviável, nomeadamente pela dificuldade de estabelecimento de ramais de ligação, podem manter-se os sistemas unitários.</p>
TITULO IV CAPITULO III	<u>Artigo 128º</u>	<p>1 - Na elaboração de estudos relativos à drenagem de águas pluviais deve recorrer-se às curvas intensidade/duração/frequência, que fornecem os valores das intensidades médias máximas da precipitação para várias durações e diferentes períodos de retorno.</p> <p>2 - As durações a considerar são as equivalentes ao tempo de concentração, que é a soma do tempo de percurso com o tempo inicial, podendo este variar entre cinco minutos, em zonas inclinadas e de grande densidade de sarjetas, e quinze minutos, em zonas planas com pequena densidade destes elementos acessórios. (...)</p>
CAPITULO IV SECÇÃO I	<u>Artigo 132º</u>	(...) 2 - Nos sistemas de drenagem de águas pluviais, os caudais de cálculo obtêm-se a partir das precipitações médias máximas com uma duração igual ao tempo de concentração da bacia e com determinado período de retorno, afetadas de fatores de redução em conformidade com o método de cálculo utilizado.
	<u>Artigo 133º</u>	<p>1 - No dimensionamento hidráulico-sanitário devem ser adotadas as seguintes regras:</p> <p>a) A velocidade máxima de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder 3 m/s nos coletores domésticos e 5 m/s nos coletores unitários e separativos pluviais;</p> <p>b) A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no início de exploração não deve ser inferior a 0,6 m/s para coletores domésticos e a 0,9 m/s para coletores unitários e separativos pluviais; (...)</p> <p>d) Nos coletores unitários e separativos pluviais, a altura da lâmina líquida para a velocidade máxima referida na alínea a) deve ser igual à altura total; (...)</p> <p>f) A inclinação dos coletores não deve ser, em geral, inferior a 0,3% nem superior a 15%;</p> <p>g) Admitem-se inclinações inferiores a 0,3% desde que seja garantido o rigor do nivelamento, a estabilidade do assentamento e o poder de transporte; (...)</p>
CAPITULO V SECÇÃO I	<u>Artigo 155º</u>	<p>1 - É obrigatória a implantação de câmaras de visita:</p> <p>a) Na confluência dos colectores;</p> <p>b) Nos pontos de mudança de direcção, de inclinação e de diâmetro dos colectores;</p> <p>c) Nos alinhamentos rectos, com afastamento máximo de 60 m e 100 m, conforme se trate, respectivamente, de colectores não visitáveis ou visitáveis;</p>

	<u>Artigo 156º</u>	<p>1 - As câmaras de visita podem ser de planta rectangular ou circular, com cobertura plana ou tronco-cónica assimétrica, com geratriz vertical.</p> <p>2 - As câmaras de visita podem ainda ser centradas ou descentradas em relação ao alinhamento do colector, sendo este último tipo o que permite o melhor acesso pelo pessoal de exploração.</p>
CAPITULO V SECÇÃO III	<u>Artigo 162º</u>	<p>Deve ser prevista a implantação de sarjetas ou sumidouros:</p> <p>a) Nos pontos baixos da via pública;</p> <p>b) Nos cruzamentos, de modo a evitar a travessia da faixa de rodagem pelo escoamento superficial;</p> <p>c) Ao longo dos percursos das valetas, de modo que a largura da lâmina de água não ultrapasse o valor considerado nos critérios de dimensionamento hidráulico.</p>
	<u>Artigo 164º</u>	<p>1 - As dimensões mínimas a que devem obedecer as sarjetas e os sumidouros são as seguintes:</p> <p>a) Sarjetas: Largura da abertura lateral - 45 cm; Altura da abertura lateral - 10 cm;</p> <p>b) Sumidouros: Largura da grade - 35 cm; Comprimento da grade - 60 cm;</p> <p>2 - As grades dos sumidouros devem ter as barras na direcção do escoamento, reduzindo-se ao mínimo o número de barras transversais.</p> <p>3 - A área útil de escoamento dos sumidouros deve ter um valor mínimo de um terço da área total da grade.</p>
	<u>Artigo 166º</u>	<p>O diâmetro nominal mínimo admitido para o coletor de ligação das sarjetas e sumidouros à rede de drenagem pública é de 200 mm.</p>
CAPITULO VII SECÇÃO II	<u>Artigo 194º</u>	<p>1 - A descarga final dos sistemas urbanos de águas pluviais deve, por razões de economia, ser feita nas linhas de água mais próximas, tornando-se necessário assegurar que essas descargas sejam compatíveis com as características das linhas de água receptoras.</p> <p>2 - As descargas nas linhas de água receptoras ou nos terrenos atravessados podem causar os seguintes efeitos:</p> <p>a) Transbordamentos ou cheias causando inundações de maior frequência;</p> <p>b) Maior erosão das margens e leitos das linhas de água;</p> <p>c) Maior deposição de materiais sólidos;</p> <p>d) Redução de áreas cultiváveis; (...)</p> <p>4 - Quando a descarga final ocorrer na linha de água pública, deve a entidade gestora determinar quais são os caudais de ponta da água a descarregar e as respetivas características qualitativas; (...)</p>

4. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo desta dissertação consiste em aplicar o modelo SWMM a uma bacia hidrográfica urbana para avaliar a sua capacidade de reposta a diferentes níveis de precipitação. Assim, é dada ênfase a uma parte do sistema de drenagem pluvial urbana da cidade de Vila Real.

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Como referido, o caso de estudo recai sobre uma bacia de drenagem urbana que está inserida no sistema de drenagem de águas pluviais da cidade de Vila Real, que se localiza na região de Trás-os-Montes no Norte de Portugal.

A bacia (Figura 1) está delimitada a norte pelo Regimento de Infantaria nº13, a sul pelo complexo das piscinas e pavilhão municipal, a oeste pelo jardim da Nossa Senhora da Conceição e a este pelo complexo de piscinas e parque de lazer de Codessais.



Figura 1. Área da bacia urbana em Vila Real e sua delimitação (Google Earth 2014)

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

A cidade de Vila Real possui um sistema de drenagem de águas pluviais separativo, ou seja, existe uma rede para recolha de águas pluviais e outra rede para recolha de águas residuais domésticas.

Depois de analisadas várias bacias hidrográficas selecionou-se uma bacia que engloba vários tipos de uso de solo, que vão desde solo não urbanizado, florestal e agrícola, jardins e edifícios, possuindo ainda vários tipos diferentes de pavimentação das estradas.

A bacia (Figura 2) estende-se por 374304,5 m², destes 186512,38 m² são zonas de habitação, 102463,58 m² são estradas com pavimento betuminoso, 63957,94 m² é terreno que não está nem habitado nem cultivado, 14154,86 m² é terreno pavimentado a cubo e 7215,73 m² são jardins.

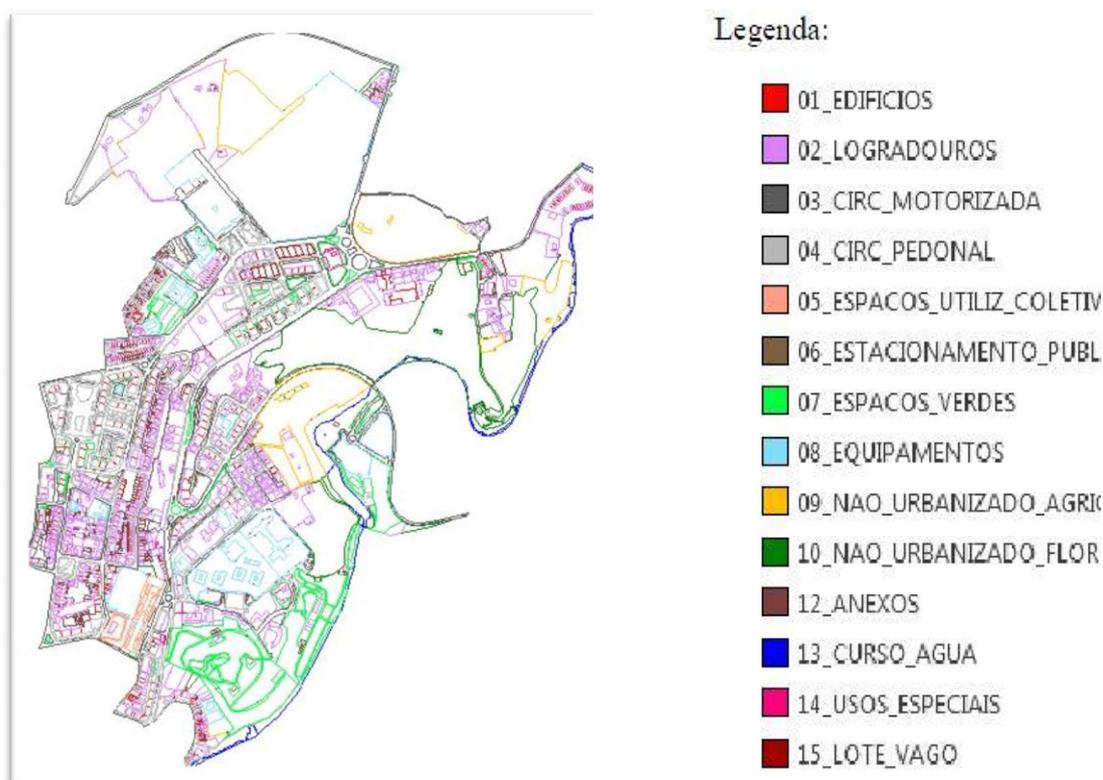


Figura 2. Representação dos usos do solo constituintes da nossa bacia (GETER-UTAD)

4.3. METODOLOGIA DE TRABALHO

Inicialmente houve necessidade de efetuar o levantamento da rede de drenagem urbana da bacia escolhida para obter os dados necessários para a modelação.

Neste levantamento a informação recolhida incide sobre o diâmetro dos coletores e a sua profundidade, cota de soleira das caixas de visita e o desnível entre os coletores dentro das caixas. A recolha desta informação foi necessária uma vez que a rede de drenagem que nos foi fornecida em formato .Dwg apenas continha a localização das caixas de visita devidamente georreferenciadas.

Assim, foi necessário fazer um cruzamento de dados com o mapa topográfico da bacia, que foi fornecido pelo GETER-UTAD e que se apresenta na figura seguinte.

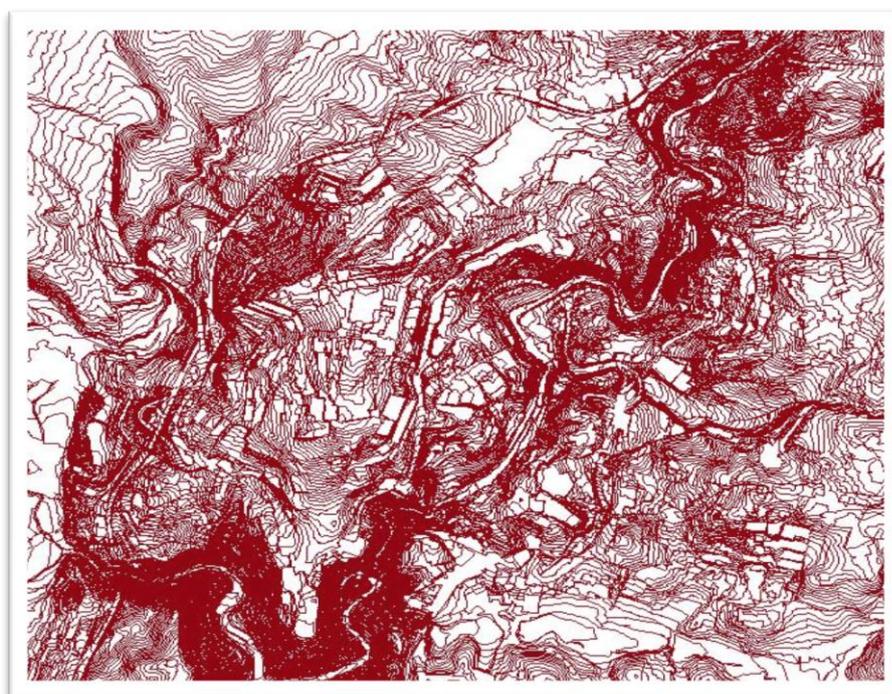


Figura 3. Mapa topográfico da área de Vila Real

Cruzando o mapa topográfico com a rede georreferenciada facilmente se obtiveram as cotas de implantação, quer das caixas de visita quer dos coletores em questão.

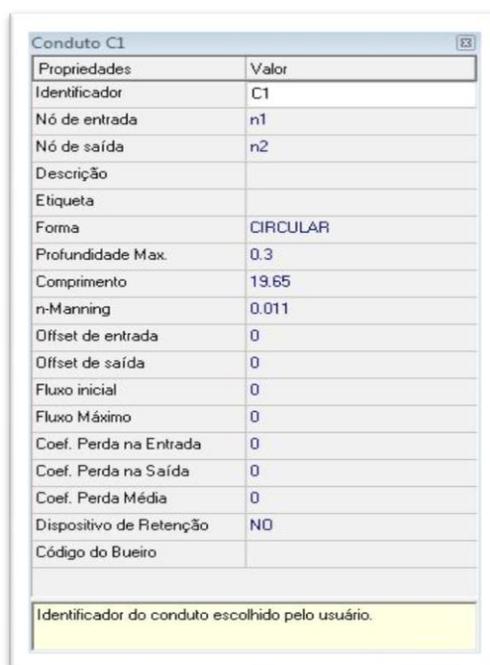
Com os dados atrás referidos, deu-se início à sua migração para o Storm Water Management Model (SWMM), migração essa que apenas converteu a rede do formato .Dwg

para o formato .INP⁴, sendo que todas as características das caixas de visita e coletores tiveram que ser inseridas manualmente no SWMM (Figura 4), e que são:

Características dos coletores:

- i. Nó de entrada do troço
- ii. Nó de saída do troço
- iii. Forma da secção transversal do coletor
- iv. Profundidade máxima (Diâmetro dos coletores)⁵
- v. Comprimento
- vi. Coeficiente de rugosidade segundo Manning (n-Manning)

O coeficiente de rugosidade segundo Manning-Strickler, na maioria das vezes conhecido como n-Manning, é um coeficiente empírico que nos indica os valores para a rugosidade em função do tipo de material da conduta.



Propriedades	Valor
Identificador	C1
Nó de entrada	n1
Nó de saída	n2
Descrição	
Etiqueta	
Forma	CIRCULAR
Profundidade Max.	0.3
Comprimento	19.65
n-Manning	0.011
Offset de entrada	0
Offset de saída	0
Fluxo inicial	0
Fluxo Máximo	0
Coef. Perda na Entrada	0
Coef. Perda na Saída	0
Coef. Perda Média	0
Dispositivo de Retenção	NO
Código do Bueiro	

Identificador do conduto escolhido pelo usuário.

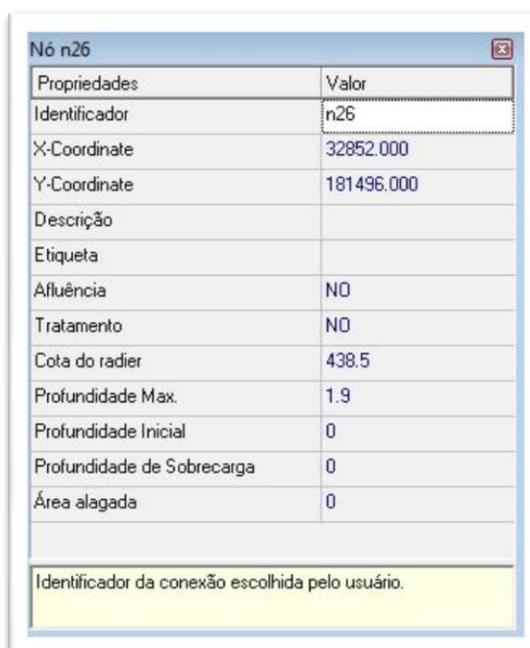
Figura 4. Características dos coletores no SWMM

⁴ .INP é o formato de ficheiro utilizado pelo Storm Water Management Model

⁵ O SWMM assume a profundidade máxima como o diâmetro dos coletores.

As características das caixas de visita (Figura 5) que foram introduzidas manualmente foram:

- i. Cota do terreno
- ii. Profundidade da caixa de visita



Propriedades	Valor
Identificador	n26
X-Coordinate	32852.000
Y-Coordinate	181496.000
Descrição	
Etiqueta	
Afluência	NO
Tratamento	NO
Cota do radier	438.5
Profundidade Max.	1.9
Profundidade Inicial	0
Profundidade de Sobrecarga	0
Área alagada	0

Identificador da conexão escolhida pelo usuário.

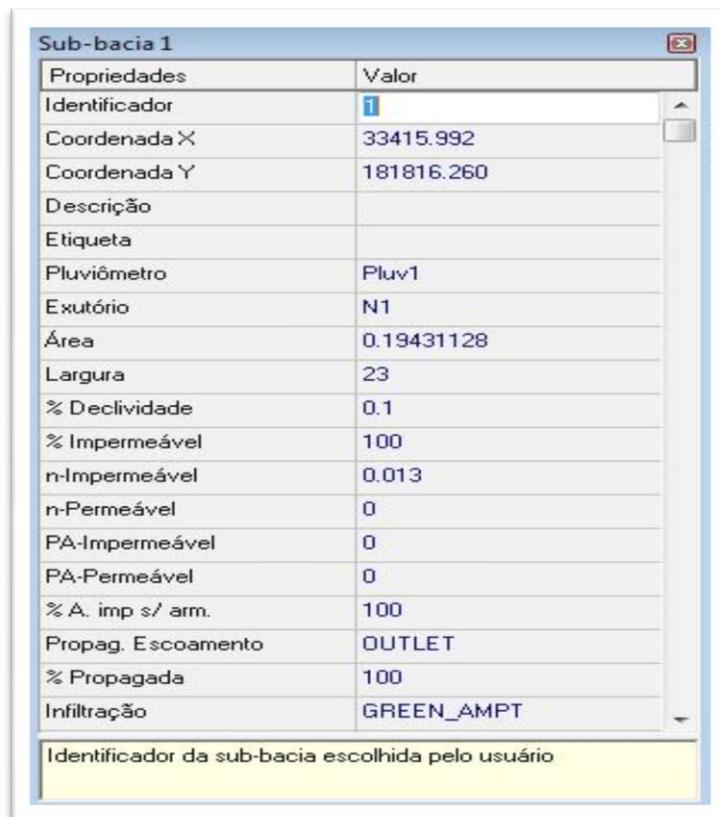
Figura 5. Características das Caixas de visita no SWMM

Com as características dos coletores e das caixas de visita inseridas, a rede de drenagem fica perfeitamente inserida e configurada no SWMM. É necessário, apenas, dividir a bacia em sub-bacias, correspondendo cada sub-bacia à área de influência de cada trecho da rede.

Para a delimitação das sub-bacias de drenagem foi utilizado o autoCAD com recurso à topografia da cidade. Nos locais onde o mapa topográfico não permitia delimitar a sub-bacia esta foi delimitada no local, passando depois os dados para o autoCAD.

Dentro das sub-bacias delimitadas teve-se ainda em conta os diferentes tipos de ocupação do solo que contribuem para o escoamento, uma vez que diferentes tipos de ocupação do solo possuem diferentes coeficientes de Manning. Nas sub-bacias onde se verificou a existência de diferentes tipos de ocupação do solo, procedeu-se à medição de cada área correspondente, calculando posteriormente o coeficiente ponderado em Excel, de acordo com as percentagens de contribuição de cada área.

Depois de obtidos estes dois parâmetros (n-Manning e áreas), estes foram inseridos no SWMM, no seguinte menu (Figura 6).



Propriedades	Valor
Identificador	1
Coordenada X	33415.992
Coordenada Y	181816.260
Descrição	
Etiqueta	
Pluviômetro	Pluv1
Exutório	N1
Área	0.19431128
Largura	23
% Declividade	0.1
% Impermeável	100
n-Impermeável	0.013
n-Permeável	0
PA-Impermeável	0
PA-Permeável	0
% A. imp s/ arm.	100
Propag. Escoamento	OUTLET
% Propagada	100
Infiltração	GREEN_AMPT

Identificador da sub-bacia escolhida pelo usuário

Figura 6. Características das sub-bacias no SWMM

Verifica-se que no menu das propriedades da bacia existem diversos parâmetros para inserção de dados.

A "largura" é definida pelos autores do programa como sendo a "Largura característica do escoamento superficial (pés ou metros). Um valor inicial dessa largura é estimado dividindo a área da sub-bacia pelo valor médio do comprimento máximo do escoamento superficial. O comprimento máximo de escoamento superficial é o comprimento do caminho percorrido pela água superficial do ponto mais longe da sub-bacia até ao ponto onde o escoamento é canalizado. Comprimentos máximos correspondentes a vários caminhos de escoamento superficial devem ser calculados, assim como a média correspondente. Estes caminhos devem refletir escoamentos lentos, tal como sobre superfícies permeáveis, mais do que escoamentos rápidos sobre terreno pavimentado. Ajustes deverão ser feitos para o parâmetro largura, de forma a representar bem os

hidrogramas de escoamento medidos.” (EPA SWMM 5.0 – Modelo de gestão de drenagem urbana manual do usuário.)”

A % Declividade é o valor de inclinação média da sub-bacia, sendo este descrito em percentagem.

A % Impermeável é, como o nome indica, a percentagem da área da bacia ocupada por materiais mais ou menos impermeáveis, e neste caso foi considerada 100%, uma vez que é a situação mais desfavorável para o estudo em questão, sendo que o n-Impermeável é o coeficiente de Manning-Strickler ponderado para a bacia em estudo.

Tanto o “n-Permeável”, o “PA-Permeável” como o “PA-impermeável” foram considerados 0, uma vez que a bacia foi considerada impermeável (revestida por materiais mais ou menos impermeáveis) e sem zonas onde a água se possa acumular. Daí a percentagem de área impermeável sem armazenamento ser também considerada 100% (%A. Imp s/arm).

Considerou-se por último que todo o escoamento superficial gerado na bacia entra diretamente nas caixas de visita e daí ser considerada 100% a % Propagada.

Inseridos estes dados no SWMM é ainda necessário introduzir os elementos relativos dos pluviómetros, para que se possam inserir as séries de precipitação sem as quais não é possível efetuar as simulações.

Um pluviómetro é um aparelho usado em praticamente todas as estações meteorológicas e que serve para medir a intensidade de precipitação num determinado período de tempo e local.

Introduziram-se então os elementos relativos a um pluviómetro (Figura 7) com as características do pluviómetro considerado.

Pluviômetro Pluv1	
Propriedades	Valor
Identificador	Pluv1
Coordenada X	33383.002
Coordenada Y	181717.819
Descrição	
Etiqueta	
Formato de Precipitação	INTENSITY
Intervalo de Precipitação	0:05
Fator Neve	1.0
Origem de Dados	TIMESERIES
SÉRIE TEMPORAL:	
- Nome	Evento_forte
ARQUIVO:	
- Nome	*
- Nº Estação	*
- Unidade de Precipitação	IN
Formatação em que os dados de precipitação são fornecidos	

Figura 7. Características do Pluviômetro

Os registos de precipitação usados nas simulações têm um intervalo temporal de 5 minutos, uma vez que os dados foram recolhidos pelo pluviômetro com esse intervalo de tempo. Os valores de precipitação são inseridos nas Séries Temporais.

Neste caso, foram testados 5 tipos de eventos, sendo que 3 destes tipos são eventos teóricos, caracterizados como eventos fraco, médio e forte. Os outros dois tipos de precipitação foram chuvadas reais, fazendo-se uma simulação do funcionamento real da rede para estas situações.

De forma a haver maior clareza na análise dos dados, opta-se por criar uma classificação relativa à intensidade de precipitação, seguindo os seguintes parâmetros:

- Até 10mm/h – baixo;
- Entre 10mm/h e 35 mm/h – moderado;
- Entre 35mm/h e 60mm/h – alto;
- Superior a 60mm/h – violento.

Na Figura 8 apresenta-se um exemplo de um evento fraco teórico.

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal
Evento_fraco

Descrição

Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo
Dados sem data se referem ao início da simulação

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
03/27/2004	12:15	1.2
03/27/2004	12:20	0
03/27/2004	12:25	1.2
03/27/2004	12:30	1.2
03/27/2004	12:35	0
03/27/2004	12:40	1.2
03/27/2004	12:45	1.2
03/27/2004	12:50	0
03/27/2004	12:55	1.2

Visualizar...
OK
Cancelar
Ajuda



Figura 8. Características do evento fraco

Relativamente ao evento fraco teórico, como se vê na Figura 8, a intensidade máxima de precipitação é de 8,5 mm/h, sendo um valor baixo comparativamente a situações reais de precipitação.

Na Figura 9 apresenta-se um exemplo de um evento médio teórico.

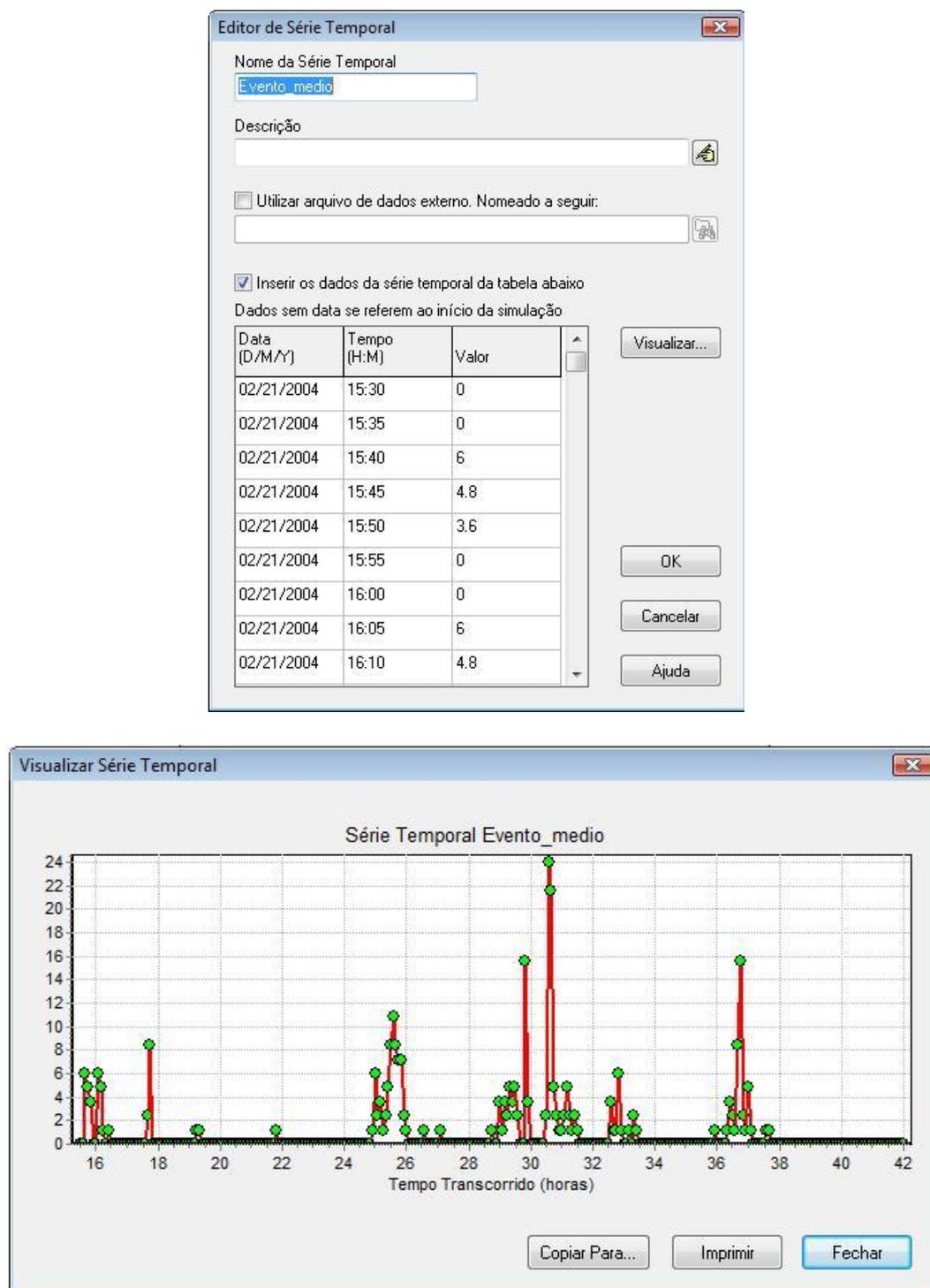


Figura 9. Características do evento médio

Relativamente ao evento médio teórico, como se vê na Figura 9, a intensidade máxima de precipitação é de 24 mm/h, sendo um valor moderado comparativamente a situações reais de precipitação.

Na Figura 10 apresenta-se um exemplo de um evento forte teórico.

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
03/31/2004	20:45	2.4
03/31/2004	20:50	1.2
03/31/2004	20:55	3.6
03/31/2004	21:00	2.4
03/31/2004	21:05	2.4
03/31/2004	21:10	3.6
03/31/2004	21:15	4.8
03/31/2004	21:20	2.4
03/31/2004	21:25	3.6

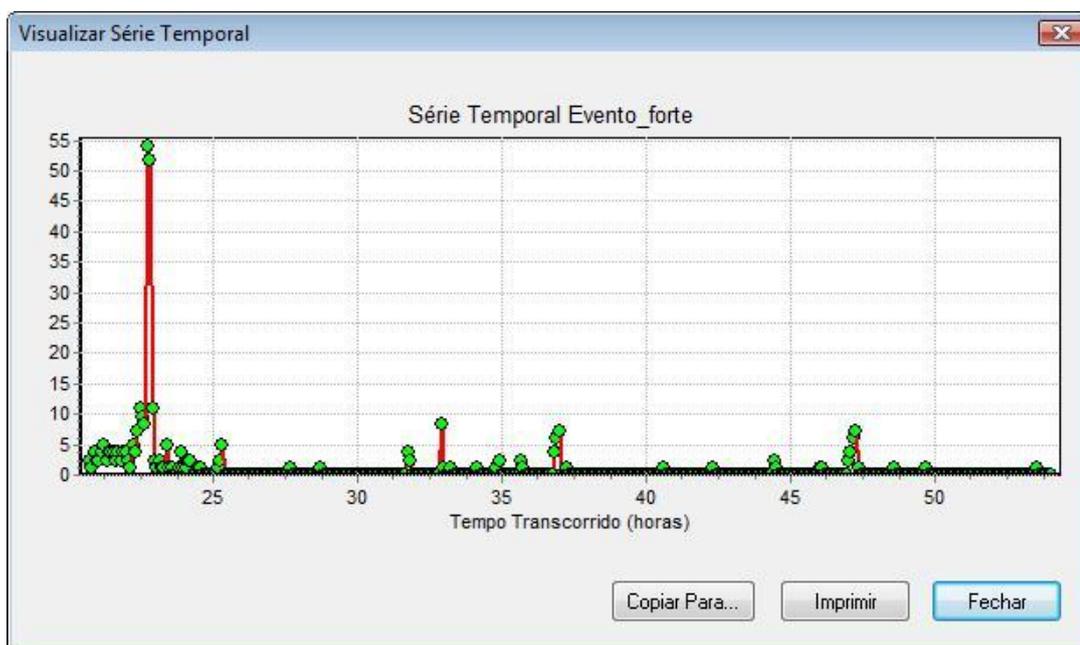


Figura 10. Características do evento forte

Relativamente ao evento forte teórico, como se vê na Figura 10, a intensidade máxima de precipitação é de 55 mm/h, sendo um valor alto, com alguma relevância comparativamente a situações reais de precipitação.

Inseriram-se depois os eventos reais. O evento forte teve início às 00:00h de dia 24 de Dezembro de 2013 e terminou no dia 27 de Dezembro as 00:00h. O valor máximo que esta precipitação atingiu foi de 122 mm/h (Figura 11), sendo um valor violento que apenas se atinge com períodos de retorno muito grandes.

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal
real_violento

Descrição

Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo
Dados sem data se referem ao início da simulação

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
12/24/2013	00:10	0.0
12/24/2013	00:20	2.0
12/24/2013	00:30	9.0
12/24/2013	00:40	7.1
12/24/2013	00:50	10.6
12/24/2013	01:00	2.7
12/24/2013	01:10	0.0
12/24/2013	01:20	27.7
12/24/2013	01:30	15.0

Visualizar... OK Cancelar Ajuda

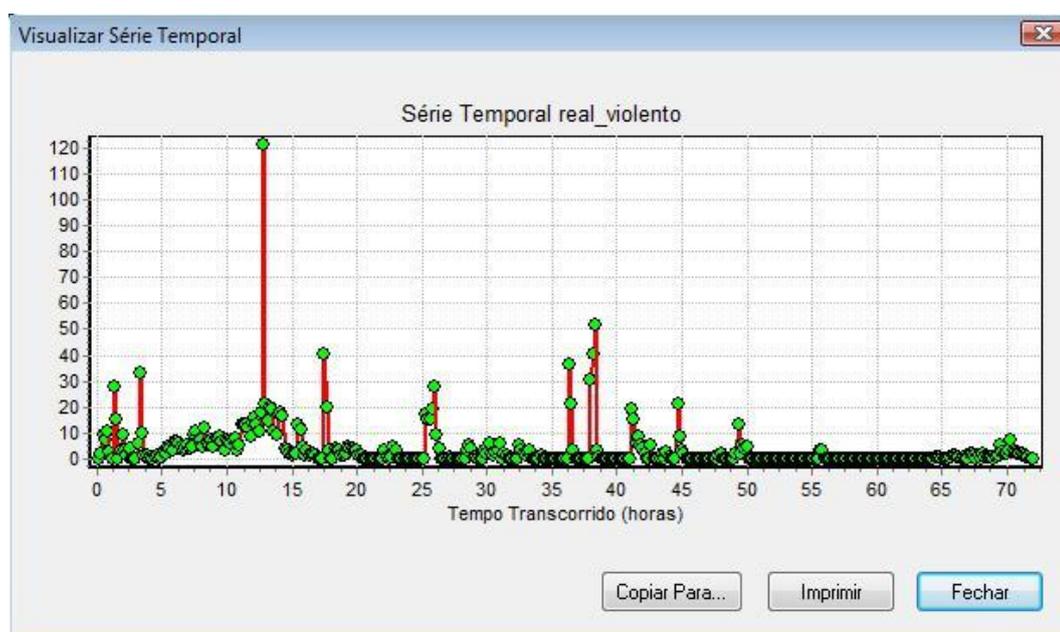


Figura 11. Dados do evento real ocorrido entre 23/12/2013 e 27/12/2013

Inseriu-se também o evento real médio. Este evento conta com as precipitações de 9 dias consecutivos, a começar em 22 de Janeiro de 2014, onde o valor máximo atingido foi de 30,2 mm/h (Figura 12).

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal
REAL_medio

Descrição

Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo
Dados sem data se referem ao início da simulação

Data [D/M/Y]	Tempo [H:M]	Valor
01/22/2014	00:00	0.4
01/22/2014	00:10	3.2
01/22/2014	00:20	2.7
01/22/2014	00:30	2.8
01/22/2014	00:40	3.2
01/22/2014	00:50	2.0
01/22/2014	01:00	2.5
01/22/2014	01:10	1.9
01/22/2014	01:20	1.5

Visualizar...

OK

Cancelar

Ajuda

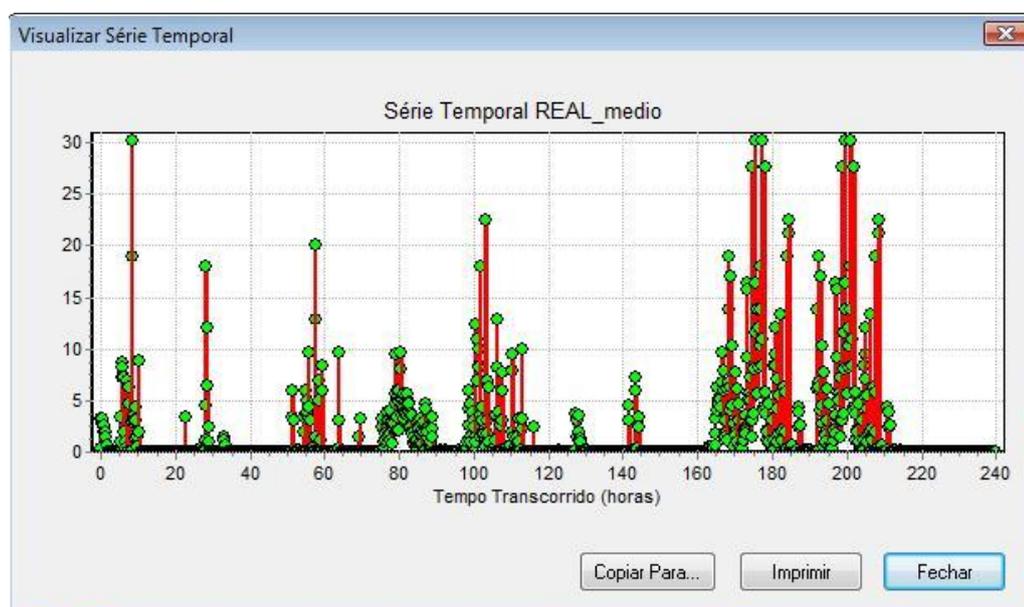


Figura 12. Dados do evento real ocorrido entre 22/01/2014 e 30/01/2014

Inseridos no SWMM todos os parâmetros necessários para a execução das simulações, deu-se início ao seu processamento (Figura 13).



Figura 13. Execução da simulação

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de inseridos os dados no programa de modelação SWMM a rede ficou completamente desenhada (Figura 14) e pronta a fazer-se a simulação do seu funcionamento.

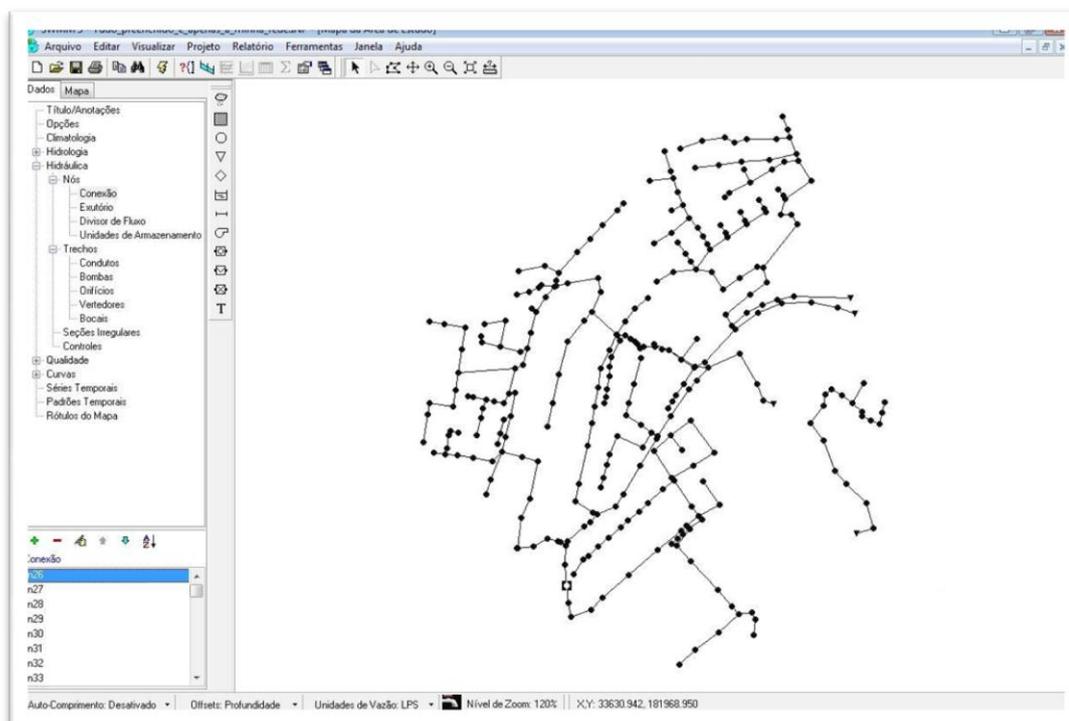


Figura 14. Rede de drenagem no SWMM

A rede de drenagem em causa é composta por:

- 296 Caixas de visita;
- 294 Coletores;
- 184 Sub-bacias;
- 5 Ramais de descarga

Foram então testados 5 eventos pluviométricos, 3 dos quais teóricos e 2 reais.

Quanto à simulação dos eventos teóricos verificou-se, como era de prever, que a rede está sobredimensionada para este pequeno volume de precipitação.

Como se pode ver pela análise do evento teórico de precipitação fraco, as velocidades foram muito pequenas variando entre 0,1 m/s e 1 m/s, apresentando a grande parte dos troços velocidade abaixo do valor mínimo admitido pelo DR nº 23/95 de 23 de Agosto.

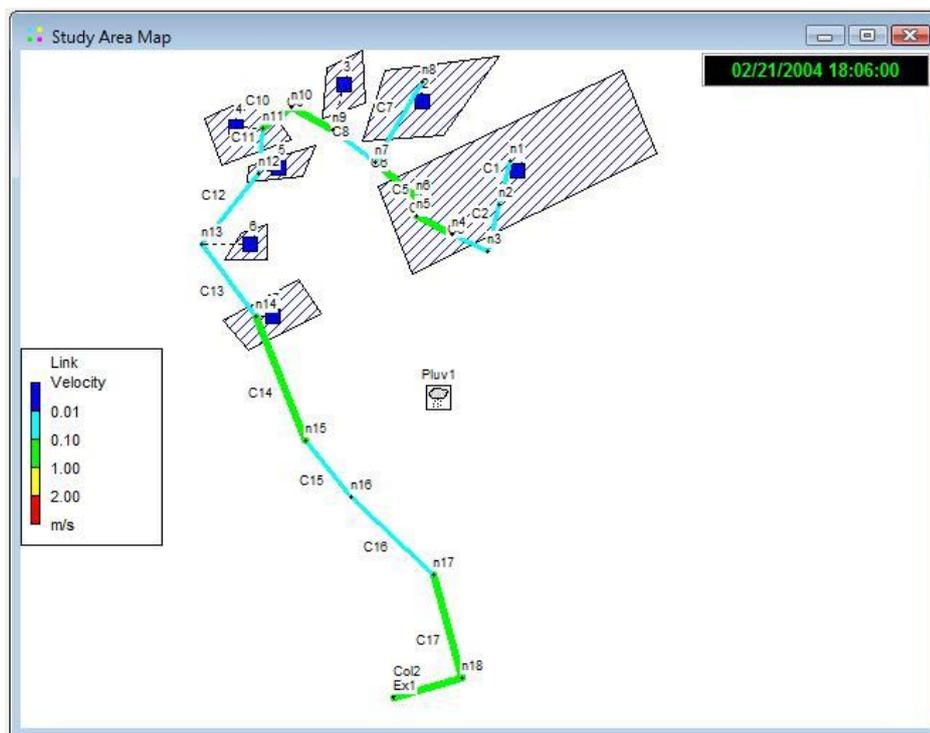


Figura 15. Gráfico de velocidades, para o evento teórico fraco

A Figura 15 retrata a consequência na rede do “pico” do evento pluviométrico teórico de precipitação fraco, sendo que no decorrer da simulação os valores foram sempre consideravelmente mais baixos, como seria expectável.

No que toca às velocidades, pode verifica-se que não existem problemas para o pico do evento, assim como a inexistência de problemas de sobrecarga nas caixas de visita e nos coletores. A Figura 16 mostra o troço da imagem anterior representada em perfil.

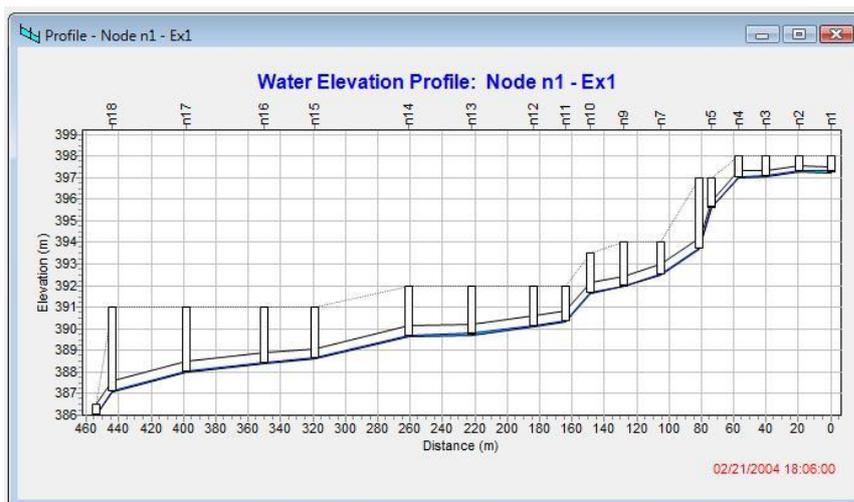


Figura 16. Troço das piscinas de Codessais em perfil (altura da lâmina líquida)

Verifica-se que a altura da água⁶ de escoamento para este evento é muito baixa, uma vez que a altura da lâmina líquida não atinge a meia secção, atendendo à fraca pluviosidade considerada.

Ainda quanto ao evento teórico fraco, a Figura 17 apresenta o gráfico das precipitações ocorridas e o consequente escoamento sobrepostos.

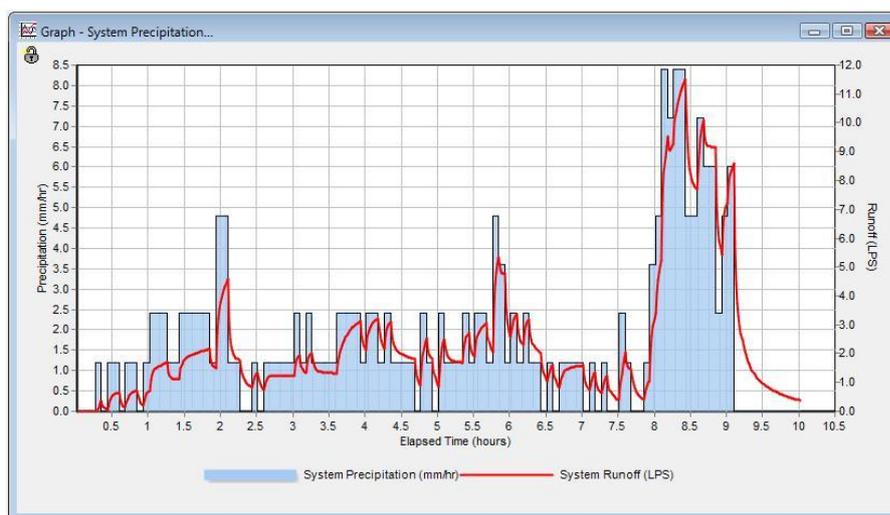


Figura 17. Gráfico de precipitação e escoamento do evento fraco

⁶ Altura da água é o termo utilizado no programa de simulação, sendo equivalente à altura da lâmina líquida, que é a altura que a água atinge dentro do coletor.

Quer a precipitação (no gráfico assinalado a azul) quer o escoamento (no gráfico assinalado a vermelho) representam um pequeno volume de água.

Depois deste evento, analisou-se o evento de precipitação médio e verifica-se que as velocidades aumentaram, porém, este aumento não compromete o bom funcionamento da rede, uma vez que as velocidades atingiram um relativo ao pico de precipitação correspondente 1 m/s, o que continua abaixo do valor permitido pelo DR23/95 (Figura 18).

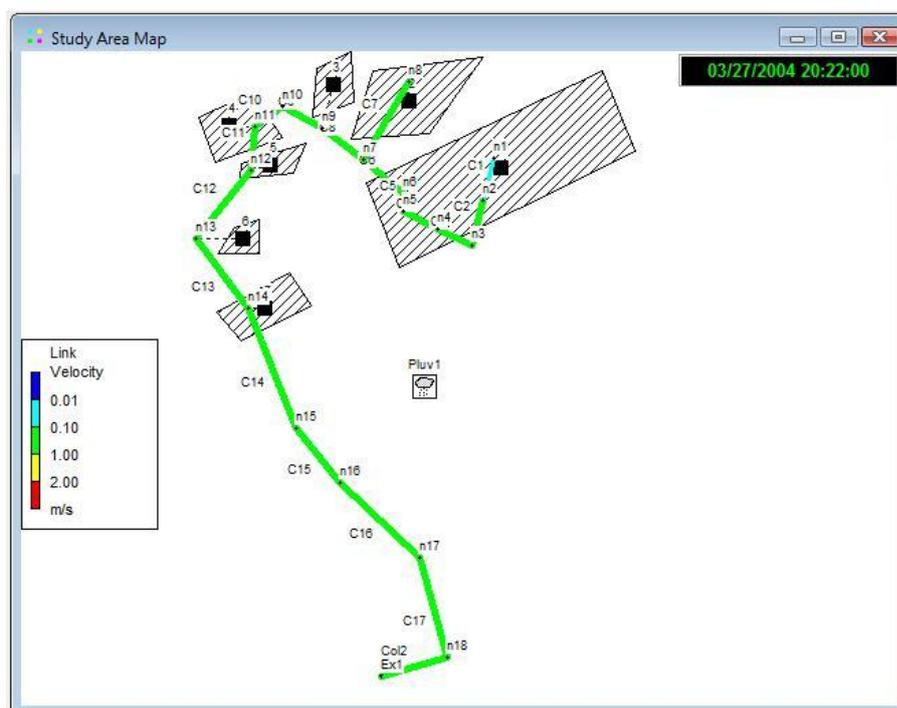


Figura 18. Gráfico de velocidades para o evento teórico médio

Quanto ao perfil da rede de drenagem (Figura 19), neste caso, apenas se nota uma ligeira diferença nos troços em que os coletores têm menos inclinação, e que leva a que a altura de escoamento nesse troço seja maior. Porém, mesmo neste caso, não se verifica qualquer problema no que diz respeito à altura da lâmina líquida para a rede em questão.

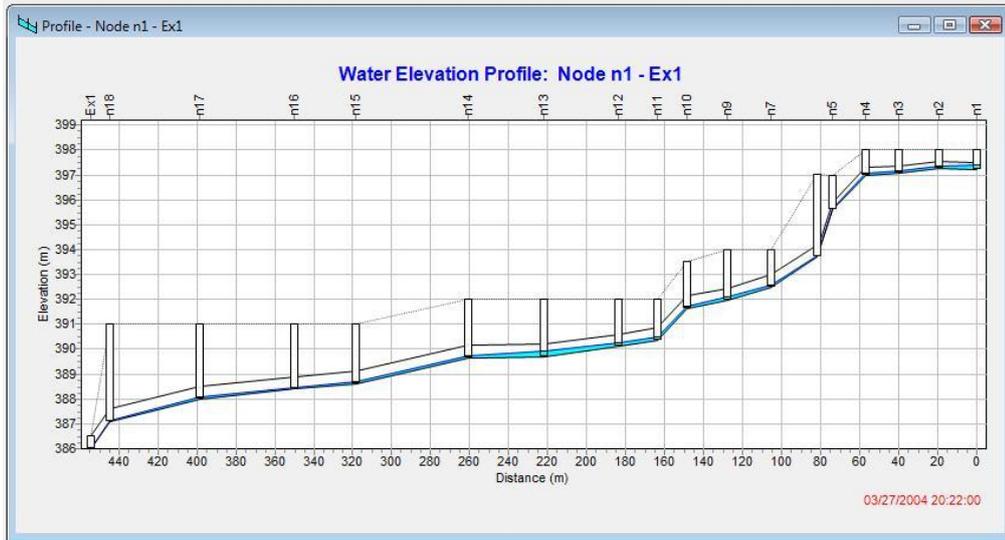


Figura 19. Troço das Piscinas Codessais em perfil, evento médio

Como se verifica entre os nós n11 e n14 a altura de água aumenta uma vez que a sua inclinação é pequena.

A Figura 18, referente ao evento teórico médio, representa o gráfico de escoamento e de precipitação, onde se pode verificar uma substancial diferença relativamente ao gráfico de precipitação e escoamento anterior (Figura 17).

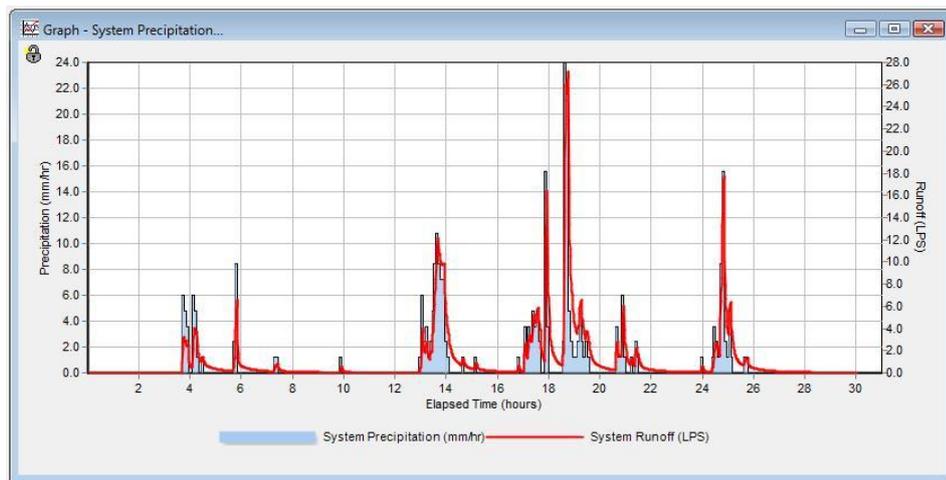


Figura 20. Gráfico de precipitação e escoamento para o evento teórico médio

Neste caso vemos que o evento tem vários picos (Figura 20), consideravelmente maiores que os do evento anterior, porém, estes picos estão espaçados de grandes intervalos de tempo, o que faz com que a rede não entre em sobrecarga, uma vez que

consegue escoar a água do pico anterior antes que comece de novo a chover com mais intensidade.

O evento teórico forte foi, no estudo dos eventos teóricos, onde se verificou a maior altura de escoamento na rede (Figura 21), fazendo com que os coletores quase entrassem em carga, porém e mesmo neste evento os coletores não entraram em carga para o pico de caudal como se pode ver na figura seguinte.

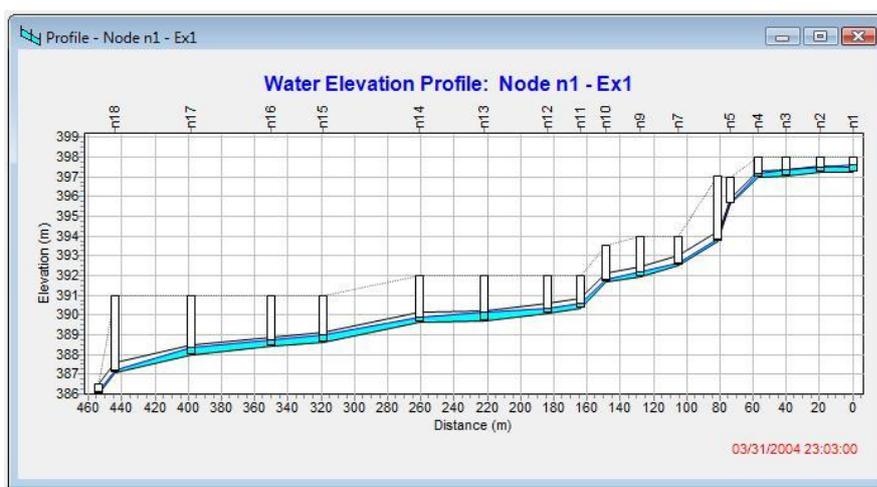


Figura 21. Troço das piscinas de Codessais em perfil, Evento teórico forte

Pode, tal como no caso do evento fraco conclui-se que os troços com inclinações mais baixas são mais propícios a que a altura da lâmina líquida seja muito mais elevada, pois a capacidade de escoamento do coletor é menor.

No que diz respeito às velocidades, volta a verificar-se que a velocidade máxima atingida na simulação deste evento é da ordem de 1 m/s continuando assim a velocidade de escoamento abaixo do permitido pelo decreto regulamentar (Figura 22).

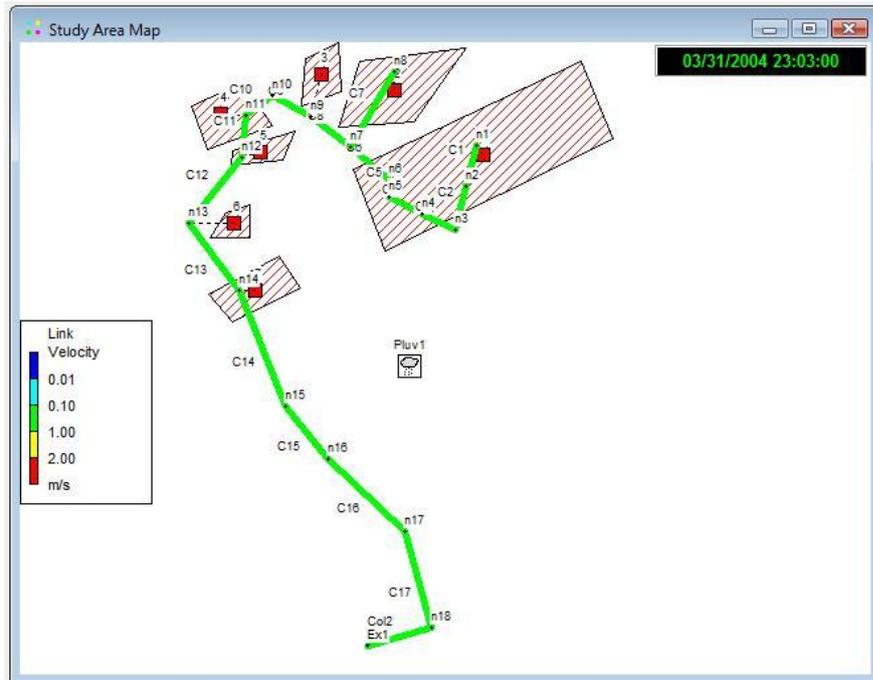


Figura 22. Gráfico de velocidades para o evento teórico forte

Este evento de precipitação foi considerado um evento forte uma vez que tinha uma intensidade de precipitação máxima de cerca de 54 mm/h, ou seja, praticamente o dobro do evento médio e cerca de 5 vezes superior ao evento fraco. Porém este evento apenas possui um pico, sendo o resto da chuvada com intensidade ao nível do evento fraco (Figura 23).

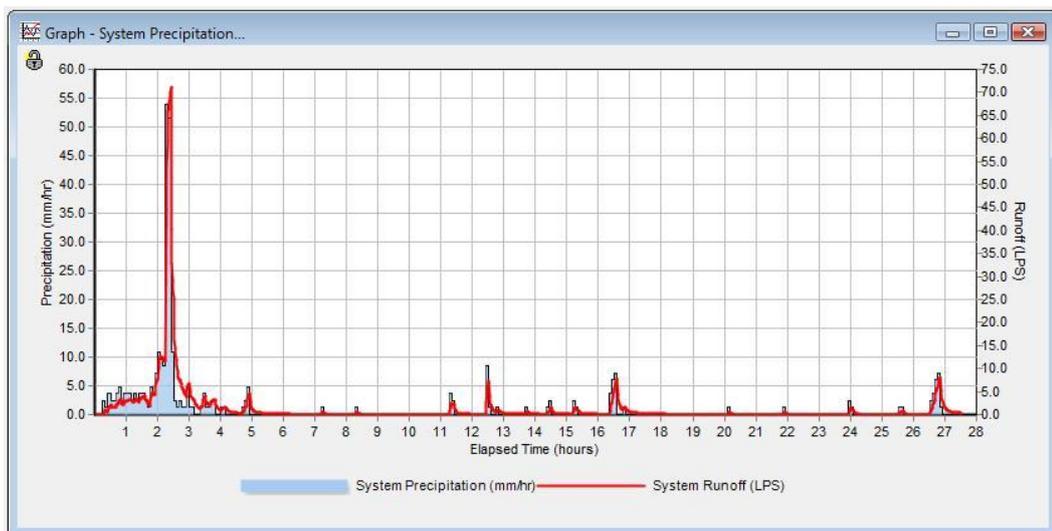


Figura 23. Gráfico de precipitação e escoamento para o evento teórico forte

Os eventos estudados são eventos teóricos que da rede permitem tirar conclusões relativamente a diferentes tipos de eventos pluviométricos. Vai, também, proceder-se à simulação da rede em eventos pluviométricos reais.

Em nenhum evento teórico a rede entrou em carga, tanto nos coletores como nas caixas de visita. No entanto, a análise da simulação da rede com eventos reais leva-nos a concluir que em certos locais a rede está claramente subdimensionada entrando em carga, tanto os coletores como as caixas de visita, podendo ocasionar cheias e danos na rede.

Analisaram-se as simulações da rede em precipitações reais, começando por um evento pluviométrico forte, com duração aproximada de 9 dias, a partir do qual se obtiveram valores de caudais máximos e velocidades máximas no primeiro, sétimo e oitavo dias, como se pode verificar no gráfico de precipitação e escoamento que se encontra a seguir (Figura 24).

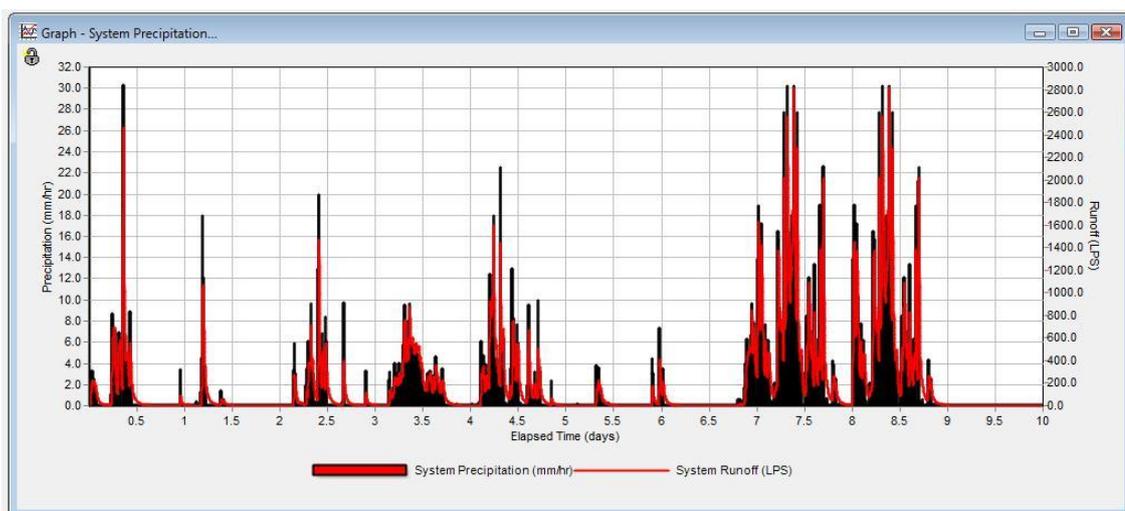


Figura 24. Gráfico de escoamento e precipitação do evento real e fraco

Apesar deste evento de precipitação ser consideravelmente mais forte que o evento teórico forte, a rede no que diz respeito às velocidades de escoamento encontradas, comporta-se dentro da gama de valores regulamentados, havendo apenas 3 troços onde a velocidade ultrapassa 1 m/s, ou seja, no intervalo entre 1 m/s e 2 m/s.

O troço que na Figura 25 aparece a vermelho, é onde ocorre a maior velocidade, contudo, esse troço é a ligação ao local de descarga onde a velocidade aumenta devido à forte inclinação do coletor.

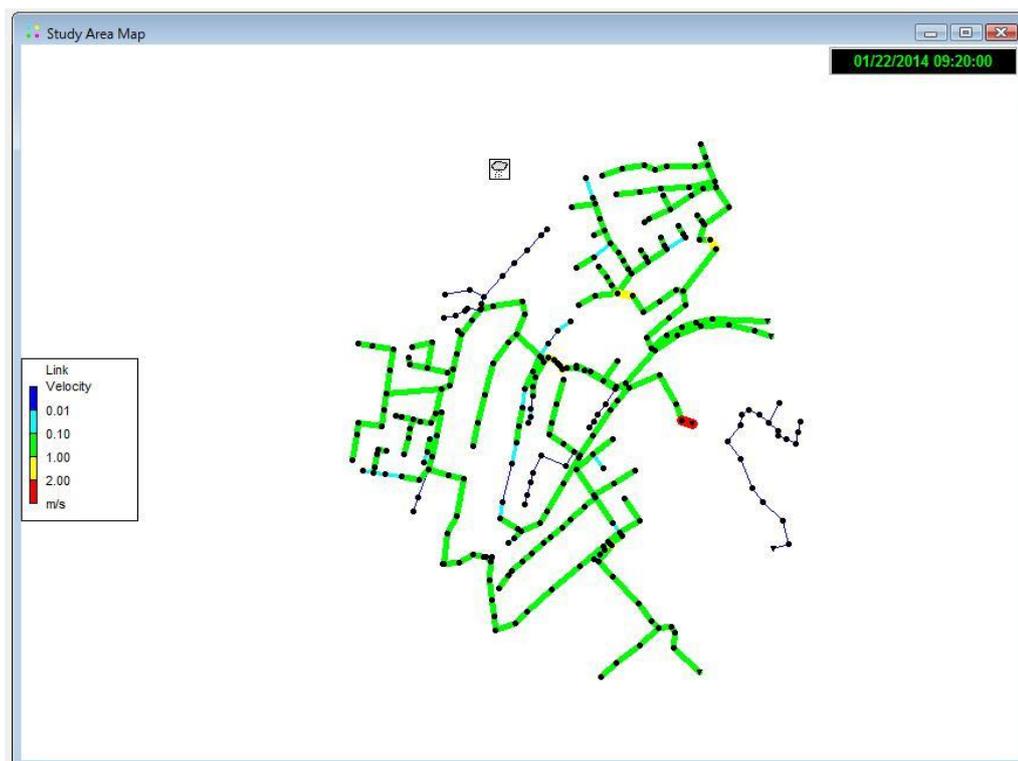


Figura 25. Velocidades de escoamento para o evento real e fraco

Uma vez que as velocidades estão dentro dos limites regulamentados, analisou-se a altura da lâmina líquida, tanto nos coletores como nas caixas de visita, tendo-se avaliado o trecho que vai desde o Hospital Veterinário até ao local de descarga, que é neste aspeto o que apresenta um comportamento mais crítico.

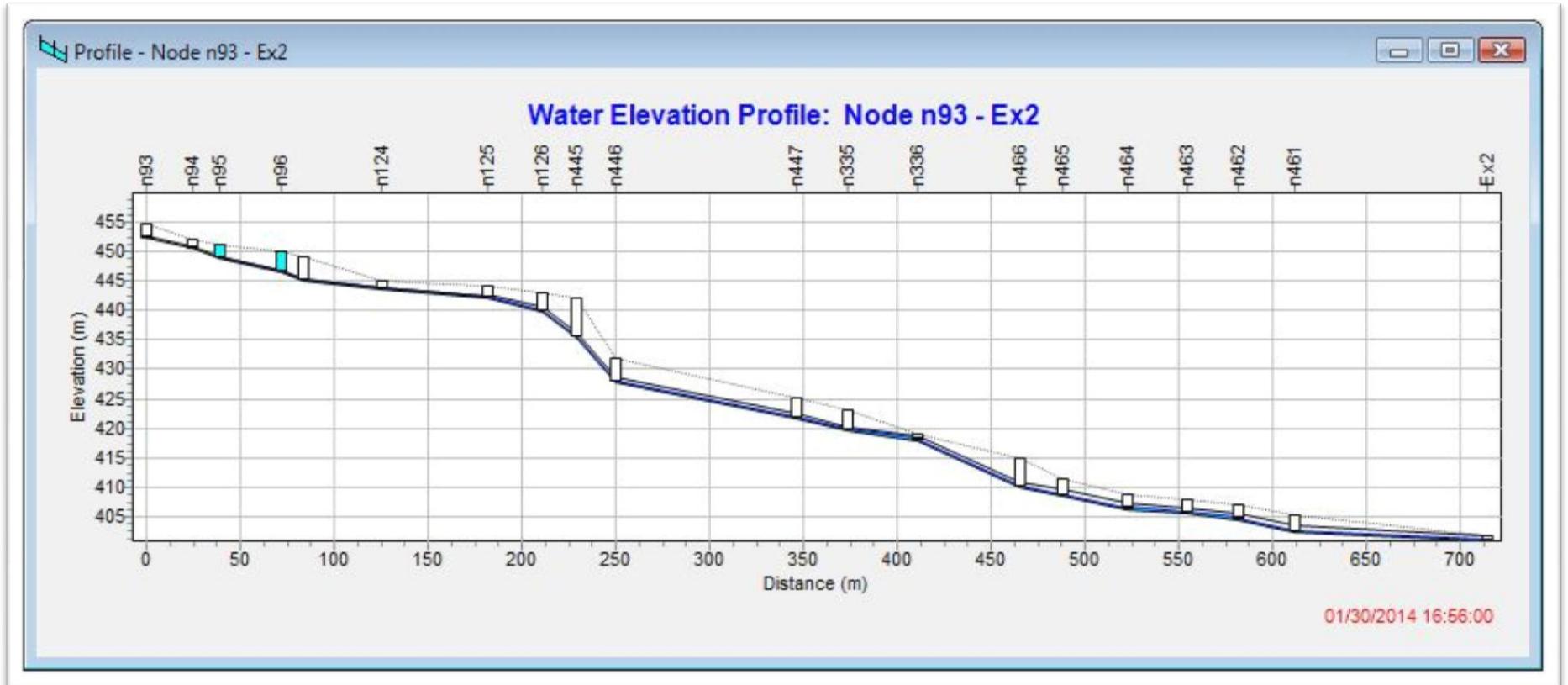


Figura 26. Perfil da tubagem entre o Hospital veterinário e o local de descarga

Quanto ao evento de precipitação real forte, verificou-se que duas caixas de visita entraram em carga (Figura 26), sendo que nos coletores não ocorreram problemas aparentes.

Outro trecho problemático foi o trecho que tem início em Nossa Senhora da Conceição e que descarrega no rio Corgo, onde também existe a inundação de 4 caixas de visita, estando o ramal de descarga em carga, devido ao facto de ter pouca inclinação.

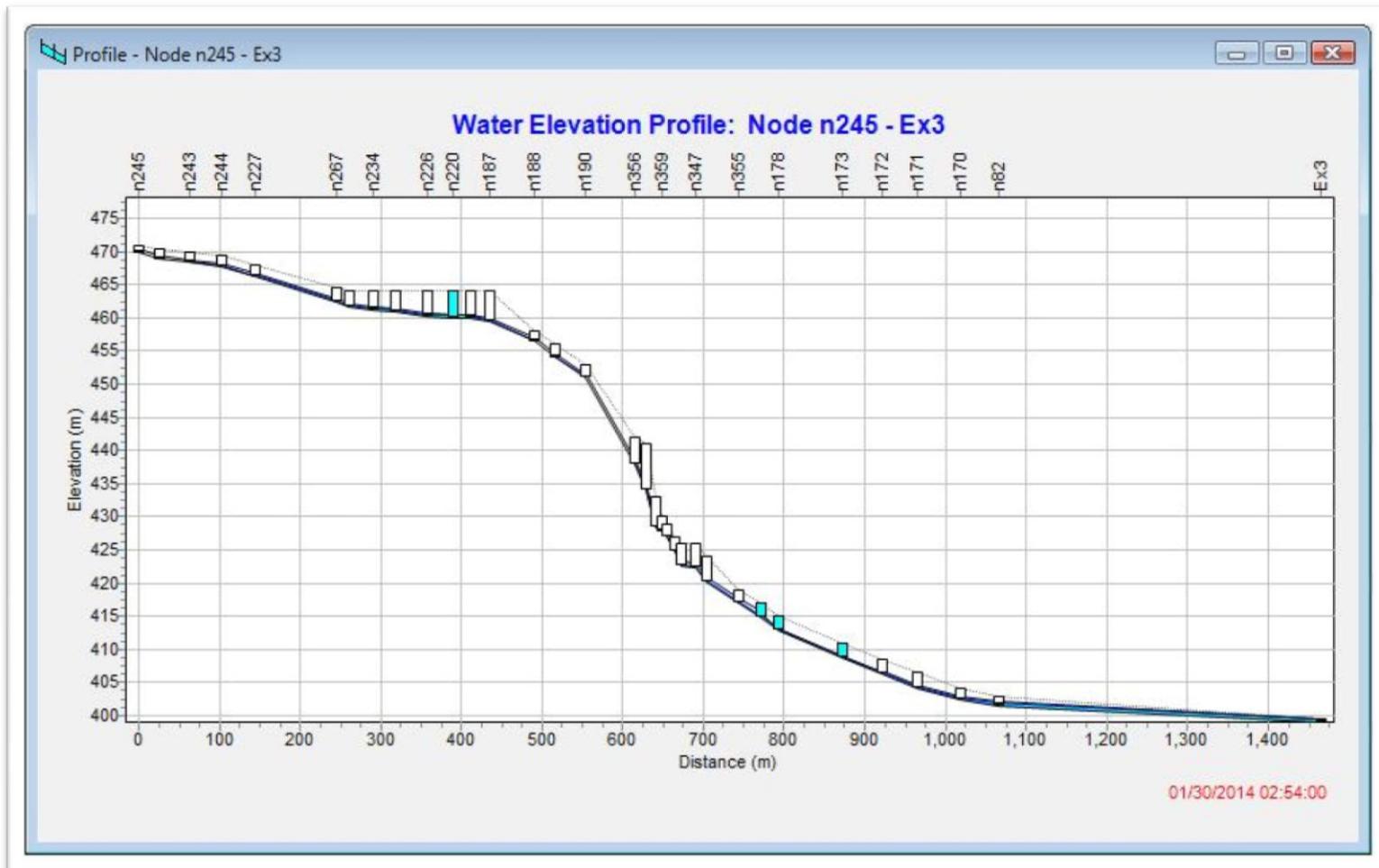


Figura 27. Perfil da tubagem proveniente de Nossa Senhora da Conceição

No caso deste evento, verifica-se que todas as caixas de visita que entram em carga têm coletores a jusante com pequenas inclinações.

No perfil representado na Figura 27 verifica-se que o nó n178 e o nó n173 ficam inundados mesmo com inclinações a jusante muito elevadas. No entanto, vendo a localização dessas caixas verifica-se que estão situadas numa zona residencial, logo numa zona muito impermeabilizada, sendo que todos os edifícios que se encontram aí descarregam as suas águas pluviais diretamente nessas caixas de visita, sendo esse o principal motivo para a inundação dessas duas caixas de visita.

Analisando agora o evento real violento, que ocorreu no dia 24 de Dezembro de 2013, verifica-se que as velocidades que ocorreram em alguns coletores chegam a ter velocidades acima de 2 m/s, correspondendo aos troços que aparecem a vermelho na Figura 28. Existem, ainda, alguns troços onde as velocidades se situam entre os 1 m/s e 2 m/s, que correspondem aos troços a amarelo na Figura 28.

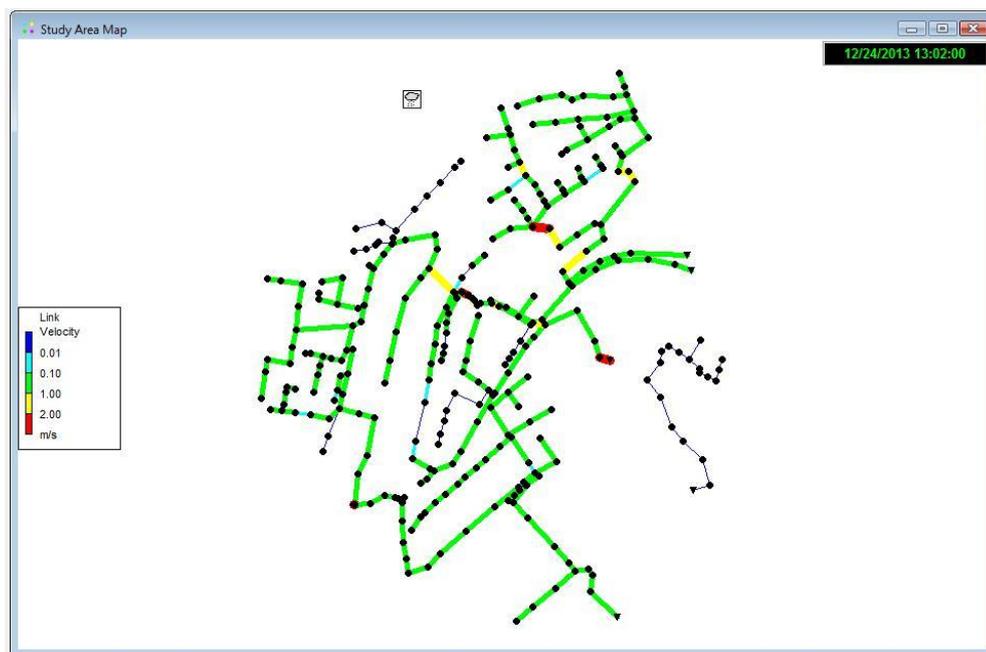


Figura 28. Velocidades para o evento real forte

Quanto a estes pontos de velocidades elevadas a conclusão a que se chega é que estes surgem devido à grande inclinação dos coletores.

O problema surge quando se visualiza a altura da lâmina líquida nos coletores e nas caixas de visita, e aí sim, vê-se que a rede não tem capacidade para suportar esta intensidade de precipitação, uma vez que praticamente todos os troços dos coletores entram em carga, dando-se a inundação das caixas de visita.

Esta constatação pode ser vista nos perfis entre o Hospital Veterinário e o local de descarga (Figura 29), entre a Praça de Nossa Senhora da Conceição e o local de descarga (Figura 30) e entre o viaduto de Nossa Senhora da Conceição e o local de descarga (Figura 31).

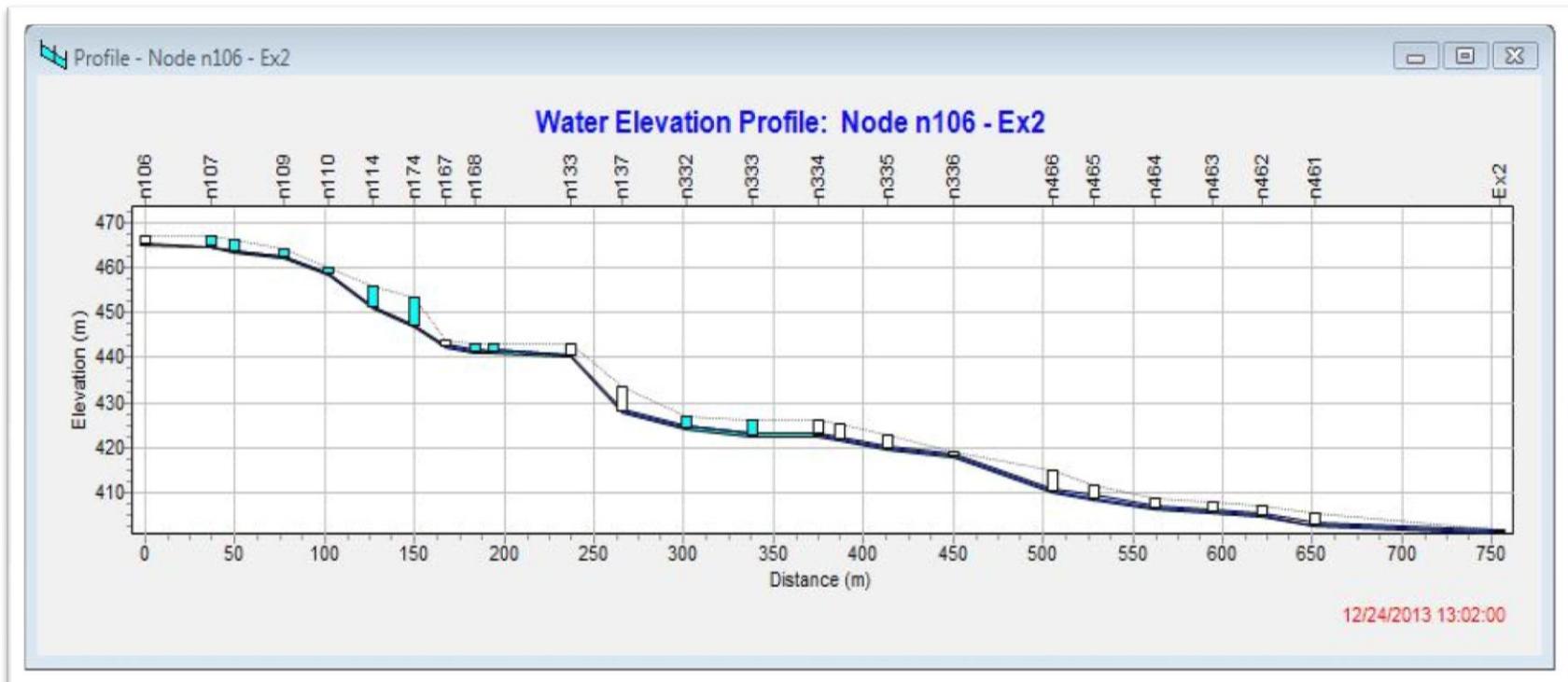


Figura 29. Perfil entre o Hospital Veterinário e o local de descarga

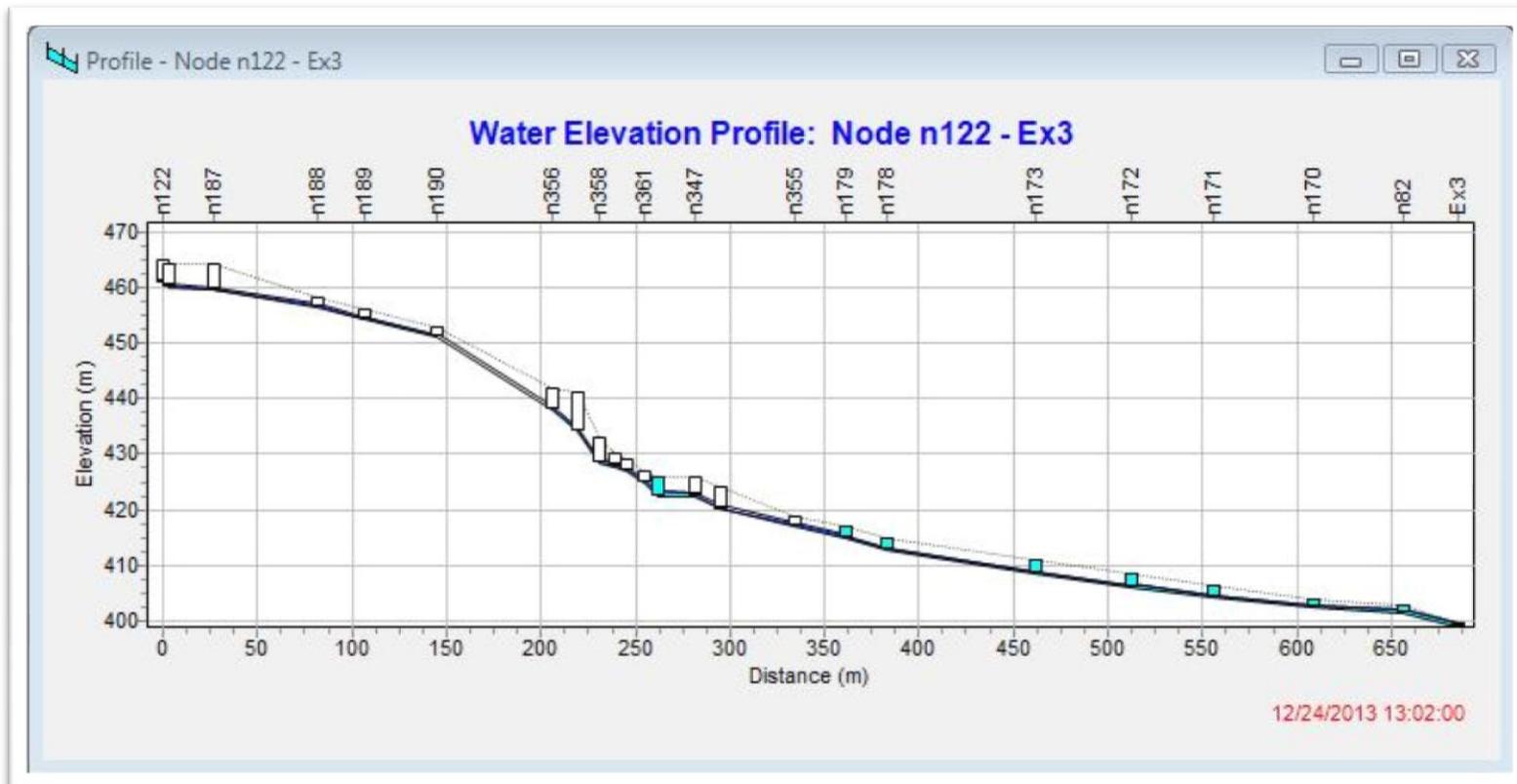


Figura 30. Perfil entre a Praça de Nossa Senhora da Conceição e local de descarga

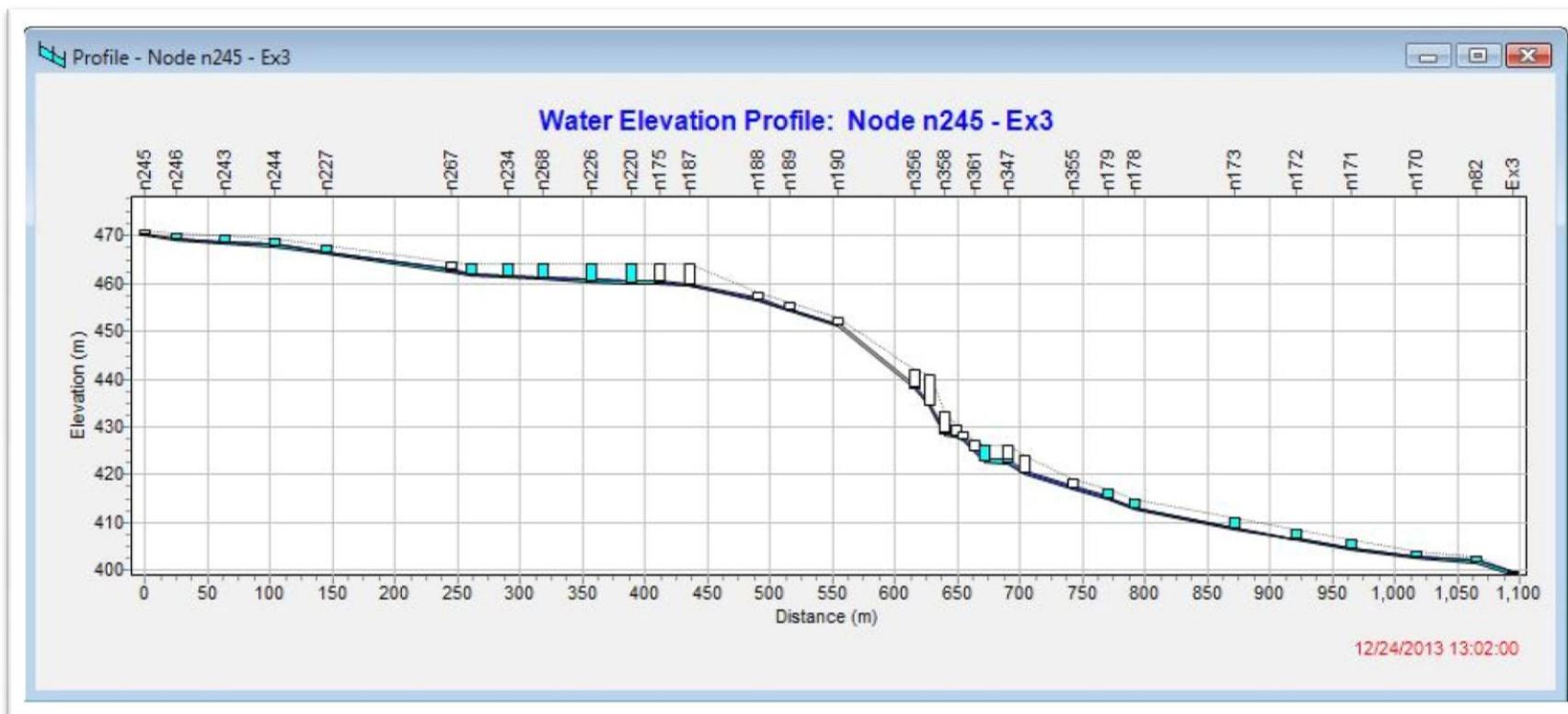


Figura 31. Perfil entre o viaduto de Nossa Senhora da Conceição e o local de descarga

Em todos estes troços podem ver-se inúmeras caixas de visita inundadas, sendo que os coletores também estão em carga.

Esta situação é originada pela precipitação representada na Figura 32.

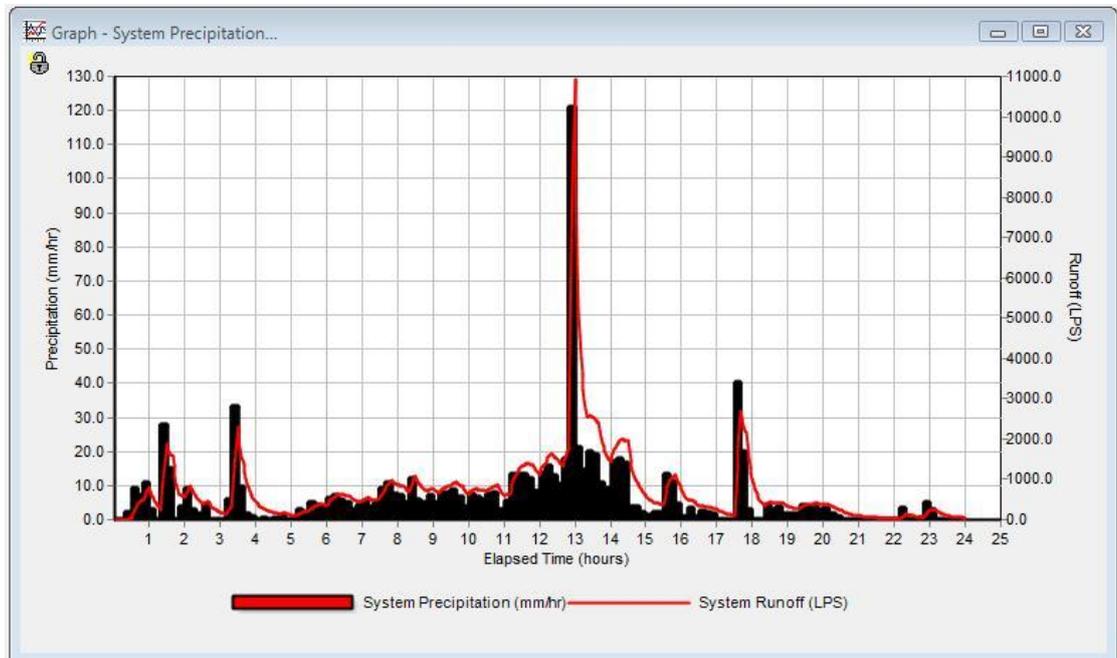


Figura 32. Evento de precipitação real forte

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A modelação de redes de drenagem de águas pluviais é muito importante para se conseguir estabelecer critérios de dimensionamento otimizado, testados em várias situações diferentes e, também, para poder gerir mais eficazmente as redes. É na gestão das redes existentes e, conseqüentemente, na simulação do seu funcionamento que os programas de modelação matemática são extremamente úteis, uma vez que dessa forma se consegue prever possíveis problemas e estudar formas de os evitar.

Existem algumas dificuldades no que toca à disponibilidade de informação e à preparação dos dados para introduzir nestes modelos, uma vez que eles são compostos por inúmeros parâmetros, que vão desde a geometria da rede aos eventos pluviométricos. Muitas vezes, essa informação não está disponível num formato facilmente utilizável pelo programa, tornando-se muito difícil a modelação. Existe porém uma vantagem no uso do SWMM uma vez que existe uma extensão do programa que faz a ligação com o arcGIS, tornando a configuração do ambiente de trabalho muito mais simples, desde que se possua a informação inserida no arcGIS.

No que toca a esta dissertação, verificou-se que a rede estudada, pertencente à cidade de Vila Real, tem um desempenho excelente uma vez que a rede é consideravelmente antiga e a cidade cresceu muito entre o hospital veterinário e o local de descarga, o que fez que aumentasse a impermeabilização do solo e mesmo nestas condições a rede reage bem a precipitações normais. No entanto, quando as intensidades são excepcionais, ou seja, precipitações com um período de retorno maior, a rede mostra-se bastante vulnerável, existindo zonas onde podem ocorrer inundações das caixas de visita que, ao extravasar, podem provocar inundações das zonas urbanas e, até, acidentes de trânsito, uma vez que a maioria destas caixas se encontra no eixo das faixas de rodagem.

Como trabalhos futuros é necessário a calibração do modelo para a cidade de Vila Real, para assim se pode validar os resultados. Este trabalho só será possível quando a entidade gestora da rede pluvial fizer uma minuciosa monitorização e controlo da rede, o qual não se verifica no momento, limitando-se à recolha das águas pluviais e à sua descarga diretamente no rio Corgo.

Recomenda-se, também, que seja feito o cadastro das redes em formato digital, para que seja prática e rápida a utilização da modelação matemática, que pode

traduzir-se numa ajuda preciosa na avaliação e gestão do funcionamento das redes pluviais.

BIBLIOGRAFIA

AMORIM J. (2008) - *Modelação e Gestão Avançada de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Javier Temprano, Óscar Arango, Juan Cagiao, Joaquín Suárez and Iñaki Tejero, (2006). Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain, *Water SA* Vol. 32 No. 1 January 2006 ISSN 0378-4738.

Kyung-sook Choi, James E. Ball,(2001). Modeling Urban Runoff Using GIS, *Urban Water* 4 (2002) 31 – 41.

Lewis A. Rossman, *STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL* Version 5.0, 2010. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 45268 EPA/600/R-05/040.

Marina Ilha e Reis, Assessment of Rainwater management systems in built-up areas with the aid of computer tools, Symposium CIB W062-377h Internacional Symposium, p. 27 – 33. September 25 th- 28th, 2011, Aveiro – Portugal.

QUINTELA A. (1996) - *Apontamentos de Hidrologia e Recursos Hídricos*, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais, DR 23/95 de 23 de Agosto.

US EPA – United States Environmental Protection Agency

Water Research – SUSTAIN

Dia 08 de Setembro de 2015

<https://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/sustain#content>

USGS – U.S. Geological Survey

Summary of HSPF

Dia 12 de Setembro de 2015

<https://www.usgs.gov/>

http://water.usgs.gov/cgi-bin/man_wrdapp?hspf

ANEXOS

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n ponderado
Subida das piscinas	#1	22778.4	22192.48	Monte	0.05	585,921	Alcatrão	0.011			0	0.04900
	#2	4101.336	3422.54	Monte	0.05	678.80	Alcatrão	0.011			0	0.04355
	#3	7274.109	6567.03	Monte	0.05	707.08	Alcatrão	0.011			0	0.04621
	#4	8022.808	7377.21	Monte	0.05	645.60	Alcatrão	0.011			0	0.04686
	#5	800.72	800.72	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#6	2910.35	2910.35	Monte	0.05			0			0	0.05000
Federação distrital de futebol	#1	964	964.00	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#2	270.56	270.56	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#3	4020.19	1557.98	Alcatrão	0.011	772.71	Alcatrão	0.011	1689.50	Edifícios	0.013	0.01184
	#4	2429.48	377.65	Alcatrão	0.011	2051.83	Edifícios	0.013			0	0.01269
	#5	5188.76	5188.76	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#6	2113.26	765.60	Alcatrão	0.011	1347.66	Edifícios	0.013			0	0.01228
	#7	538.299	538.30	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#8	264.99	264.99	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#9	765.59	182.16	Alcatrão	0.011	583.44	Edifícios	0.013			0	0.01252
	#10	2593.2	721.50	Alcatrão	0.011	1871.70	Edifícios	0.013			0	0.01244
	#11	727.284	727.28	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#12	1446.19	964.20	Alcatrão	0.011	481.99	Edifícios	0.013			0	0.01167
	#13	1285.113	174.16	Alcatrão	0.011	1110.95	Edifícios	0.013			0	0.01273
	#14	2389.8	548.72	Alcatrão	0.011	1841.08	Edifícios	0.013			0	0.01254
	#15	5181.73	411	Alcatrão	0.011	2868.81	Edifícios	0.013	1901.92	Jardim	0.24	0.09616
	#16	1727.8	223.216	Alcatrão	0.011	2512.58	Edifícios	0.013			0	0.01284

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado	
Hospital Veterinário - Boxes	#1	1387.62	1107.713	Monte	0.05	279.907	Alcatrão	0.011			0	0.04213	
	#2	1100.252	572.252	Monte	0.05	528	Alcatrão	0.011			0	0.03128	
	#3	2097.17	1542.6	Monte	0.05	554.57	Alcatrão	0.011			0	0.03969	
	#4	634.62	460.62	Monte	0.05	174	Alcatrão	0.011			0	0.03931	
	#5	513.9	513.9	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100	
	#6	1814.361	843.931	Monte	0.05	678.24	Edifícios	0.013	292.19	Alcatrão	0.011	0	0.02989
	#7	1770.85	1477.56	Edifícios	0.013	293.29	Alcatrão	0.011			0	0.01267	
	#8	649.24	479.14	Monte	0.05	170.1	Alcatrão	0.011			0	0.03978	
	#9	3195.88	2286.34	Edifícios	0.013	690.78	Alcatrão	0.011	218.76	Jardim	0.24	0	0.02811
	#10	3497.42	3236.393	Edifícios	0.013	261.027	Alcatrão	0.011			0	0.01285	
	#11	2825.12	2359.78	Edifícios	0.013	465.34	Alcatrão	0.011			0	0.01267	
	#12	1081.4	820.373	Edifícios	0.013	261.027	Alcatrão	0.011			0	0.01252	
	#13	472.07	472.07	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100	
	#14	177.36	124.06	Alcatrão	0.011	53.3	Jardim	0.24			0	0.07982	
	#15	1288.8	807.8	Jardim	0.24	481	Alcatrão	0.011			0	0.15453	
	#16	769.27	769.27	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100	
	#17	825.84	825.84	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100	
	#18	1691.2	1691.2	Edifícios	0.013			0			0	0.01300	
	#19	3723.7	3333.4	Edifícios	0.013	390.3	Alcatrão	0.011			0	0.01279	
	#20	4428.9	2224.1	Edifícios	0.013	1174.3	Alcatrão	0.011	1030.5	Jardim	0.24	0	0.06529
	#21	1780.24	1211.09	Edifícios	0.013	345.4	Monte	0.05	223.75	Alcatrão	0.011	0	0.01993
	#22	327.665	327.665	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100	

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Hospital Veterinário - Boxes	#23	1312.4	1312.4	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#24	1628.8	913.7	Edifícios	0.01 3	495.6	Monte	0.05	219.5	Alcatrão	0.01 1	0.02399
	#25	248.8	248.8	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#26	1164.7	1164.7	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#27	1248.8	813.4	Edifícios	0.01 3	435.4	Monte	0.05			0	0.02590
	#28	743.1	419.2	Edifícios	0.01 3	323.9	Alcatrão	0.01 1			0	0.01213
	#29	1194.3	1194.3	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#30	668.4	668.4	Monte	0.05			0			0	0.05000
	#31	932.7	438.7	Edifícios	0.01 3	494	Alcatrão	0.01 1			0	0.01194
	#32	839.8	839.8	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#33	1365	1365	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#34	629.7	358.93	Edifícios	0.01 3	270.7 7	Alcatrão	0.01 1			0	0.01214
	#35	715.1	715.1	Monte	0.05			0			0	0.05000
	#36	762.9	762.9	Alcatrão	0.01 1			0			0	0.01100
	#37	930	724.85	Edifícios	0.01 3	205.1 5	Alcatrão	0.01 1			0	0.01256
	#38	406.38	231.23	Edifícios	0.01 3	175.1 5	Alcatrão	0.01 1			0	0.01214

#39	2472.8	1913.08	Monte	0.05	559.7 2	Alcatrão	0.01 1		0		0.04117
#40	782.3	782.3	Alcatrão	0.01 1				0	0		0.01100
#41	1639.5	1639.5	Edifícios	0.01 3				0	0		0.01300
#42	1347.6	1000.23	Alcatrão	0.01 1	347.3 7	Edifícios	0.01 3		0		0.01152
#43	298.67	298.67	Alcatrão	0.01 1				0	0		0.01100
#44	721.56	721.56	Monte	0.05				0	0		0.05000
#45	2301.2	1359.65	Monte	0.05	511.4 6	Edifícios	0.01 3	430.0 9	Alcatrão	0.01 1	0.03449
#46	5100	4869.2	Monte	0.05	230.8	Alcatrão	0.01 1		0		0.04824
#47	1720	1720	Alcatrão	0.01 1				0	0		0.01100
#48	2414.4	1686.7	Edifícios	0.01 3	430	Alcatrão	0.01 1	297.7	Monte	0.05	0.01721
#49	856.98	856.98	Alcatrão	0.01 1				0	0		0.01100

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Senhora Da Conceição (SC)	#5 1	629.87	522.76	Calçada	0.01 5	107.11	Jardim	0.24			0	0.05326
	#5 2	2008.842	1062.19 2	Calçada	0.01 5	946.65	Jardim	0.24			0	0.12103
	#5 3	2310.867	1370.56 7	Calçada	0.01 5	940.3	Edifícios	0.01 3			0	0.01419

#5 4	2283.93	1684.33	Calçada	0.01 5	599.6	Edifícios	0.01 3		0	0.01447	
#5 5	652.883	652.883	Alcatrão	0.01 1			0		0	0.01100	
#5 6	3023.682	2369.61 4	Edifícios	0.01 3	654.068	Alcatrão	0.01 1		0	0.01257	
#5 7	1407.26	1335.44	Calçada	0.01 5	71.82	Jardim	0.24		0	0.02648	
#5 8	764.493	404.493	Edifícios	0.01 3	360	Calçada	0.01 5		0	0.01394	
#5 9	1612.689	1104.29 2	Calçada	0.01 5	340.3	Edifícios	0.01 3	168.097	Jardim	0.24	0.03803
#6 0	1370.083	871.073	Calçada	0.01 5	348.47	Edifícios	0.01 3	150.54	Jardim	0.24	0.03921
#6 1	742.86	742.86	Alcatrão	0.01 1			0		0	0.01100	
#6 2	250.79	250.79	Alcatrão	0.01 1			0		0	0.01100	
#6 3	1045.71	249.07	Alcatrão	0.01 1	796.64	Edifícios	0.01 3		0	0.01252	
#6 4	305.8	305.8	Alcatrão	0.01 1			0		0	0.01100	
#6 5	906.057	658.96	Edifícios	0.01 3	247.097	Alcatrão	0.01 1		0	0.01245	
#6 6	883.312	595.1	Edifícios	0.01 3	288.212	Alcatrão	0.01 1		0	0.01235	
#6 7	630.54	630.54	Alcatrão	0.01 1			0		0	0.01100	
#6 8	597.7	597.7	Edifícios	0.01 3			0		0	0.01300	
#6 9	1975.591	736.16	Edifícios	0.01 3	377.94	Jardim	0.24	861.491	Alcatrão	0.011	0.05555

#70	541.281	541.281	Edifícios	0.013		0		0	0.01300
#71	1799	1211.64	Edifícios	0.013	587.36	Alcatrão	0.011	0	0.01235
#72	1645.9	1073	Edifícios	0.013	572.9	Alcatrão	0.011	0	0.01230

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Senhora Da Conceição (SC)	#73	1216.5	792	Edifícios	0.013	424.5	Alcatrão	0.011			0	0.01230
	#74	1966.4	764	Alcatrão	0.011	1202.4	Edifícios	0.013			0	0.01222
	#75	2073.3	2073.3	Edifícios	0.013			0			0	0.01300
	#76	3929	1742.3	Edifícios	0.013	2186.7	Jardim	0.24			0	0.13934
	#77	1082.068	387.35	Alcatrão	0.011	694.718	Jardim	0.24			0	0.15802
	#78	3067.1	1014.7	Alcatrão	0.011	2052.4	Edifícios	0.013			0	0.01234
	#79	1364.3	688.1	Alcatrão	0.011	676.2	Edifícios	0.013			0	0.01199
	#80	1273	1273	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#81	1753	1753	Edifícios	0.013			0			0	0.01300

Zona	Nº	Área Total	Área	n	Área	n	n ponderado
------	----	------------	------	---	------	---	-------------

Subida das piscinas	#1	22778.4	22192.48	0.05	585.92	0.011	0.04318
	#2	4101.336	3422.54	0.05	678.80	0.011	0.04355
	#3	7274.109	6567.03	0.05	707.08	0.011	0.04621
	#4	8022.808	7377.21	0.05	645.60	0.011	0.04686
	#5	800.72	800.72	0.011		0.011	0.01100
	#6	2910.35	2910.35	0.05		0.011	0.05000

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Viaduto Sra. Da Conceição	#1	1032.94	1032.94	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#2	465.018	465.018	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#3	298.58	95.58	Edifícios	0.013	203	Alcatrão	0.011			0	0.01164
	#4	420.536	420.536	Alcatrão	0.011			0			0	0.01100
	#5	1248.336	850.976	Edifícios	0.013	397.36	Alcatrão	0.011			0	0.01236
	#6	711.592	544.962	Edifícios	0.013	166.63	Alcatrão	0.011			0	0.01253
	#7	2227.755	1816.995	Edifícios	0.013	410.76	Alcatrão	0.011			0	0.01263
	#8	850.387	365.477	Edifícios	0.013	484.91	Alcatrão	0.011			0	0.01186
	#9	1879.757	1416.837	Edifícios	0.013	462.92	Alcatrão	0.011			0	0.01251
	#10	955.101	794.686	Edifícios	0.013	160.415	Alcatrão	0.011			0	0.01266

#11	745.662	745.662	Edifícios	0.013				0		0	0.01300
#12	506.353	506.353	Edifícios	0.013				0		0	0.01300
#13	1079.953	1079.953	Edifícios	0.013				0		0	0.01300
#14	1194.9	689.15	Edifícios	0.013	505.75	Alcatrão	0.011			0	0.01215
#15	4889.63	4142.47	Edifícios	0.013	747.16	Alcatrão	0.011			0	0.01269
#16	4083.12	3648.12	Edifícios	0.013	435	Alcatrão	0.011			0	0.01279
#17	1328.9	1328.9	Edifícios	0.013				0		0	0.01300
#18	3399.2	2941.01	Edifícios	0.013	458.19	Alcatrão	0.011			0	0.01273

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Reta das Boxes	#1	793.825	425.705	Edifícios	0.013	368.12	Alcatrão	0.011			0	0.01207
	#2	1321.8	597.8	Edifícios	0.013	724	Alcatrão	0.011			0	0.01190
	#3	860.16	327.56	Edifícios	0.013	532.6	Alcatrão	0.011			0	0.01176
	#4	1127.3	452.94	Edifícios	0.013	674.36	Alcatrão	0.011			0	0.01180
	#5	1951.11	1222.44	Edifícios	0.013	728.67	Alcatrão	0.011			0	0.01225
	#6	2353.76	1620.6	Edifícios	0.013	733.16	Alcatrão	0.011			0	0.01238
	#7	6791.5	6204.202	Calçada	0.015	587.298	Alcatrão	0.011			0	0.01465
	#8	4276	2979.3	Edifícios	0.013	1296.7	Alcatrão	0.011			0	0.01239
	#9	162	162	Alcatrão	0.011	0	Alcatrão	0.011			0	0.01100
Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n ponderado
Paralela	#1	3249	2936.2	Edifícios	0.013	312.8	Alcatrão	0.011				0.01281

superior - Reta das Boxes	#2	707.4	591	Edifícios	0.013	116.4	Alcatrão	0.011	0.01267
	#3	2004.7	1256.9	Edifícios	0.013	747.8	Alcatrão	0.011	0.01225
	#4	2232	1981.2	Edifícios	0.013	250.8	Alcatrão	0.011	0.01278
	#5	5738	4776	Edifícios	0.013	962	Alcatrão	0.011	0.01266
	#6	2628.6	1938.6	Edifícios	0.013	690	Alcatrão	0.011	0.01248
	#7	5707.8	4893.07	Edifícios	0.013	814.73	Alcatrão	0.011	0.01271

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Zona do CIFOP	#1	3771.76	3056.16	Edifícios	0.013	715.6	Alcatrão	0.011	0.01262
	#2	2078.596	1668.966	Edifícios	0.013	409.63	Alcatrão	0.011	0.01261
	#3	1314.066	1164.666	Edifícios	0.013	149.4	Alcatrão	0.011	0.01277
	#4	751.8	751.8	Alcatrão	0.011			0	0.01100
	#5	856.164	856.164	Alcatrão	0.011			0	0.01100
	#6	2401.12	1840.02	Edifícios	0.013	561.1	Alcatrão	0.011	0.01253
	#7	2112.1	1642.915	Edifícios	0.013	469.185	Alcatrão	0.011	0.01256
	#8	3064.182	2663.182	Edifícios	0.013	401	Alcatrão	0.011	0.01274
	#9	1164.6	1062.8	Edifícios	0.013	101.8	Alcatrão	0.011	0.01283
	#10	531.75	437.78	Edifícios	0.013	93.97	Alcatrão	0.011	0.01265
	#11	968.67	790.842	Edifícios	0.013	177.828	Alcatrão	0.011	0.01263
	#12	883.429	723.629	Edifícios	0.013	159.8	Alcatrão	0.011	0.01264
	#13	766.061	557.951	Edifícios	0.013	208.11	Alcatrão	0.011	0.01246
	#14	744.016	514.047	Edifícios	0.013	229.969	Alcatrão	0.011	0.01238
	#15	719.195	543.167	Edifícios	0.013	176.028	Alcatrão	0.011	0.01251
	#16	574.337	454.956	Edifícios	0.013	119.381	Alcatrão	0.011	0.01258
	#17	1029.63	1029.63	Edifícios	0.013		Alcatrão	0.011	0.01300
	#18	1056.6	842.536	Edifícios	0.013	214.064	Alcatrão	0.011	0.01259
	#19	217.06	217.06	Alcatrão	0.011			0	0.01100
	#20	2556.5	1756.5	Edifícios	0.013	800	Alcatrão	0.011	0.01237
	#21	1659.4	1441.9	Edifícios	0.013	217.5	Alcatrão	0.011	0.01274
	#22	488.82	488.82	Alcatrão	0.011			0	0.01100

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n Ponderado
Zona do CIFOP	#23	3097.2	2388.8	Edifícios	0.013	708.4	Alcatrão	0.011	0.01254
	#24	6818.7	5998.88	Edifícios	0.013	819.82	Alcatrão	0.011	0.01276
	#25	4079	3137	Edifícios	0.013	942	Alcatrão	0.011	0.01254
	#26	1951.14	1951.14	Edifícios	0.013			0	0.01300
	#27	1227.6	903	Edifícios	0.013	324.6	Alcatrão	0.011	0.01247
	#28	929.95	582.86	Edifícios	0.013	347.09	Alcatrão	0.011	0.01225
	#29	1189.8	836.12	Edifícios	0.013	353.68	Alcatrão	0.011	0.01241
	#30	2904.9	2332.2	Edifícios	0.013	572.7	Alcatrão	0.011	0.01261
	#31	2760.83	1500.13	Alcatrão	0.011	1260.7	Edifícios	0.013	0.01191
	#32	2471.4	2471.4	Alcatrão	0.011			0	0.01100
	#33	428.33	428.33	Edifícios	0.013			0	0.01300
	#34	1166.26	784.29	Edifícios	0.013	381.97	Alcatrão	0.011	0.01234
	#35	342.7	342.7	Alcatrão	0.011			0	0.01100
	#36	422	422	Alcatrão	0.011			0	0.01100
	#37	1162.3	1162.3	Alcatrão	0.011			0	0.01100

Cálculo do n de Manning ponderado, para sub-bacias com características de solos diferentes

Zona	Nº	Área Total	Área	Tipo de Solo	n	Área	Tipo de Solo	n	n	n Ponderado
Pavilhão - Parque Corgo	#1	2235.2	2235.2	Edifícios	0.013			0	0	0.01300
	#2	819.8	819.8	Alcatrão	0.011			0	0	0.01100
	#3	9305.7	7127.1	Edifícios	0.013	2178.6	Alcatrão	0.011	0	0.01253
	#4	12279.4	5526.8	Edifícios	0.013	6752.6	Alcatrão	0.011	0	0.01190
	#5	4657.2	3425.1	Edifícios	0.013	1232.1	Alcatrão	0.011	0	0.01247
	#6	6581.4	4752.8	Edifícios	0.013	1828.6	Alcatrão	0.011	0	0.01244
	#7	1000.17	598.37	Alcatrão	0.011	401.8	Jardim	0.24	0	0.10300
	#8	3762	3505.11	Edifícios	0.013	256.89	Alcatrão	0.011	0	0.01286
	#9	221.38	221.38	Alcatrão	0.011			0	0	0.01100
	#10	938.96	938.96	Alcatrão	0.011			0	0	0.01100
	#11	4253.4	2773.4	Edifícios	0.013	1480	Alcatrão	0.011	0	0.01230

Conversão das unidades de área

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Subida das piscinas	#1	22778.4	2.27784	0.04318
	#2	4101.336	0.410134	0.04355
	#3	7274.109	0.727411	0.04621
	#4	8022.808	0.802281	0.04686
	#5	800.717	0.080072	0.01100
	#6	2910.35	0.291035	0.05000

Federação distrital de futebol (FDF)	#164	964	0.0964	0.01100
	#165	270.56	0.027056	0.01100
	#166	4020.19	0.402019	0.01184
	#167	2429.48	0.242948	0.01269
	#168	5188.76	0.518876	0.01100
	#169	2113.26	0.211326	0.01228
	#170	538.299	0.05383	0.01100
	#171	264.99	0.026499	0.01100
	#172	765.59	0.076559	0.01252
	#173	2593.2	0.25932	0.01244
	#174	727.284	0.072728	0.01100
	#175	1446.19	0.144619	0.01167
	#176	1285.113	0.128511	0.01273
	#177	2389.8	0.23898	0.01254
#178	5181.73	0.518173	0.09616	
#179	1727.8	0.17278	0.01284	

Conversão das unidades de área

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
	#1	1387.62	0.138762	0.04213
	#2	1100.252	0.110025	0.03128
	#3	2097.17	0.209717	0.03969
	#4	634.62	0.063462	0.03931
	#5	513.9	0.05139	0.01100
	#6	1814.361	0.181436	0.02989
	#7	1770.85	0.177085	0.01267
	#8	649.24	0.064924	0.03978
	#9	3195.88	0.319588	0.02811
	#10	3497.42	0.349742	0.01285
Hospital	#11	2825.12	0.282512	0.01267
Veterinário	#12	1081.4	0.10814	0.01252
- Boxes	#13	472.07	0.047207	0.01100
(HV-E)	#14	177.36	0.017736	0.07982
	#15	1288.8	0.12888	0.15453
	#16	769.27	0.076927	0.01100
	#17	825.84	0.082584	0.01100
	#18	1691.2	0.16912	0.01300
	#19	3723.7	0.37237	0.01279
	#20	4428.9	0.44289	0.06529
	#21	1780.24	0.178024	0.01993
	#22	327.665	0.032767	0.01100

Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
#23	1312.4	0.13124	0.01100
#24	1628.8	0.16288	0.02399
#25	248.8	0.02488	0.01100
#26	1164.7	0.11647	0.01100
#27	1248.8	0.12488	0.02590
#28	743.1	0.07431	0.01213
#29	1194.3	0.11943	0.01100
#30	668.4	0.06684	0.05000
#31	932.7	0.09327	0.01194
#32	839.8	0.08398	0.01100
#33	1365	0.1365	0.01100
#34	629.7	0.06297	0.01214
#35	715.1	0.07151	0.05000
#36	762.9	0.07629	0.01100
#37	930	0.093	0.01256
#38	406.38	0.040638	0.01214
#39	2472.8	0.24728	0.04117
#40	782.3	0.07823	0.01100
#41	1639.5	0.16395	0.01300
#42	1347.6	0.13476	0.01152
#43	298.67	0.029867	0.01100
#44	721.56	0.072156	0.05000

Hospital Veterinário - Boxes (HV-E)	#45	2301.2	0.23012	0.03449
	#46	5100	0.51	0.04824
	#47	1720	0.172	0.01100
	#48	2414.4	0.24144	0.01721
	#49	856.98	0.085698	0.01100
	#50	4958.7	0.49587	0.05000

Conversão das unidades de área

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Senhora da Conceição (SC)	#51	629.87	0.062987	0.05326
	#52	2008.842	0.200884	0.12103
	#53	2310.867	0.231087	0.01419
	#54	2283.93	0.228393	0.01447
	#55	652.883	0.065288	0.01100
	#56	3023.682	0.302368	0.01257
	#57	1407.26	0.140726	0.02648
	#58	764.493	0.076449	0.01394
	#59	1612.689	0.161269	0.03803
	#60	1370.083	0.137008	0.03921
	#61	742.86	0.074286	0.01100
	#62	250.79	0.025079	0.01100
	#63	1045.71	0.104571	0.01252
	#64	305.8	0.03058	0.01100
	#65	906.057	0.090606	0.01245
	#66	883.312	0.088331	0.01235
	#67	630.54	0.063054	0.01100
	#68	597.7	0.05977	0.01300
	#69	1975.591	0.197559	0.05555
	#70	541.281	0.054128	0.01300
	#71	1799	0.1799	0.01235
	#72	1645.9	0.16459	0.01230

Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
#73	1216.5	0.12165	0.01230
#74	1966.4	0.19664	0.01222
#75	2073.3	0.20733	0.01300
#76	3929	0.3929	0.13934
#77	1082.068	0.108207	0.15802
#78	3067.1	0.30671	0.01234
#79	1364.3	0.13643	0.01199
#80	1273	0.1273	0.01100
#81	1753	0.1753	0.01300

Conversão das unidades de área

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Zona do CIFOP (CIF)	#116	3771.76	0.377176	0.01262
	#117	2078.596	0.20786	0.01261
	#118	1314.066	0.131407	0.01277
	#119	751.8	0.07518	0.01100
	#120	856.164	0.085616	0.01100
	#121	2401.12	0.240112	0.01253
	#122	2112.1	0.21121	0.01256
	#123	3064.182	0.306418	0.01274
	#124	1164.6	0.11646	0.01283
	#125	531.75	0.053175	0.01265
	#126	968.67	0.096867	0.01263
	#127	883.429	0.088343	0.01264
	#128	766.061	0.076606	0.01246
	#129	744.016	0.074402	0.01238
	#130	719.195	0.07192	0.01251
	#131	574.337	0.057434	0.01258
	#132	1029.63	0.102963	0.01300
	#133	1056.6	0.10566	0.01259
	#134	217.06	0.021706	0.01100
	#135	2556.5	0.25565	0.01237
#136	1659.4	0.16594	0.01274	
#137	488.82	0.048882	0.01100	
#138	3097.2	0.30972	0.01254	

Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
#139	6818.7	0.68187	0.01276
#140	4079	0.4079	0.01254
#141	1951.14	0.195114	0.01300
#142	1227.6	0.12276	0.01247
#143	929.95	0.092995	0.01225
#144	1189.8	0.11898	0.01241
#145	2904.9	0.29049	0.01261
#146	2760.83	0.276083	0.01191
#147	2471.4	0.24714	0.01100
#148	428.33	0.042833	0.01300
#149	1166.26	0.116626	0.01234
#150	342.7	0.03427	0.01100
#151	422	0.0422	0.01100
#152	1162.3	0.11623	0.01100

Conversão das unidades de área

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Viaduto Sra. Da Conceição (VSC)	#82	1032.94	0.103294	0.01100
	#83	465.018	0.046502	0.01100
	#84	298.58	0.029858	0.01164
	#85	420.536	0.042054	0.01100
	#86	1248.336	0.124834	0.01236
	#87	711.592	0.071159	0.01253
	#88	2227.755	0.222776	0.01263
	#89	850.387	0.085039	0.01186
	#90	1879.757	0.187976	0.01251
	#91	955.101	0.09551	0.01266
	#92	745.662	0.074566	0.01300
	#93	506.353	0.050635	0.01300
	#94	1079.953	0.107995	0.01300
	#95	1194.9	0.11949	0.01215
	#96	4889.63	0.488963	0.01269
	#97	4083.12	0.408312	0.01279
	#98	1328.9	0.13289	0.01300
	#99	3399.2	0.33992	0.01273

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Pavilhão - Parque Corgo (PAV_PC)	#153	2235.2	0.22352	0.01300
	#154	819.8	0.08198	0.01100
	#155	9305.7	0.93057	0.01253
	#156	12279.4	1.22794	0.01190
	#157	4657.2	0.46572	0.01247
	#158	6581.4	0.65814	0.01244
	#159	1000.17	0.100017	0.10300
	#160	3762	0.3762	0.01286
	#161	221.38	0.022138	0.01100
	#162	938.96	0.093896	0.01100
	#163	4253.4	0.42534	0.01230

Conversão das unidades de área

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Reta das Boxes (RB)	#107	793.825	0.079383	0.01207
	#108	1321.8	0.13218	0.01190
	#109	860.16	0.086016	0.01176
	#110	1127.3	0.11273	0.01180
	#111	1951.11	0.195111	0.01225
	#112	2353.76	0.235376	0.01238
	#113	6791.5	0.67915	0.01465
	#114	4276	0.4276	0.01239
	#115	162	0.0162	0.01100

	Numero	Área total m ²	Área total em Ha	n
Paralela superior - Reta das Boxes (PS_RB)	#100	3249	0.3249	0.01281
	#101	707.4	0.07074	0.01267
	#102	2004.7	0.20047	0.01225
	#103	2232	0.2232	0.01278
	#104	5738	0.5738	0.01266
	#105	2628.6	0.26286	0.01248
	#106	5707.8	0.57078	0.01271