

GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM MEIO URBANO – DESAFIOS E SOLUÇÕES

Jorge Carmo Vaz⁽¹⁾, Filipa Ferreira⁽¹⁾, José Saldanha Matos⁽²⁾, Isabel Vaz⁽³⁾

(1) DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

(2) DECivil, Instituto Superior Técnico, HIDRA, Hidráulica e Ambiente, Lda., Lisboa, Portugal

(3) CONSULTEC Lda, Maputo, Moçambique

RESUMO

Desde o aparecimento de núcleos urbanos de dimensões significativas até às cidades dos dias de hoje, a capacidade de lidar com o fenómeno natural da precipitação tem-se tornado num assunto cada vez mais premente. A construção dos sistemas de drenagem de águas pluviais regeu-se, ao longo de décadas, pelo princípio de que era necessário fazer desaparecer estes efluentes o mais rapidamente possível, de modo a reduzir o risco de inundações em áreas edificadas, provocadas por águas pluviais, bem como controlar a proliferação de doenças, relacionada com o extravase de águas residuais transportadas em colectores unitários. Assim, numa altura em que havia poucas infraestruturas de drenagem e as pessoas não se encontravam alertas para os problemas decorrentes da contaminação das massas de água, pouca ou nenhuma importância era dada à degradação dos meios receptores.

Em Portugal, como resultado da sensibilização da sociedade e de legislação europeia e nacional mais exigentes no que diz respeito à qualidade dos meios receptores, tem ganho relevância a gestão integrada das componentes quantitativa e qualitativa do escoamento nos três elementos principais dos sistemas de saneamento e de descarga: redes de colectores, estações de tratamento e meios receptores. Sobretudo em países mais desenvolvidos, com redes separativas, tem crescido a consciência de que os efluentes pluviais apresentam concentrações significativas de cargas poluentes, especialmente no início da chuvada (*first flush*), e, por esta razão, estes efluentes também começam a ser sujeitos a tratamento.

Nesta perspectiva, uma gestão eficaz e eficiente do sistema de drenagem através de um controlo em tempo real ou *quasi-real* deve assentar numa rede de monitorização adequada que permita ao receptor da informação tomar uma decisão e intervir atempadamente. A optimização do funcionamento da rede com base na monitorização e em ferramentas de modelação tem como principal objectivo maximizar a utilização da capacidade existente no sistema (nomeadamente em redes e reservatórios), minimizando inundações em meio urbano e descargas não tratadas no meio receptor.

O controlo em tempo real pode trazer muitas vantagens, como já foi demonstrado em vários casos de estudo em operação em várias partes do mundo, desde Barcelona

(Espanha) a Bangkok (Tailândia). No entanto, como cada cidade e cada local tem as suas características, é difícil comparar e equiparar sistemas de drenagem. Deste modo, a extrapolação dos resultados de um caso de estudo para outro deve ser encarada com prudência.

O objectivo desta comunicação é apresentar os tipos e/ou conceitos de gestão de efluentes urbanos podem ser aplicados às cidades de Lisboa e Maputo – Matola, locais com algumas características topográficas e problemas semelhantes, mas com sistemas de drenagem muito diferentes e com perspectivas de evolução também diferentes. Desta forma, será possível contribuir para trabalhos subsequentes que visem o melhoramento do desempenho dos mesmos. Referem-se algumas situações problemáticas nas duas cidades, possíveis soluções e dificuldades na sua implementação.

Maputo é uma cidade em rápida expansão, mas onde se nota um défice de planeamento urbano, agravado pela enorme carência de infraestruturas, nomeadamente no que concerne à drenagem pluvial. Na chamada “cidade de cimento”, tem-se assistido a uma grande perda de espaços verdes e a uma quase completa impermeabilização do solo urbano. Independentemente de considerandos sobre o valor urbanístico ou arquitectónico das soluções que se vão implantando, o que se constata é que estes novos desenvolvimentos não têm sido acompanhados do suficiente reforço das infraestruturas de drenagem pluvial, daí resultando um significativo aumento de cheias urbanas e dos impactos negativos de cada cheia.

Chama-se a atenção para a perda de património urbano por erosão que tem vindo a acontecer, devido principalmente à carência de infraestruturas de drenagem, sendo o exemplo mais ilustrativo o da destruição de parte importante de uma das principais vias da cidade de Maputo, a Avenida Julius Nyerere.

A outra questão grave tem a ver com a qualidade do efluente pluvial, em que apenas parte é conduzido para uma estação de tratamento, sendo o restante descarregado directamente no estuário do Espírito Santo, com impactos negativos quer em termos do ambiente estuarino quer em termos de utilização das praias de Maputo.

Lisboa é uma cidade que apresenta um sistema de drenagem consolidado, com uma rede de drenagem maioritariamente unitária, apresentando algumas zonas mais recentes servidas por sistemas separativos. Continuam actuais problemas associados a inundações, especialmente nas zonas baixas da cidade (Alcântara e Baixa) e tem ganho relevância aspectos relacionados com a preservação da qualidade do meio receptor (rio Tejo). Neste contexto, tem-se vindo a assistir a esforços de monitorização e implementação de sistemas integrados de controlo da poluição.

Palavras-chave: controlo em tempo real; gestão de águas pluviais; Lisboa; Maputo; meio urbano; monitorização.

1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DA DRENAGEM URBANA

Desde o aparecimento de núcleos urbanos de dimensões significativas até às cidades dos dias de hoje, a capacidade de lidar com o fenómeno natural da precipitação tem-se tornado num assunto cada vez mais premente em meio urbano, por razões técnicas e de evolução tecnológica que possibilitam a melhor compreensão do fenómeno e por razões económicas e sociais com relacionadas com a minimização de perdas materiais e humanas.

A construção dos sistemas de drenagem de águas pluviais regeu-se, ao longo de décadas, pela ideia que era necessário fazer desaparecer estes efluentes o mais rapidamente possível, de modo a reduzir o risco de inundações em áreas edificadas, provocadas por águas pluviais, bem como a proliferação de doenças, relacionada com o extravase de águas residuais transportadas em colectores unitários. Assim, numa altura em que havia poucas infraestruturas de drenagem e as pessoas não estavam alerta para os problemas decorrentes da contaminação das massas de água, pouca ou nenhuma importância era dada à degradação das mesmas.

Em Portugal, e em Lisboa em particular, tem havido um aumento da sensibilização da população em relação aos aspectos da qualidade da água, o que, juntamente com legislação europeia e nacional mais exigentes no que diz respeito à gestão da água e dos aspectos da qualidade, tem contribuído para uma melhoria generalizada e preservação da qualidade dos meios receptores, nomeadamente do principal meio receptor que é o rio Tejo. Sobretudo em países mais desenvolvidos, com áreas significativas cobertas por redes separativas, já se começam a tratar efluentes pluviais pois também estes podem apresentar concentrações significativas de cargas poluentes, especialmente no denominado *first flush*.

Ou seja, o paradigma da drenagem urbana sofreu uma alteração, de querer apenas eliminar a água sem critério, para querer eliminá-la de forma ambientalmente satisfatória.

O principal enquadramento legal actualmente em vigor compreende:

- Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia de 23 de Outubro de 2000 (Directiva Quadro da Água) - estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. Foi transposta para a ordem jurídica nacional através do Decreto-Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro.

- Directiva 91/271/CEE – Esta directiva, relativa ao tratamento das águas residuais urbanas, estabelece, de acordo com a dimensão do aglomerado populacional, um calendário para a construção das infraestruturas de tratamento, tendo sido transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei nº152/97.

- Directiva 98/83/CE – Relativa á qualidade da água para consumo humano, que foi transposta pelo Decreto-Lei nº243/2001. Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto - estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas, em função dos seus principais usos.

- Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto - estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, procedendo tendo por objectivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e desejavelmente equilibrada na sua composição. Vem no seguimento do Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano.

- Decreto-Lei n.º 152/97 – Tem como objectivo a protecção das águas superficiais e o meio ambiente dos efeitos das descargas de águas residuais, fazendo referência à recolha, tratamento e descargas de águas residuais urbanas no meio aquático. Conforme se trate de zonas sensíveis ou menos sensíveis, esta lei define os requisitos de tratamento das águas residuais urbanas. Este decreto-lei foi alterado pelo Decreto-Lei n.º 348/98 e pelo Decreto-Lei n.º 149/2004.

- Decreto-Regulamentar n.º 23/95 – Reporta-se a sistemas de drenagem pública de águas residuais.

No caso de Moçambique, e considerando o seu principal centro urbano, a preocupação com a qualidade da água de drenagem ainda não está na primeira linha das preocupações das autoridades municipais e dos cidadãos, considerando-se prioritária a construção e a manutenção de infraestruturas de drenagem para garantir a evacuação das águas pluviais e residuais de forma segura, evitando o agravamento dos problemas de erosão.

O principal dispositivo legal é o Decreto n.º 30/2003 que aprova o Regulamento dos sistemas públicos de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.

2. GESTÃO AVANÇADA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

2.1. INTRODUÇÃO

O aumento das áreas edificadas e zonas impermeabilizadas dos núcleos urbanos tem ampliado o risco de inundações durante eventos pluviosos, decorrente da menor capacidade de infiltração e transporte da água no subsolo. O aumento da produção de efluentes poluídos tem-se traduzido numa insuficiente capacidade de drenagem, provocando inundações e descargas directas de excedentes nos meios receptores e o aumento da actividade humana tem provocado uma poluição da superfície de bacias de drenagem e no arrastamento desses poluentes pelas escorrências pluviais para o meio receptor (Matos e Ferreira, 2006). Como se verifica, os impactos são diversos, quer ao nível ambiental, como também ao nível sócio-económico.

Ou seja, o problema pode resumir-se aos seguintes aspectos:

- i) Como retardar e reduzir o escoamento que se destina à estação de tratamento, de modo a que não ocorram descargas não tratadas?

- ii) Como minimizar o volume de água que se escoia superficialmente para que se reduzam as concentrações de poluentes das mesmas e para que se reduzam as inundações?

E como resposta a estas questões afiguram-se três alternativas principais:

- i) Aumentar a capacidade de armazenamento e de encaixe de água através da construção de reservatórios ou bacias de detenção (solução estrutural).
- ii) Efectuar um melhor controlo na origem através da introdução de redes separativas ou soluções “verdes” de promoção da infiltração e recarga do solo como pavimentos porosos.
- iii) Introduzir um controlo em tempo real como ferramenta de optimização da capacidade hidráulica e do funcionamento dos sistemas de drenagem existentes.

Da primeira alternativa decorre directamente que se armazena um maior volume no sistema de drenagem que depois pode ser gradualmente tratado, mantendo a estação de tratamento a funcionar a uma capacidade superior ao que seria o normal para um período não pluvioso. Todavia, há aspectos menos atractivos em soluções deste tipo como o investimento na construção das infraestruturas e em muitos casos a falta de espaço em meio urbano.

A segunda alternativa procura maximizar a capacidade existente no sistema em si, bem como introduzir órgãos como válvulas e comportas que permitem um maior controlo sobre escoamento, permitindo deste modo uma eficaz e eficiente distribuição no tempo do escoamento afluente e efluente. Naturalmente que aqui se inclui o aspecto da manutenção, como acção potenciada por um maior conhecimento da rede e do sistema em questão.

A tendência que se tem verificado actualmente nas cidades modernas é a associação de soluções estruturais à instalação de equipamentos para medição e controlo das condições de escoamento, modelação e gestão em tempo real, de forma a otimizar o respectivo desempenho, reduzir os riscos de inundação, de descargas directas de excedentes e de contaminação dos meios receptores.

2.2. O CONTROLO EM TEMPO REAL

O controlo em tempo real (RTC na nomenclatura anglo-saxónica, da expressão real time control), pode ser entendido como uma ferramenta de gestão dinâmica dos elementos constituintes de um dado sistema de drenagem, que pretende actuar nos mesmos com base numa monitorização e transmissão em tempo real, ou *quasi-real* (EPA, 2006).

Como se procurou evidenciar previamente, os aspectos da quantidade e qualidade da água estão profundamente interligados e por isso no plano da gestão de sistemas de drenagem tem ganho relevância a gestão integrada das componentes quantitativa e qualitativa do

escoamento nos três elementos principais que compõem um sistema genérico: rede de colectores, estações de tratamento e meios receptores.

Os sistemas de controlo em tempo real são, assim, constituídos por cadastros informatizados, sistemas de informação geográfica (SIG), redes e equipamentos de monitorização, modelos de simulação hidráulica e hidrológicos calibrados e regras em que o sistema de controlo se baseia.

Entre os principais objectivos distinguem-se: reduzir inundações, reduzir/gerir o consumo energético, evitar a acumulação excessiva de sedimentos na rede, gerir o escoamento em situações de perturbações planeadas e actuar o mais rápido possível em situações não planeadas e controlar o caudal afluente a estações de tratamento.

A actuação, automatizada ou não, de órgãos e dispositivos de controlo segue a sequência básica de sistema de controlo em tempo real, iniciando com a monitorização, através de um dado sensor, de um parâmetro desejado ou uma perturbação, a actuação do dispositivo de controlo que pode ser por exemplo uma comporta ou uma válvula e uma nova monitorização dos resultados provocados a jusante. O objectivo será, naturalmente, adequar os valores de certo parâmetro aos desejados ou corrigir perturbações surgidas de modo a regressar ao estado inicial.

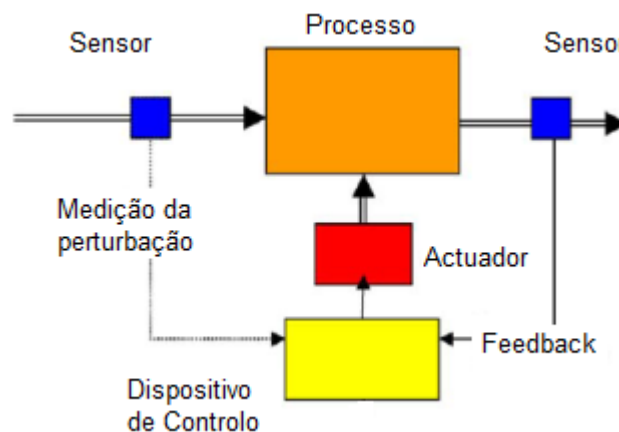


Figura 1 – Esquema genérico de um ciclo de controlo e actuação. Setas simples indicam o sentido de transmissão da informação, setas duplas indicam a direcção do escoamento (Schütze *et. al*, 2004).

Em síntese, um sistema controlado em tempo real ou *quasi-real*, com mais ou menos automatismos, desempenha as seguintes funções: i) recolha de informação sobre o estado actual do sistema; ii) comparação com o estado pretendido de funcionamento do sistema; iii) determinação dos campos a actuar nos dispositivos de controlo que tenderão a aproximar os resultados medidos dos desejados; iv) actuação de elementos como comportas, bombas, descarregadores.

2.3. MODELAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

A utilização de modelos de simulação constitui uma ferramenta particularmente útil na fase de projecto, na concepção ou reabilitação dos sistemas existentes, para diagnosticar o respectivo funcionamento. Revelam-se especialmente úteis para avaliar a capacidade dos sistemas existentes e testar soluções para resolver os problemas detectados. É também útil na fase de operação para testar diferentes formas de explorar os sistemas para situações tipo existentes ou que se perspectivem no futuro.

Num sistema de controlo em tempo real já com um grau de complexidade significativo, poderão estar integrados um modelo de previsão meteorológica, um modelo hidrológico de transformação da precipitação em escoamento e um modelo de propagação do escoamento na rede de colectores.

São diversos os modelos existentes de simulação, quer hidráulica, quer hidrológica, mas a sua abordagem não cabe no âmbito deste estudo. Em Hénonin *et. al.*(2010) apresenta-se uma análise do estado da arte no que diz respeito à modelação e modelos de previsão de cheias em meio urbano.

2.4. MONITORIZAÇÃO

Os sistemas de monitorização devem ser instalados em secções criteriosamente seleccionadas da rede de drenagem, com o intuito de recolher e armazenar, de forma contínua, informação referente ao funcionamento dinâmico do sistema. A informação recolhida pode ser posteriormente transmitida ao centro de controlo auxiliando a tomada de decisões de operação das diversas infraestruturas que integram o sistema (como o accionamento de comportas, válvulas e grupos electrobomba).

Ao nível da rede de colectores, os principais elementos monitorizados são alturas e velocidades do escoamento e concentrações de poluentes.

Como ferramentas utilizadas na medição da altura do escoamento destacam-se: i) os sensores de pressão que se baseiam no princípio da hidrostática e são especialmente úteis em secções onde possa ocorrer entrada em carga dos colectores ou inversão no sentido do escoamento, mas têm a desvantagem de serem instalados no fundo do colector onde tende a haver acumulação de sedimentos; ii) sensores ultrassónicos (representados na Figura 3.3) que medem a altura de escoamento, através do tempo de percurso entre a emissão de uma onda sonora de elevada frequência (gerada por um transdutor, ligado a uma unidade de controlo), e a recepção do eco no sensor, após ser reflectida pela superfície do líquido, sendo instalados na parte superior do colector e necessitando, por essa razão, de menor manutenção (Sebastião, 2005).

Para medição da velocidade do escoamento destacam-se: i) sensores por efeito de Doppler que são constituídos por um elemento transmissor que emite um sinal de frequência conhecida, sendo a velocidade do efluente obtida através da variação da frequência entre a emissão e captação das ondas, após as partículas em suspensão reflectirem parte das ondas emitidas (a frequência das ondas é alterada devido ao movimento das partículas que as reflectem – efeito de Doppler); ii) sensores electromagnéticos, que são sensores de elevada precisão na medição do valor da velocidade do escoamento, mas que têm a desvantagem de terem custos muito elevados em grandes diâmetros.

Alguns dos parâmetros medidos mais comuns, relacionados com a qualidade da água, são o pH, temperatura, oxigénio dissolvido, condutividade, potencial redox. Recentemente têm surgido estudos cujo objectivo é realizar, em laboratório, análises fotométricas de modo a determinar parâmetros de qualidade da água como CQO, SST e turbidez e investigar correlações entre parâmetros físicos e de qualidade.

O desempenho de sistemas controlados em tempo real depende em grande parte destes sensores, cuja precisão, versatilidade, resistência física e química ao desgaste têm de ser adequadas para a recolha contínua de informação e transmissão remota. Os ambientes em que se inserem tendem a ser especialmente agressivos ao nível da corrosão (H_2S , NH_3 , H_2SO_4), com elevada humidade e exposição a óleos, gorduras e resíduos, para além de que tenderão a ser locais de difícil acesso e confinados.

A medição da precipitação é feita através de postos udométricos e através de medições através de radares. Neste último caso, é necessário haver uma constante comparação e calibração das medições do radar e no solo. A incorporação de radares permite estimar com mais precisão a distribuição espacial da precipitação e prever a sua duração e intensidade. Este é um aspecto que distingue muitos sistemas, que deixam de ser apenas reactivos, passando a incorporar o aspecto da previsão.

De acordo com Hénonin *et. al.*(2010), os sistemas de previsão de cheias em tempo real podem ser agrupados em quatro grupos, de acordo com o tipo de informação de base que utilizam:

- a) Previsão baseada apenas em informação histórica de eventos pluviosos e cenários empíricos. Trata-se de um sistema relativamente simples no que concerne à tecnologia envolvida, em que o tratamento da informação disponível é a chave para a definição dos cenários, definidos com base em registos de eventos passados e no conhecimento da rede ou de serviços de emergência.
- b) Previsão baseada em informação sobre precipitação e cenários pré-simulados. Com base na informação recolhida, é associado um cenário e estes cenários baseiam-se em estudos realizados previamente, que envolvem recolha e tratamento de dados e simulações hidráulicas, permitindo antever situações problemáticas. É um sistema que necessita de ser revisto caso surjam alterações estruturais na rede ou alterações do seu funcionamento hidráulico.

- c) Previsão baseada em dados recolhidos em tempo real. Utiliza a previsão da precipitação como input de um modelo online do sistema de drenagem. Baseia-se na modelação em tempo real para prever o comportamento do escoamento. Usualmente envolve um modelo hidrológico integrado com um modelo hidráulico da rede. É um sistema que depende fortemente da qualidade da previsão meteorológica e da sua calibração, que em alguns casos pode ser mantida em contínuo, assegurando uma melhor previsão.
- d) Previsão com um feedback para os controladores do sistema de drenagem. Para além dos aspectos mencionados no ponto anterior, este tipo de sistema compreende um controlo automático e remoto de dispositivos existentes na rede de drenagem, baseado na previsão do modelo. Sensores e transmissão remota são fundamentais e naturalmente que esta representa uma situação de uma complexidade significativa.

2.5. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE GESTÃO AVANÇADA EM SISTEMAS DE DRENAGEM EUROPEUS

Em Amorim (2008) compilam-se alguns exemplos de aplicação de gestão avançada em sistemas de drenagem, nomeadamente em Barcelona, Berlim, Viena e Bordéus. Complementam-se estes casos de estudo com os seguintes:

Paris (1996)

A contaminação do rio Sena foi um problema abordado em 1996, procurando-se introduzir um sistema de controlo em tempo real na zona de Boulogne Billancourt, no âmbito do projecto europeu Sprint226. Esta foi a zona escolhida pois a rede era bem conhecida, havia bastantes pontos de medição na rede ligados a um sistema SCADA (System of Control and Data Acquisition) que recolhe informação de várias fontes, havia algumas estruturas de controlo do caudal como comportas móveis e para intensidades de precipitação normais a rede aparentava ter alguma capacidade de armazenamento não utilizada.

O sistema de controlo em tempo real assentou em cinco elementos principais: estruturas de controlo e pontos de monitorização da rede de colectores, sistema SCADA, sistema de previsão de precipitação através de imagens de radar, modelo MOUSE (MOdelling Urban SEwers) online e interface com o utilizador.

O modelo MOUSE permite prever o impacto da precipitação na rede de colectores, uma vez que o escoamento demora aproximadamente trinta minutos até atingir os descarregadores de tempestade existentes. Também permite verificar se os pontos de controlo indicam resultados convergentes com os objectivos definidos e alterá-los. O radar utilizado para previsão da precipitação baseia-se na interpretação de imagens de radar do Serviço Meteorológico Nacional acrescentado até uma hora no horizonte de previsão do MOUSE. Os pontos de medição e monitorização como postos udométricos e medidores de caudal e níveis de água são elementos indispensáveis ao funcionamento em tempo real. O

sistema SCADA permite gerir (receber e transferir) a informação entre os vários componentes do sistema de controlo em tempo real.

Os resultados apresentados na Figura 2 demonstram simultaneamente uma menor frequência de descargas de excedentes (designados vulgarmente por overflows) e uma redução significativa dos volumes descarregados sem tratamento no rio.

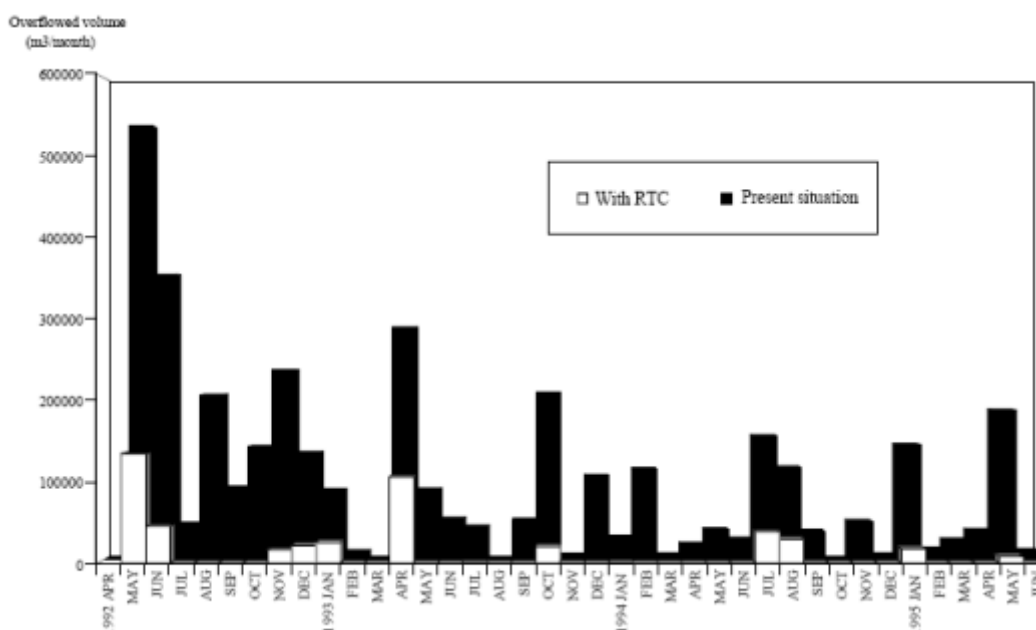


Figura 2 – Volumes descarregados no rio Sena. Resultados da simulação comparando a situação actual (preto) e a situação com o sistema de controlo em tempo real (branco) (Kopečný *et. al.*, 1996).

Strandvaenge, Copenhaga (1995)

Em Copenhaga foi estudada a zona urbana de Strandvaenge (Broks *et. al.*, 1995), com cerca de 91 mil habitantes e uma área de 365 há, dotada de um sistema unitário. O objectivo foi comparar o potencial de redução de descargas de excedentes (denominados neste caso CSO de combined sewer overflows) em duas situações: aumento da capacidade de armazenamento de água (UC) e introdução de um sistema de controlo em tempo real conjugado com o anterior (RBC).

Na Figura 3, cal-0 indica a situação actual e cal-i (i=1,2,...,6) representam os cenários testados. Para cada um, é possível verificar a redução de descargas de excedentes em função do aumento da capacidade de armazenamento da capacidade de armazenamento.

Os resultados obtidos demonstram que sem a introdução do sistema de controlo em tempo real, a capacidade de armazenamento adicional que é necessário introduzir para conseguir atingir a mesma percentagem de redução de descargas é considerável. Esta diferença vai sendo atenuada à medida que se atingem valores cada vez maiores de armazenamento.

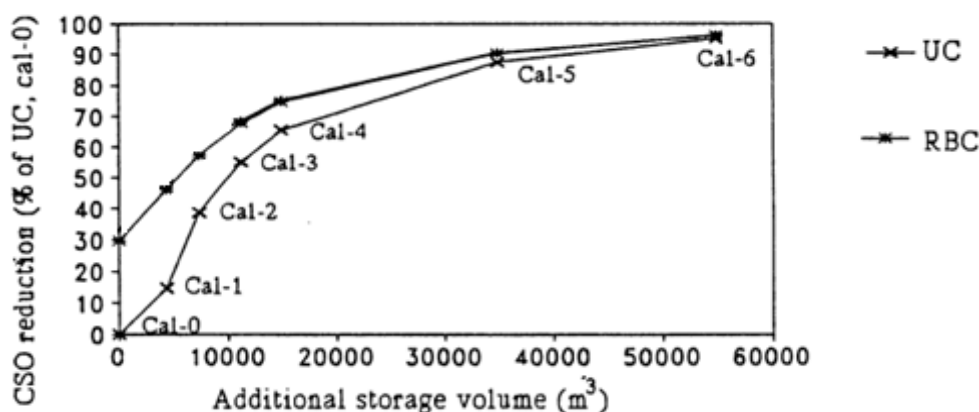


Figura 3 – Descargas de excedentes (CSO) em função do aumento da capacidade de armazenamento. UC: aumento da capacidade de armazenamento, RBC: controlo em tempo real conjugado com aumento da capacidade de armazenamento (Broks *et. al.*, 1995).

Nîmes, França (2005)

Nîmes é uma cidade com 150 mil habitantes no sul de França. Tal como muitas outras cidades próximas do Mediterrâneo em Espanha e Itália, está sujeita a precipitações intensas no Outono e Inverno. O terreno cársico, elevados declives e elevada densidade populacional são factores que agravam o risco de inundações na cidade. Algumas das inundações mais recentes e mais violentas ocorreram em 1988, 2002 e 2005. Em Outubro de 1988 houve 45 mil afectados e danos superiores a 600 milhões de Euros. Mais de 14 milhões de metros cúbicos escoaram através da zona urbana, o que equivale ao caudal do rio Sena em alguns locais.

Desde então foi implementado um plano de gestão de cheias ESPADA (Evaluation et Suivi des Pluies en Agglomération pour Devancer l'Alerte) que inclui um sistema de previsão e alerta. O esquema geral é o que se apresenta na Figura 4.



Figura 4 – Sistema ESPADA implementao em Nîmes (Raymond *et al.*, 2007).

3. O CASO DA CIDADE DE LISBOA

3.1. ASPECTOS GERAIS

Lisboa é uma cidade que apresenta um sistema de drenagem consolidado, muito diversificado e complexo, com uma rede de drenagem maioritariamente unitária. O sistema dispõe de descarregadores e interceptores, destinados a desviar os efluentes domésticos das redes unitárias e conduzi-los para o sistema em “alta” (afluente às estações de tratamento de águas residuais), assim como de diversas instalações elevatórias, nomeadamente sifões invertidos e válvulas de maré. Adicionalmente, as seguintes características contribuem para a complexidade do sistema de drenagem:

- a existência de zonas separativas e pseudo-separativas intercaladas em zonas unitárias – as águas residuais domésticas e pluviais das redes separativas voltam a ser recolhidas, a jusante, por redes unitárias;
- a existência de redes ramificadas, redes malhadas, e redes pseudo-malhadas, ou seja, redes que se fecham em malha, do ponto de vista do traçado em planta, mas em que os colectores, nos nós, apresentam cotas distintas, ou seja, para caudais até certo limite, o sistema comporta-se como ramificado; a partir desse limite, o sistema passa a comportar-se como malhado;
- a influência da maré, nas zonas ribeirinhas;
- a existência de colectores de idades muito distintas, de tipos de secção muito diversas e de diferentes materiais (alvenaria de pedra, tijoleira, betão, PVC, PEAD), com ligações e intersecções que dificultam a clara compreensão do funcionamento integrado das redes;
- a existência de descarregadores de tempestade ou de alívio, a montante de infraestruturas especiais, como instalações elevatórias.

As inundações relativamente frequentes, especialmente nas zonas baixas da cidade (*e.g.*, Alcântara e Praça da Figueira), ainda não se encontram resolvidas, e têm ganho relevância aspectos relacionados com a preservação da qualidade do meio receptor (estuário do rio Tejo), através do controlo das descargas de excedentes (“overflows”). Neste contexto, têm sido desenvolvidos diversos estudos no sentido de se dispor de uma estratégia de actuação e evolução em termos de planeamento, projecto, construção e exploração das infraestruturas da cidade, destinada à mitigação dos riscos de inundação e da contaminação do estuário do rio Tejo, com custos mínimos, em termos económicos, sociais e ambientais.

O Plano Geral de Drenagem da cidade de Lisboa (ENGIDRO, HIDRA e Chiron, 2006 a), b), 2007) desenvolveu-se nas seguintes seis fases:

- *Fase A* – Análise de informação de base;
- *Fase B* – Diagnóstico e desempenho do sistema;
- *Fase C* – Desenvolvimento do Plano Geral de Drenagem;
- *Fase D* – Desenvolvimento da Solução;
- *Fase E* – Implementação do Sistema de Apoio à Decisão;
- *Fase F* – Transferência de ferramentas e know-how.

3.2. O PLANO GERAL DE DRENAGEM

Entre as soluções preconizadas pelo Plano Geral de Drenagem, para além da beneficiação, reabilitação e aumento da capacidade das infraestruturas, destacam-se as seguintes:

- A separação tendencial, em algumas zonas da cidade, de águas residuais pluviais e águas domésticas, com as primeiras, se possível, a ser desviadas para dispositivos de reserva e infiltração - soluções de controlo na origem (zonas de Olivais e Monsanto, por exemplo).
- A construção de reservas que atenuem os valores de caudal de ponta e riscos de inundações frequentes, ou evitem a descarga de águas "unitárias" poluídas e contaminadas para o meio receptor, por ocasião de precipitações frequentes (reservatórios "Benfica-Campolide" e das "Avenidas Novas", por exemplo).
- A utilização de equipamentos automáticos e semi-automáticos (válvulas e adufas motorizadas), de forma a controlar-se o caudal descarregado pela rede "em alta", aproveitando-se ao máximo as potencialidades de reserva do sistema.
- A gestão dos sistemas de tratamento nomeadamente a ETAR de Alcântara, tendo em atenção a afluência de elevados caudais, em tempo de chuva.
- A monitorização de alturas de escoamento e caudais, em secções estratégicas do sistema, por forma a acompanhar a evolução dos eventos e possibilitar a gestão mais racional das infraestruturas.

Na Figura 5 apresenta-se um exemplo da aplicação de pavimentos porosos (uma solução de controlo na origem) na doca de Alcântara.



Figura 5 – Vista de pavimentos porosos na doca de Alcântara (adaptada de Ferreira, 2000).

Para além do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, que inclui um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), estão a ser concebidas diversas ferramentas articuladas numa lógica de "visão" da cidade de Lisboa do século XXI. Atendendo à complexidade do sistema, com influência de jusante (por efeito de maré), as abordagens convencionais de análise hidráulica em regime uniforme não são em geral as mais adequadas, sendo necessário recorrer à simulação dinâmica do desempenho das infraestruturas.

3.3. ESTUDO DA SIMULAÇÃO HIDRÁULICA NA BAIXA DE ALCÂNTARA

A zona baixa de Alcântara, nomeadamente o Largo das Fontainhas, apresenta um elevado risco de inundações pelos seguintes factores principais:

- Encontra-se a jusante de uma grande bacia hidrográfica, próximo da secção terminal da bacia hidrográfica de Alcântara.
- Desenvolve-se a jusante de uma bacia com crescente grau de impermeabilização, situando-se numa zona muito baixa, com cotas pouco acima (menos de 1m) do nível máximo da água do mar (preia-mar de águas vivas), sob influência da maré.

O Largo das Fontainhas é uma das zonas mais baixas da cidade de Lisboa, e integra-se na bacia de drenagem Algés-Alcântara, afluente à ETAR de Alcântara (que serve uma área superior a 32 Km²). O Largo das Fontainhas localiza-se na sub-bacia D16, em conformidade com a Figura 6.

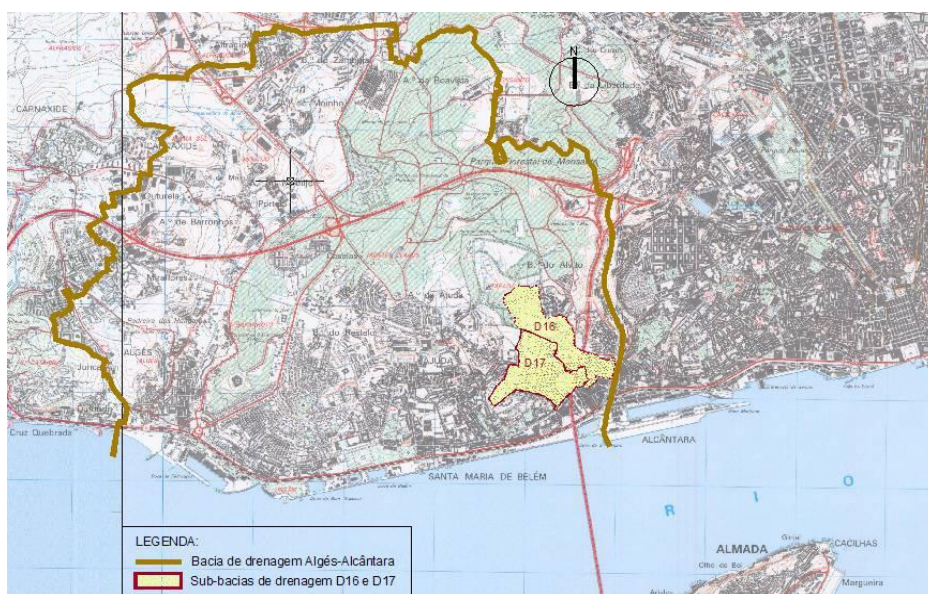


Figura 6 – Bacia de drenagem Algés-Alcântara, afluente à ETAR de Alcântara (adaptada de Ferreira, 2006).

A 18 de Fevereiro de 2008 ocorreram inundações na zona baixa de Alcântara, que tiveram origem num evento de precipitação de intensidade significativa (registaram-se, no local, intensidades de precipitação máximas de 120 mm/h). Acredita-se que essa precipitação representa, para várias durações, um período de retorno não inferior a cinco anos.

Estas inundações (a que se referem a Figura 7 e a Figura 8) deveram-se ainda à incapacidade do sistema de colectores públicos em drenar os caudais afluentes: no caso do Caneiro de Alcântara se escoar sob pressão, o Largo das Fontainhas pode inundar, provocando incómodos na zona e riscos para as edificações.



Figura 7 – Imagem das cheias de Fevereiro de 2008 (retirada de D.N. de 19/02/08).



Figura 8 – Vista das inundações da zona baixa de Alcântara em 18 de Fevereiro de 2008, junto do empreendimento do Alcântara – Rio (cortesia da CARRIS).

As inundações de Fevereiro de 2008 tiveram consequências materiais significativas na zona de Alcântara, nomeadamente com afluências de caudais às caves do empreendimento Alcântara-Rio, destinadas a estacionamento de viaturas. No dia 18 de Fevereiro de 2008, foi retirado da Cave -2 do edifício um volume de água da ordem de $15\,000\text{ m}^3$, correspondente a uma altura de água de cerca de 1,5 m.

No âmbito da elaboração de um Parecer Técnico, foi realizado um estudo sobre o risco de inundações no empreendimento Alcântara-Rio (HIDRA, 2008), recorrendo ao modelo dinâmico MOUSE, desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute (DHI), da Dinamarca, que se aplicou à rede de drenagem local. No âmbito da simulação foi considerado o evento de precipitação de Janeiro de 2008, tal como registado pelos udómetros, e a evolução de altura da maré nesse dia.

Na Figura 9 apresenta-se a planta da rede modelada. A Figura 10 diz respeito às alturas de inundações obtidas pelo modelo dinâmico, para o evento de precipitação de 18/02/2008. Na Figura 11 apresenta-se a evolução das alturas de água ao longo do trecho principal da rede.

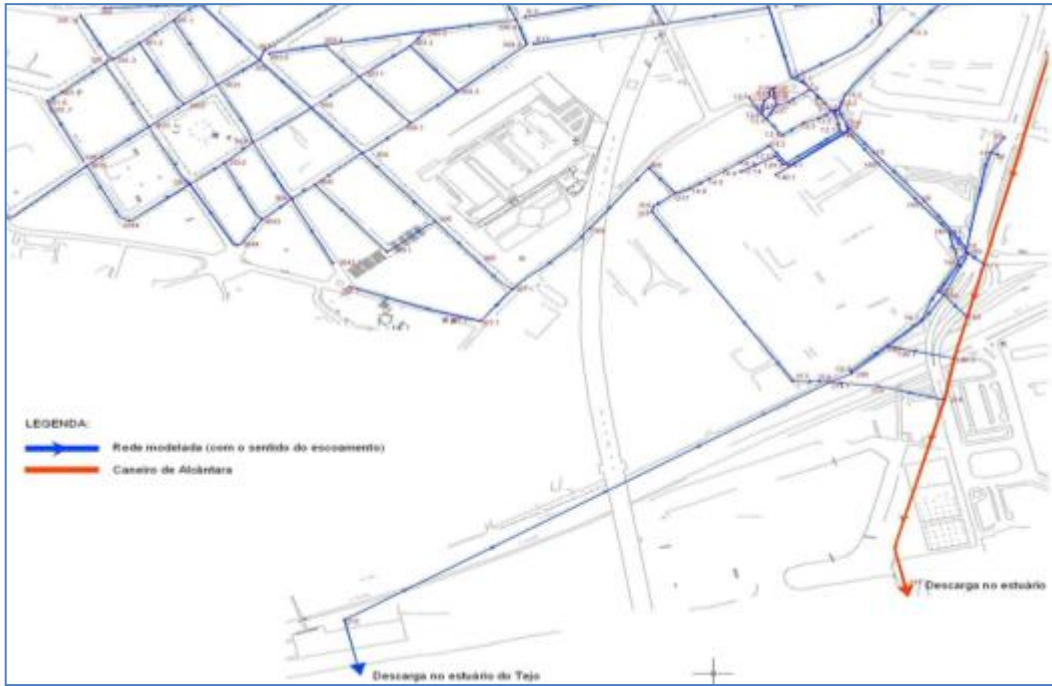


Figura 9 – Planta da rede modelada (zona oeste da bacia de Alcântara).

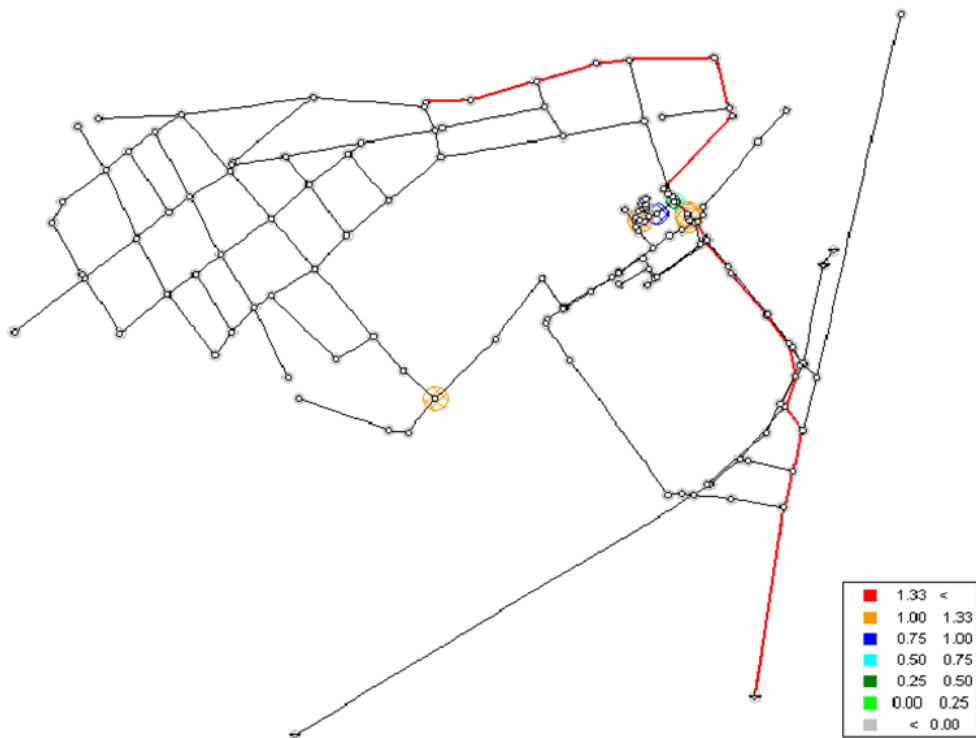


Figura 10 – Resultados mais desfavoráveis da simulação para a precipitação registada no dia 18/02/08, com representação do trecho principal a vermelho (zona oeste da bacia de Alcântara).

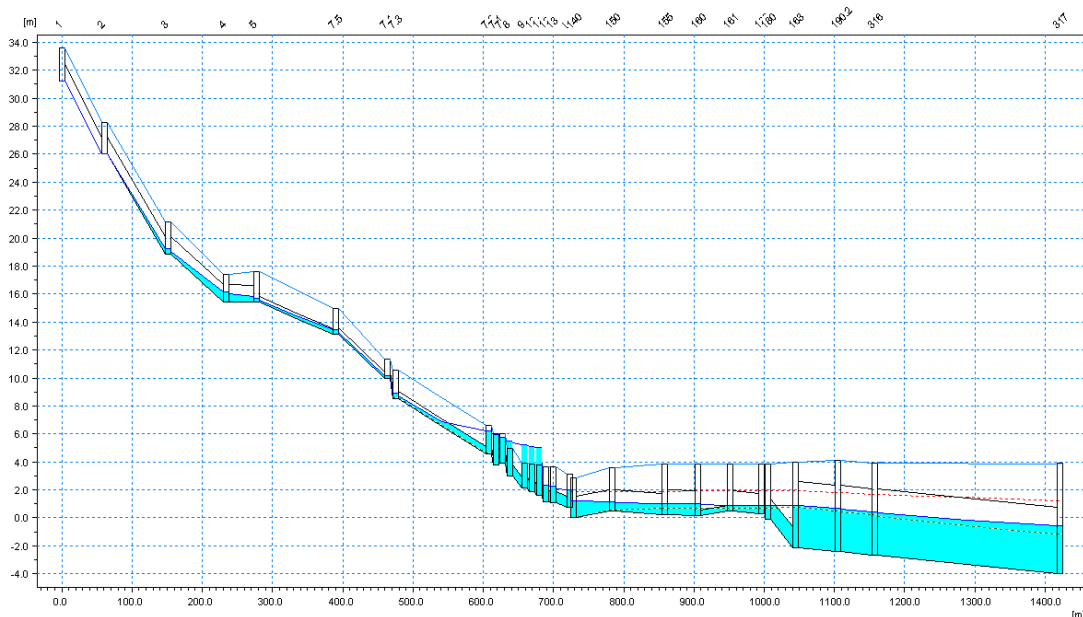


Figura 11 – Perfil longitudinal do troço principal e alturas máximas de escoamento para a precipitação do dia 18/02/08.

De acordo com os resultados da simulação dinâmica do comportamento do sistema de drenagem, confirmados pela realidade, verificam-se inundações no largo das Fontainhas, para o evento pluviométrico em análise com alturas de água sob o pavimento, junto ao largo, da ordem de 1,3 m.

4. O CASO DA CIDADE DE MAPUTO

4.1. ASPECTOS GERAIS

Maputo é uma cidade em rápida expansão, mas onde se nota um défice de planeamento urbano, agravado pela enorme carência de infraestruturas, nomeadamente no que concerne à drenagem pluvial. Na chamada “cidade de cimento”, tem-se assistido a uma grande perda de espaços verdes e a uma quase completa impermeabilização do solo urbano. Independentemente de considerandos sobre o valor urbanístico ou arquitectónico das soluções que se vão implantando, o que se constata é que estes novos desenvolvimentos não têm sido acompanhados do suficiente reforço das infraestruturas de drenagem pluvial, daí resultando um significativo aumento de cheias urbanas e dos impactos negativos de cada cheia.

Tem-se vindo a perder património urbano por erosão, devido principalmente à carência de infraestruturas de drenagem, sendo o exemplo mais ilustrativo o da destruição de parte importante de uma das principais vias da cidade de Maputo, a Avenida Julius Nyerere.

A cidade de Maputo ocupa uma zona em reentrância com o mar e com a baía de Maputo, que são os seus limites a Este e a Sul respectivamente, sendo o limite a Oeste o rio Infulene.

A cidade cresceu a partir da ocupação de uma faixa de cotas baixas junto à baía, zona que era pantanosa e atravessada por linhas de água que nasciam da base das encostas, passando a partir de fins do século XIX a expandir-se para um planalto com cotas de 20 a 35 m de altitude. A zona mais moderna desenvolveu-se sobre este planalto.

O planalto desce suavemente, do lado Oeste, em direcção ao rio Infulene, enquanto os declives são acentuados nas direcções Este e Sul, chegando a ultrapassar 10%, suavizando-se à medida que se caminha para norte.

Entre o planalto e o mar ou a baía, desenvolve-se uma faixa de cotas relativamente baixas de 1 a 5 m acima do nível do mar. Na zona baixa da cidade, foi construído um sistema de drenagem por gravidade que descarrega no estuário, atravessando a zona do porto de Maputo a uma cota inferior à da maré alta, pelo que essa zona fica habitualmente inundada por algumas horas quando um evento pluvioso coincide com a maré alta.

A zona alta dispõe, desde o período colonial, de uma rede de colectores que, por gravidade, drenava para o mar e para a baía, por meio de descarregadores de superfície ou de condutas de grande diâmetro ao longo da encosta. Muitos destes sistemas funcionavam como mistos, pois fazia-se a ligação dos drenos, depois da depuração das águas residuais em fossas sépticas. No interior da zona mais alta, existem depressões que acumulam água quase todo o ano, sendo a maior delas conhecida como “zona das lagoas”.



Figura 12 – Inundação na Baixa de Maputo, uma situação que se repete todos os anos

4.2. O PLANO GERAL DE DRENAGEM E SUA IMPLEMENTAÇÃO

No início dos anos 70 do século passado, a empresa portuguesa Hidroprojecto elaborou um plano geral de saneamento que não chegou a ser executado. Depois da grande cheia urbana de 1976, este plano foi revisto em 1980 pela empresa holandesa DHV, dando-se prioridade à drenagem pluvial. O plano contemplava a construção de um sistema prioritário, com uma linha principal de drenagem em direcção ao rio Infulene, servindo a zona das lagoas.. Para o que era na altura o limite da cidade, foram concebidos sistemas de drenagem dirigidos para o rio Infulene e ainda para o mar e para o estuário. Parte importante do sistema planeado foi construída entre 1983 e 1989.

As obras de arte foram dimensionadas para precipitações com um período de retorno de 10 anos, tendo as outras componentes do sistema sido dimensionadas para períodos de retorno inferiores. O colector principal em direcção ao rio Infulene foi projectado em vala aberta revestida, porque os caudais eram muito elevados, de $64 \text{ m}^3/\text{s}$ na sua parte final, e também porque, por atravessar uma zona pouco urbanizada, se esperava um grande volume de sedimentos, sendo a solução em vala aberta a de mais fácil manutenção. O problema de espaço para a vala aberta não era condicionante.

O sistema secundário era constituído por valas abertas e colectores fechados. Utilizaram-se depressões naturais para construir bacias de retenção revestidas, para diminuir os caudais de ponta.

Para diminuir os custos de investimento, foi utilizada a capacidade de escoamento das estradas, dotadas de grelhas transversais para captar as águas pluviais. Nas zonas pouco urbanizadas, a solução adoptada foi a construção de sistemas abertos, que, de forma evolutiva, passariam a fechados, à medida que a urbanização avançasse, libertando espaço para outras infraestruturas. O plano incluía sugestões em relação ao traçado de estradas e sistemas de drenagem pluvial em zonas de declive acentuado, que, infelizmente, não foram seguidas.

Com o crescimento da população local, nas décadas de 1980 e 1990, causado principalmene pelo afluxo de pessoas do campo que fugiam da guerra, as zonas mais difíceis de drenar e até as bacias de retenção foram sendo ocupadas por habitações. Por outro lado, também as encostas, por vezes íngremes, foram ocupadas, com o conseqüente corte de vegetação nativa, e, por vezes, com plantio de milho. Este último fenómeno facilitou a erosão progressiva em diversas zonas das encostas.

Em Janeiro e Fevereiro de 2000, ocorreram precipitações intensas horas que resultaram na abertura de ravinas profundas em encostas, fruto da urbanização inadequada, ausência de sistema de drenagem e ocupação desordenada de encostas íngremes.



Figura 13 – Ravina profunda na Av. Julius Nyerere, surgida no ano 2000

O Governo, com a ajuda de parceiros, conseguiu estancar a situação, com medidas de emergência. O bairro da Polana-Caniço, que estava em risco de destruição, foi protegido e as suas estradas principais foram reconstruídas.



Figura 14 – Protecção da encosta na Polana-Caniço, após erosão no ano 2000

A situação de falta de infraestruturas é agravada pela incapacidade do município de Maputo de garantir uma adequada limpeza e manutenção das valas e dos colectores existentes.

Continuam a ser feitas pequenas intervenções na cidade e em alguns bairros dos subúrbios. No entanto, passados mais de dez anos, a avenida Julius Nyerere continua cortada ao trânsito num extenso troço, afectando de forma significativa o tráfego de entrada e saída da cidade.



Figura 15 – Falta de limpeza afecta o funcionamento das infraestruturas

Outra questão grave tem a ver com a qualidade do efluente pluvial, em que apenas parte é conduzido para uma estação de tratamento, sendo o restante descarregado directamente no estuário, com impactos negativos quer em termos do ambiente estuarino quer em termos de utilização das praias de Maputo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades são servidas por conjuntos de infraestruturas, nomeadamente de abastecimento de água, de drenagem, de transportes, de energia e de comunicação de dados, que asseguram o bem-estar e o desenvolvimento equilibrado das comunidades.

Em particular no que respeita à drenagem de águas pluviais, essas infraestruturas estão sujeitas a solicitações diversas, que resultam em grande parte da consolidação de áreas impermeabilizadas e de expansão contínua dos aglomerados, entre outras. A necessidade de controlar os riscos de mau desempenho dessas infraestruturas passa pela integração de diversas abordagens: de controlo na origem de águas pluviais, de controlo de caudais descarregados, recorrendo a reservas, e de controlo em tempo real. Para assegurar o sucesso das intervenções planeadas, há que simular o comportamento do sistema para diversos cenários, e, face aos resultados, assumir as opções compatíveis com o desenvolvimento sustentado dos sistemas.

No caso de Lisboa, já se iniciou a instalação de sensores (medidores de alturas e velocidades) e a calibração e validação de modelos, por forma a que, no futuro, se possa evoluir para uma gestão mais avançada e moderna das infraestruturas.

No caso de Maputo, a cidade continua, em geral, a assistir a uma densificação de construções, não acompanhada pelo melhoramento dos sistemas de drenagem pluvial. Os problemas vão certamente continuar a agravar-se até que seja posto um ponto final na ocupação desordenada do solo urbano, se invista fortemente nas infraestruturas e se crie uma estrutura com adequada capacidade técnica e financeira para a respectiva manutenção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim J. (2008) – Modelação e gestão avançada de sistemas de drenagem urbana. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Broks K., Geenen A. & Nelen F. (1995) – The potential of real time control to reduce combined sewer overflow. *Nordic Hydrology* (26), p.223-236.
- ENGIDRO, HIDRA e Chiron (2006 a)) - Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Relatório Fase A: Recolha e Organização de Elementos Base. EMARLIS, Junho 2006.
- ENGIDRO, HIDRA e Chiron (2006 b)) - Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Relatório Fase B: Diagnóstico de Desempenho do Sistema. EMARLIS, Outubro 2006.
- ENGIDRO, HIDRA e Chiron (2007) Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Relatório Fase C: Desenvolvimento do Plano Geral de Drenagem. EMARLIS, Junho 2007.
- EPA (2006) - Real Time Control of Urban Drainage Networks
- Ferreira F. (2000) - Gestão Integrada de Água Pluvial em Meio Urbano: Estratégias para o Controlo de Excedentes de Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Unitários e Pseudo separativos. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL. Lisboa.
- Ferreira F. (2006) – Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais. Tese de Doutoramento. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, UNL. Lisboa.
- Hénonin J., Russo B., Roqueta., Diezema R., Domingo N., Thomsen F. & Mark O. (2010) – Urban flood real-time forecasting and modelling: a state-of-the-art review. MIKE by DHI Conference – Copenhagen 6-8 September 2010.
- HIDRA (2008) - Avaliação do Empreendimento Alcântara-Rio no que respeita ao risco de inundações. Parecer Técnico desenvolvido para o Condomínio Alcântara-Rio. Lisboa, Setembro de 2008.
- Kopecny E., Entem S., Lahoud A., Moeller A., Yde L. & Soulier M. (1996) – Real time control of the sewer system of Boulogne Billancourt: a contribution to improving the water quality of the Seine.
- Matos J., Ferreira F. (2006) – Gestão e Beneficiação de Sistemas de Águas Residuais – Conferência Nacional da Água, Tagus Park, Lisboa.
- Raymond M., Peyron N., Bahl M., Martin A. & Alfonsi F. (2007) – ESPADA: an innovative tool for real-time urban flood management. Novatech 2007, Lyon, France.
- Schütze M., Campisano A., Colas H., Schilling W. & Vanrolleghem P. (2004) – Real time control of urban wastewater systems – where do we stand today?. *Journal of Hydrology* 299, p. 335-348.
- Sebastião A., (2005) – Monitorização e Gestão Avançada de Sistemas de Drenagem Urbana – Trabalho final de curso. Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.