

GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NUM EDIFÍCIO Stormwater Management in a Building

PAULO MONTEIRO ⁽¹⁾, TIAGO JOSÉ E SILVA ⁽²⁾; DANIEL MELO E SILVA ⁽³⁾ e ANA CRISTINA PADILHA ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ *Professor Auxiliar, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, psm@fe.up.pt*

⁽²⁾ *Mestre em Engenharia do Ambiente, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, tiagojose25@gmail.com*

⁽³⁾ *Mestre em Engenharia do Ambiente, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, daniel.melo1@gmail.com*

⁽⁴⁾ *Mestre em Engenharia do Ambiente, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, acristina24@gmail.com*

Resumo

Os actuais sistemas de certificação ambiental dão uma particular importância a questões relacionadas com a crescente pressão urbanística, tentando corrigir desequilíbrios pela consideração de um conjunto de áreas temáticas chave, que atendem aos diversos impactes ambientais envolvidos. O sistema de certificação utilizado - LEED - classifica os edifícios de acordo com o nível de cumprimento dos requisitos impostos, aferindo o seu nível de eficiência ambiental.

Além do desenvolvimento deste procedimento, propõe-se, ainda, uma medida de gestão das águas pluviais que visa cumprir com o imposto na área da gestão das mesmas, envolvendo numa simulação da aplicação a uma cobertura vegetal. Para tal recorreu-se a modelos hidrológicos do NRCS, na modelação de um evento extremo de precipitação.

O procedimento aplicado permitiu, então, determinar os respectivos caudais e volumes escoados de um edifício, para um conjunto de cenários. Obtiveram-se como resultados as respectivas reduções de caudal e volume, para os diferentes cenários de condições de área de implantação e tipos de cobertura do edifício.

Palavras-chave: Sistemas de Certificação Ambiental; Leadership in Energy and Environmental Design (LEED); modelação hidrológica; Natural Resources Conservation Service (NRCS).

Abstract

The present environmental certification systems take in to consideration issues related to the growing urban pressures, and aim towards the mitigation of such impacts, considering, for that, a set of key areas that are allusive to the different environmental impacts of a building. The environmental certification system used - LEED - classifies a building through a point gathering system, delivering a classification that reflects the buildings' environmental performance, and its level of compliance in the different key areas.

Besides the development of a procedure, it is proposed a stormwater management measure in order to comply with the requirements of the related standard of the certification system, involving a simulation of a green roof appliance. For this purpose, NRCS hydrologic models were used, for modeling an extreme precipitation event.

The procedure used allowed the determination of the peak flow rates and volumes of the runoff from a building for a set of scenarios. As result, the procedure delivered the reduction in the flow rate and volume of runoff for the different site scenarios and types of green roofs.

Keywords: Environmental Certification Systems; Leadership in Energy and Environmental Design (LEED); hydrologic modeling; Natural Resources Conservation Service (NRCS).

1. Introdução

As construções representam uma das principais actividades humanas, vindo estas ultimamente a desafiar a dimensão sustentável das actuais sociedades modernas.

Estas actividades têm acompanhado o crescimento das populações, bem como o seu desenvolvimento, nomeadamente através do aumento do nível de vida *per capita* e da maior capacidade destas em mobilizar recursos. Tais acções estão inerentes a consequentes impactes ambientais.

Um dos principais desafios da sociedade actual incorre em estabelecer planos de actividades que minimizem tais impactes, indo de encontro a uma maior sustentabilidade das mesmas.

As actividades humanas exigem o suporte material e energético, levando a uma intervenção física nos locais, fomentando pressões sobre os recursos, e o território, com impactes, quer a nível do ambiente natural, quer do construído, com repercussões relevantes em termos da sustentabilidade destes (Pinheiro, 2006).

A crescente preocupação e regulamentação ambiental, aliada à crescente importância e pressão da opinião pública, colocam, progressivamente, a questão do desempenho ambiental na agenda da construção de edifícios e na sua relação com o espaço envolvente.

O conceito de desenvolvimento sustentável deve, assim, ser intrínseco à dinâmica da edificação, compreendendo aspectos ambientais, sociais e económicos. O equilíbrio deve ser almejado pelo incremento da eficiência, reduzindo a excessiva procura de recursos, e gastos energéticos, valorizando assim a dimensão ambiental.

A consideração dos impactes potenciais e reais associados ao ambiente construído é de grande importância, sobretudo na fase de ante-projecto, em que estes podem ainda ser mitigados, minimizados ou mesmo eliminados. Desta forma, a dimensão ambiental vai ganhando uma importância crescente, para além dos meros requisitos legais, posicionando-se muitas vezes, ainda que de forma não preponderante em termos de mercado.

Com o intuito de avaliar estes impactes e propor medidas que os reduzam, têm surgido diversas abordagens e sistemas de avaliação do desempenho ambiental e energético de edifícios, bem como medidas de apoio à implementação de práticas, e soluções mais sustentáveis, as quais têm vindo a ser progressivamente adoptadas.

No sentido de dar resposta a estas necessidades de avaliação e certificação ambiental de edifícios, vários países têm vindo a desenvolver sistemas próprios. No presente trabalho foi abordado o sistema de certificação ambiental LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*. Este sistema foi desenvolvido nos Estados Unidos, pelo United States Green Building Council (USGBC), em 1998. O USGBC tem como objectivo a promoção de edifícios ambientalmente sustentáveis.

A aplicação do LEED pretende avaliar o desempenho ambiental de um edifício como um todo, considerando o seu ciclo de vida. Desta forma, e para o presente trabalho, foi dada especial atenção aos créditos que constituem a área temática designada por "*Sustainable Sites*", entre os quais se destaca o referente à Gestão das Águas Pluviais ("*Stormwater Design*"), no que se refere ao controlo da quantidade de escoamento superficial ("*Quantity Control*").

Assim, no que respeita à gestão da quantidade de escoamento superficial gerado num edifício decorrente de um acontecimento de precipitação, existem algumas abordagens possíveis em termos de modelação hidrológica. Neste trabalho irá ser explorada a possibilidade de aplicação dos modelos de perdas e do hidrograma unitário desenvolvidos pelo *Natural Resource Conservation Service* (NRCS).

2. Objectivos

O principal objectivo deste trabalho passa pela definição de um procedimento expedito que permita uma gestão das águas pluviais ao nível de um edifício, tendo este como última finalidade a obtenção de um conjunto de pontos associados a diversos créditos que constituem o sistema de certificação ambiental norte-americano LEED.

O edifício considerado corresponde a uma torre de escritórios inserida num parque industrial de uma multinacional na área da distribuição, sendo o local onde este novo edifício fora erguido, um parque de camionagem de acesso a um dos armazéns do referido parque.

Assim sendo, irá ser modelado o comportamento hidráulico de uma cobertura vegetal, no que respeita à sua influência nos caudais e volumes gerados face a um evento de precipitação extremo.

Na abordagem ao edifício considerou-se o tempo de concentração do edifício, para além da duração apresentada no sistema de certificação. Para tal, distinguiram-se diversas hipóteses de modelação. A Figura 1 resume as diferentes abordagens levadas a cabo no presente trabalho, no qual se ensaiaram diferentes tipos de coberturas para o edifício, assumindo que seria possível a escolha das espécies a plantar numa cobertura ecológica.

Estas hipóteses foram colocadas *a priori* na eventualidade de não serem cumpridos, à partida, os objectivos propostos pelo sistema de certificação.

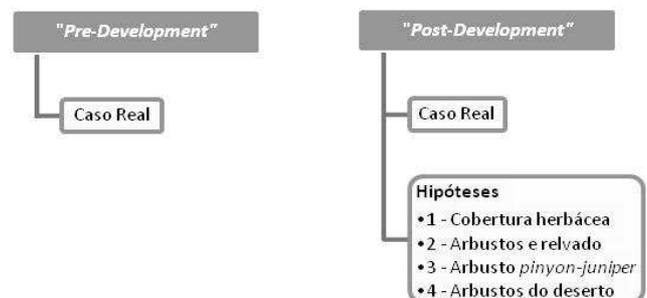


Figura 1. Caracterização das hipóteses a modelar.

3. Metodologia

De forma a cumprir o objectivo enunciado em 2 foi adoptada uma forma expedita de utilização dos modelos de perda de precipitação e do hidrograma unitário do NRCS. No sub-crédito "*Quantity Control*" do sistema de certificação LEED, torna-se necessário recorrer a uma modelação deste tipo por forma a responder aos seus requisitos. Este define duas situações, com base na percentagem de impermeabilização do local de intervenção, tendo-se, assim, duas opções (USGBC, 2005):

- Opção 1 - Impermeabilidade menor ou igual a 50%:
Implementar um plano de gestão que previna o aumento do caudal de ponta e o volume escoado entre uma situação de pré-desenvolvimento e uma situação de pós-desenvolvimento, para um evento de precipitação de projecto, com duração de 24 horas e um período de retorno de 1 e 2 anos.
- Opção 2 - Impermeabilidade maior do que 50%:
Implementar um plano de gestão das águas que resulte numa redução em 25% do volume e do caudal de ponta, dado um evento de precipitação de projecto, com duração de 24 h e um período de retorno de 1 e 2 anos.

Com base no disposto, a modelação feita seguiu consistentemente os seguintes passos, considerando a área do edifício como sendo uma "micro-bacia" hidrográfica:

Definiu-se o evento de precipitação tendo por base as curvas de intensidade-duração-frequência, também designadas por curvas IDF, com base na equação [1].

$$i = a \times t^b \quad [1]$$

O tempo de concentração representa o tempo para o qual toda a área do edifício contribui efectivamente para a formação do escoamento superficial.

O NRCS fornece uma expressão para a determinação do tempo de concentração em função do número de escoamento, representada na equação [2];

$$t_c = \frac{100}{0.3048^{0.8}} \times \frac{L^{0.8} \times \left(\frac{100}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 \times S_m^{0.5}} \quad [2]$$

em que, t_c representa o tempo de concentração (min), L o comprimento da linha de água (m), S_m diz respeito ao declive médio da bacia hidrográfica (%) e CN o número de escoamento. Tomou-se assim L como sendo o lado maior do edifício, e S_m aproximadamente igual a 2%.

Uma vez determinado o tempo de concentração e definido o evento de precipitação, é necessário distribuir a precipitação ao longo do tempo, desenvolvendo-se o hietograma de precipitação, recorrendo-se à Técnica de Distribuição de Huff.

As curvas da distribuição de Huff resultam da análise de eventos de precipitação mais significativos para um período de 11 anos, representada na sua forma adimensional, em que a altura de precipitação acumulada (P_t) se apresenta como uma fracção da altura da precipitação total, P_{tot} , sendo esta fracção representada ainda em função de um tempo, igualmente adimensional (t/t_d), em que t_d representa a duração total da precipitação.

Deste modo, os eventos de precipitação foram agrupados em quatro categorias dependendo da localização do pico de intensidade ao longo da duração do evento.

Em cada categoria foi desenvolvida uma família de curvas representando valores que excediam em 90%, 80%, 70%, etc, o número de eventos de precipitação. Assim, a média de todos os eventos de precipitação dentro de uma categoria específica seria representado por 50% da curva, resultando o designado hietograma de precipitação (Derayeh, 2007)

Com a precipitação distribuída ao longo do tempo é possível determinar a parcela de precipitação que se perde, e a que forma escoamento superficial, ou precipitação efectiva, com recurso ao modelo de perdas do NRCS-CN.

Este modelo admite que, na sequência de um acontecimento de precipitação intenso, a razão entre a altura da precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial, e a capacidade máxima de retenção de água na bacia, é igual à razão entre a precipitação efectiva e o escoamento superficial potencial, razão esta dada pela equação [3]:

$$\frac{F_a}{S} \times \frac{P_e}{(P - I_a)} \quad [3]$$

em que, P representa a precipitação; P_e a precipitação efectiva; F_a a altura de precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial (equivalente às perdas contínuas); S a retenção potencial máxima; I_a as perdas iniciais (armazenamento em depressões, intercepção, evapotranspiração e infiltração que antecedem o encharcamento da superfície); $P - I_a$ o escoamento superficial potencial, em que todas as grandezas se expressam em milímetros (mm).

A capacidade máxima de retenção de água na bacia, S , é uma grandeza convencional entendida como a capacidade máxima de armazenamento de água na bacia hidrográfica quando no solo, nas depressões do terreno e nos obstáculos que interceptam a chuva é atingido um estado de intensa saturação, podendo admitir-se corresponder a uma taxa de infiltração a tender para zero. Nestas circunstâncias as intensidades da precipitação total e efectiva seriam iguais (Portela, 2006).

O escoamento superficial potencial é definido como sendo a precipitação deduzida das perdas iniciais que ocorrem até ao encharcamento da superfície.

Partindo da equação [3], tendo em conta a anterior simbologia e por aplicação do princípio da continuidade resulta:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad [4]$$

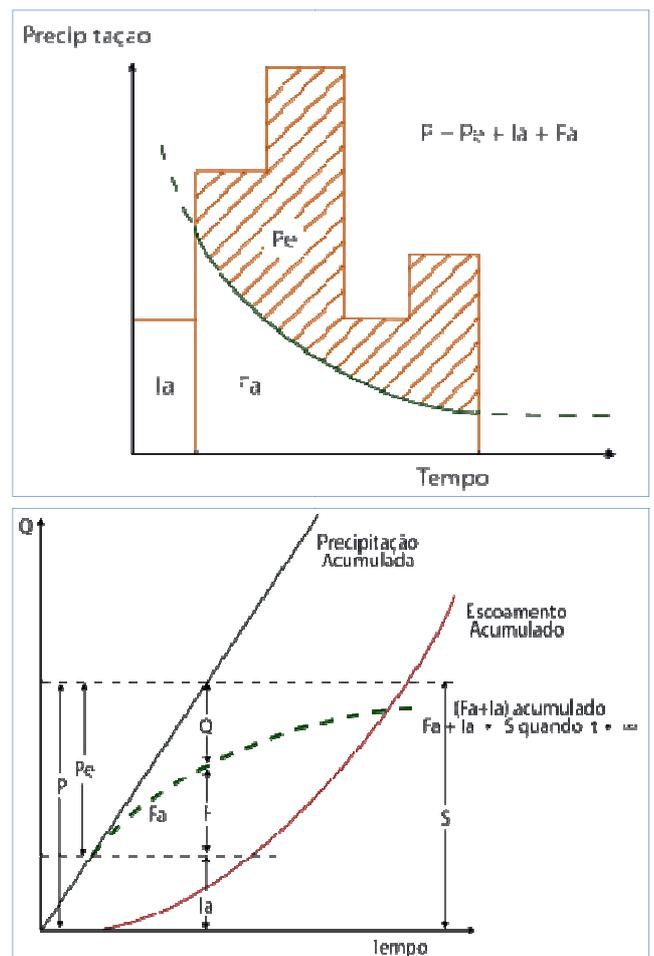


Figura 2. Representação das variáveis e funções do modelo do SCS para determinação das perdas de precipitação (adaptado de (Portela, 2006)).

Resolvendo a equação [4] em ordem a F_a e introduzindo o resultado assim obtido na equação [3], obtém-se a equação do NRCS para o escoamento superficial:

$$Q = P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) \times S} \quad [5]$$

em que Q representa o escoamento directo, expresso em milímetros (mm), que iguala a precipitação efectiva, igualmente expressa em milímetros (mm).

Com base em estudos experimentais em pequenas bacias hidrográficas, o SCS propôs que as perdas iniciais, I_a , fossem aproximadas por 20% da capacidade máxima de retenção de água na bacia hidrográfica, ou seja:

$$I_a = 0.2 \times S \quad [6]$$

Assim, atendendo a esta última expressão e substituindo-na na equação [5] obtém-se:

$$Q = P_e = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{(P + 0.8 \times S)}; P > 0.2 \times S \quad [7]$$

Caso a condição imposta não se verifique, i.e., $P < 0.2 \times S$, o escoamento directo será nulo ($Q = P_e = 0$).

Para Portugal Continental, Correia (1984) afirma que o valor médio de 0,2 proposto pelo SCS não se verifica inteiramente, conduzindo a precipitações efectivas muito baixas em consequência das elevadas perdas iniciais de precipitação.

O mesmo autor propõe um método de cálculo iterativo. Por outro lado, Portela (2006) sugere, por experiência com algumas bacias hidrográficas portuguesas, que se inicie o cálculo considerando este valor como sendo igual a zero, como forma de reduzir as perdas totais, que reconheceram como excessivas para os casos de estudo.

O parâmetro S , retenção potencial máxima, foi relacionado com o tipo de solo e com as condições de utilização e de cobertura na bacia hidrográfica por meio do número de escoamento, *Curve Number* (CN). Esta relação é fornecida pela equação [8] (HEC, 2000).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [8]$$

Os principais factores que determinam o valor de CN são o tipo de solo, de coberto vegetal e de utilização do solo e as condições antecedentes de humidade.

Do ponto de vista hidrológico, e de acordo com o SCS, distinguem-se quatro grupos de solos (Lencastre & Franco, 1992):

- **Grupo A** (baixo potencial de escoamento superficial) – solos com elevadas taxas de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos. Incluem principalmente areias profundas, com drenagem boa ou excessiva.
- **Grupo B** (potencial de escoamento superficial abaixo da média) – solos com taxas de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira, e medianamente drenados.

- **Grupo C** (potencial de escoamento superficial acima da média) – solos com baixas taxas de infiltração, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina.
- **Grupo D** (elevado potencial de escoamento superficial) – solos com taxas de infiltração muito baixas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade.

Os grupos mencionados pressupõem normalmente condições antecedentes de humidade (*Antecedent Moisture Conditions - AMC*) médias, $CN(AMCII)$, devendo os valores do número de escoamento que fornecem serem corrigidos para condições antecedentes de humidade diferentes, designadamente, mais secas ($AMCI$) ou mais húmidas ($AMCIII$).

$$CN(AMCIII) = \frac{CN(AMCII)}{0.472 \times 0.0573 \times CN(AMCII)} \quad [9]$$

$$CN(AMCI) = \frac{CN(AMCII)}{2.281 \times 0.01281 \times CN(AMCII)} \quad [10]$$

Quando se está perante uma situação de ocupação heterogénea do solo, cada área terá um determinado valor de CN , sendo necessário determinar um valor ponderado para dar o comportamento médio do local em estudo, e para tal recorre-se à equação [11] para determinar o CN ponderado (HEC, 2000).

$$CN_{ponderado} = \frac{\sum CN_i \times A_i}{\sum A_i} \quad [11]$$

Finalmente, com a precipitação efectiva é possível definir o hidrograma de escoamento, tendo sido utilizado para tal o modelo desenvolvido pelo NRCS, o qual devolve um caudal de ponta e o respectivo volume escoado, recorrendo-se para tal à equação [12].

$$q_p = \frac{c \times A}{t_p} \dots\dots\dots [12]$$

em que o parâmetro A representa a área da bacia hidrográfica (km²), t_p refere-se ao tempo para a ponta (h) do hidrograma unitário, e c representa uma constante, obtida tendo em conta a igualdade entre o volume do escoamento directo subentendido pelo HUS e o volume da precipitação efectiva unitária P_e (mm) associada à definição daquele HUS, obtendo-se:

$$c = \frac{P_e}{4.8} \quad [13]$$

O tempo para a ponta, t_p , obedece à seguinte relação estabelecida pela equação [14]:

$$t_p = \frac{D}{2} + t_{lag} \dots\dots\dots [14]$$

em que para o tempo de atraso, t_{lag} , é sugerida a adopção de 60% do tempo de concentração, t_c , da bacia:

$$t_{lag} = 0.6 \times t_c \quad [15]$$

Para a duração D da precipitação efectiva unitária associada à definição do HUS é aconselhada a adopção de 20% de t_p , não devendo esta exceder os 25% do tempo para a ponta. Ora, combinando estas indicações relativas a D com as equações anteriores obtêm-se:

$$\begin{cases} D \approx 0.20 \times t_p \\ D \approx 0.25 \times t_p \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} D \approx 0.122 \times t_{lag} \\ D \approx 0.286 \times t_{lag} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} D \approx 0.133 \times t_c \\ D \approx 0.171 \times t_c \end{cases} \quad [16]$$

Apesar de esta ser a indicação relativa à duração D, em termos práticos, introduz alguma indefinição pelo simples facto de fazer depender D do tempo de concentração da bacia hidrográfica, tempo este que poderá apresentar valores distintos consoante as expressões utilizadas na sua estimação.

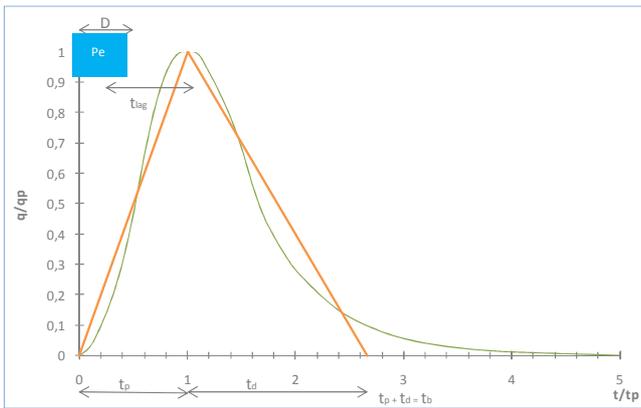


Figura 3. HUS do SCS.

O Hidrograma Unitário Sintético do NRCS é um hidrograma curvilíneo adimensional, em que os sucessivos caudais de cheia e instantes de ocorrência são apresentados como fracções, respectivamente, do caudal de ponta de cheia do hidrograma, q_p , e do tempo relativo à ocorrência de q_p , ou seja, do tempo de ponta, t_p (equação [13]).

Este hidrograma unitário com uma dada duração D, é um hidrograma do escoamento directo provocado numa secção de um curso de água por uma precipitação útil ou efectiva, considerada unitária, com intensidade constante no tempo e aproximadamente uniforme sobre a bacia hidrográfica e com duração D. Este procedimento assume que o caudal em qualquer altura é proporcional ao volume de escoamento directo, e que os factores de tempo que afectam a forma do hidrograma são constantes (Natural Resources Conservation Service, 1997).

O hidrograma unitário curvilíneo pode ser aproximado pelo hidrograma unitário triangular, com um menor tempo de base, t_b , cerca $8/3 t_p$ em vez de $5 t_p$, e que, à semelhança do hidrograma curvilíneo apresenta 37,5% do volume da cheia no ramo ascendente. A duração do ramo descendente do hidrograma triangular, que corresponde ao tempo de descida, t_d , é de $5/3 t_p$, conseguindo-se desta forma determinar mais facilmente o volume escoado, através da delimitação da área do triângulo.

Em suma, este procedimento para a determinação do caudal de pico e respectivo volume escoado foi sucessivamente aplicado aos diferentes cenários, variando a altura de precipitação efectiva, a ser usada para determinação do caudal de pico, consoante o tipo de uso, em planta, da área do edifício, influenciando maioritariamente o tipo de cobertura usada, visto tratar-se da área dominante. A Figura 4 apresenta a proposta de cobertura vegetal para o referido edifício.

A simulação do comportamento do edifício foi feita considerando duas modelações distintas, com base na consideração da duração do evento:

- **Modelação 1** – duração do evento igual ao tempo de concentração;
- **Modelação 2** – duração do evento igual ao previsto no sistema de certificação – 24 horas.

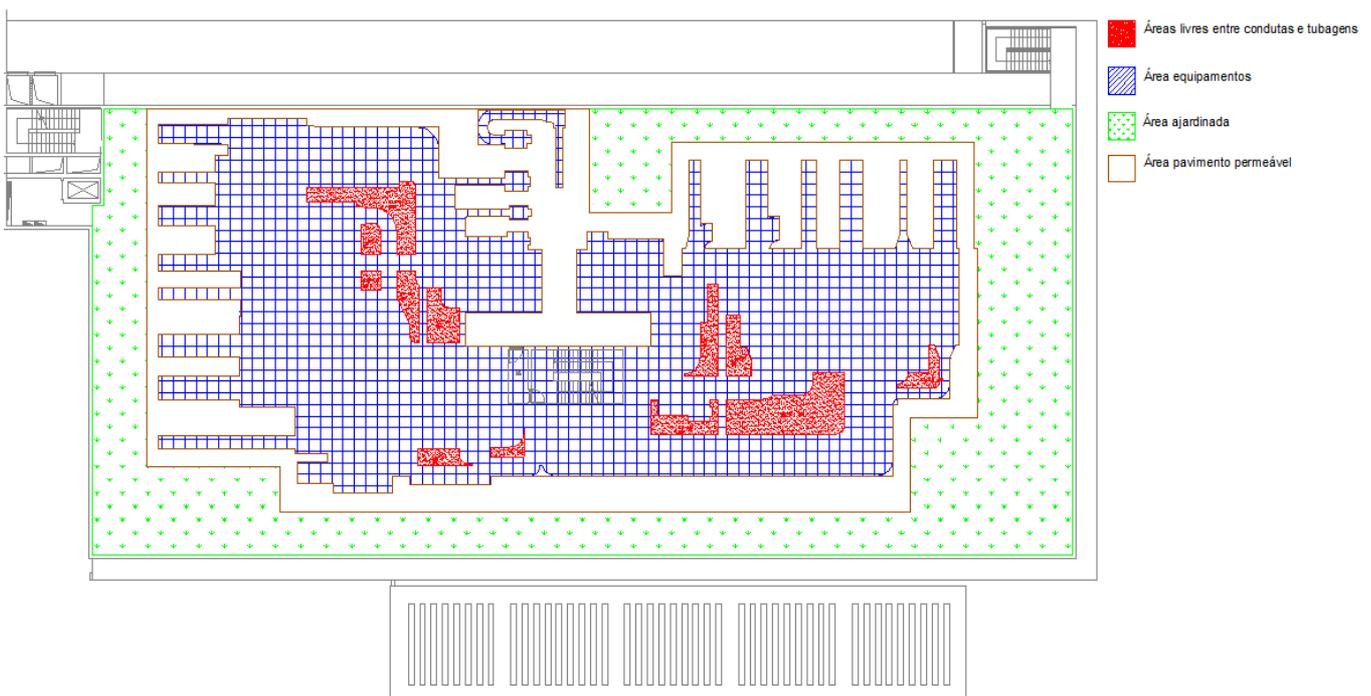


Figura 4. Planta da Cobertura Verde proposta.

4. Resultados

Seguidamente serão apresentadas as principais características do local e do edifício, de modo a iniciar o processo de modelação. Assim sendo, os quadros seguintes resumem as principais características do edifício nas situações de “Pre” e “Post-Development” para o Caso Real a para a hipótese da cobertura vegetal.

Tabela 1. Características do “Pre-Development”.

Situação	
“Pre-Development”	
A (m ²)	Largura (m)
3350	101

Tabela 2. Características do “Post-Development”.

Situação		A (m ²)
“Post-Development”		
Tipo de superfície		
Pavimento		960
Jardins	Piso 1	152
	Piso 0	123
Cobertura		2115
TOTAL		3350

Tabela 3. Distribuição das áreas da cobertura consideradas para as hipóteses de recobrimento vegetal.

		Á (m ²)
Cobertura	Jardim	656
	Pavimento	463
	Equipamentos	996
TOTAL		2.115

A fim de se proceder à modelação é necessário ainda caracterizar a área de estudo no que respeita às características do solo.

O modelo proposto pelo NRCS considera um número de escoamento, ou “Curve Number – CN”, que depende do tipo de solo, cobertura e utilização do mesmo, bem como as condições de antecedentes de humidade. Sendo, então, a partir deste valor, determinado o parâmetro S.

As Tabelas 4 e 5 resumem os valores para ambas as situações de “Pre-Development” e “Post-Development” para o Caso Real e diferentes hipóteses.

Tabela 4. Valores do número de escoamento e do coeficiente de escoamento para os casos reais.

	Situação		
	“Pre-Development”	“Post-Development”	
		B	C
Número de Escoamento ponderado - CN_{composite} (AMC II)	98	95	96

Tabela 5. Valores de CN para as diferentes hipóteses.

	CN _{composite} (AMC II)	
	B	C
Hipótese 1	85	89
Hipótese 2	85	90
Hipótese 3	82	90
Hipótese 4	87	91

No caso dos antecedentes de humidade e tipo de solo, consideraram-se para efeitos de modelação uma condição de AMC II e um tipo hidrológico de solo B ou C, representando, assim, condições médias de humidade e tipo de solo.

Neste trabalho, a modelação hidrológica feita no espaço de implantação do edifício é uma aplicação para a qual não consta um histórico de aplicação de modelação, pelo que a abordagem desenvolvida poderá carecer de uma intercalibração com outros grupos de trabalho. Actualmente não se conhecem modelos que tenham sido exclusivamente desenvolvidos para modelar o comportamento hidrológico de um edifício.

Sendo certo que se trata de uma área extremamente pequena, quando comparada com uma bacia hidrográfica, influenciando a ordem de grandeza de vários parâmetros utilizados na modelação, do ponto de vista conceptual, considera-se contudo possível abordar a área de um edifício como se de uma “micro-bacia” hidrográfica se tratasse.

Tendo-se considerado o pior cenário, no que se refere à frequência de ocorrência de um evento com as características pretendidas, optou-se por considerar um período de retorno de 2 anos, em vez de se considerar o habitual valor de 1 ano.

Com isto, juntamente com as equações já apresentadas, bem como os valores já resumidos, procedeu-se à determinação da precipitação efectiva, tendo-se previamente feito o cálculo da retenção potencial máxima (S), considerando as perdas iniciais (Ia) iguais a zero.

Esta última consideração foi feita tendo por base o trabalho de Portela (2006), e Lencastre & Franco (1992), concluindo-se que tal relação conduz a valores de perdas iniciais demasiado elevados e, portanto, conduzindo a valores de precipitação efectiva muito reduzidos.

Os elevados valores de perdas, obtidos pela relação já descrita, sustentou tal consideração. O valor de Ia deveria ser ajustado por calibração no local, contudo, para o presente trabalho, tal não foi possível.

Uma vez determinados os parâmetros relativos à ocupação do solo, e estabelecidas algumas considerações, o cálculo da precipitação efectiva resume-se à aplicação da Eq. [5], após a distribuição da precipitação com base na técnica de Huff.

As Tabelas 6 e 7 apresentam um exemplo de aplicação do modelo para a situação de “Pre-Development”, e o gráfico da figura 5 apresenta o hietograma de precipitação obtido.

Tabela 6. Valores de entrada do modelo para situação de “Pre-Development”

CN _{composite}	S - SCS		
	(mm)	(min)	(h)
98	5,18	4,40	0,07

Os valores da aplicação do modelo do hidrograma unitário são apresentados no Tabela 8, e a respectiva representação no gráfico da Figura 6, para a situação de “Pre-Development”.

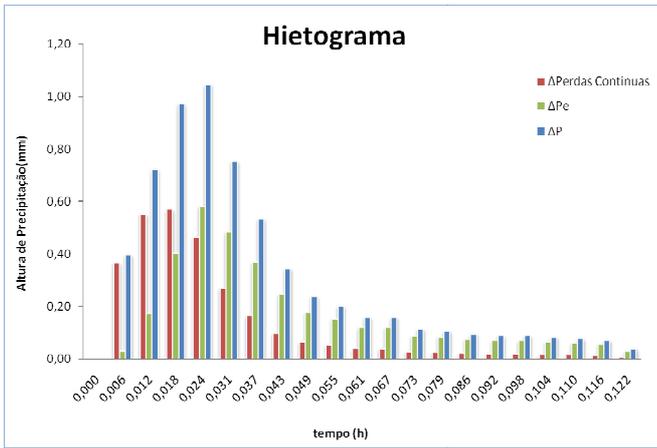


Figura 5. Hietograma de precipitações para a situação de "Pre-Development".

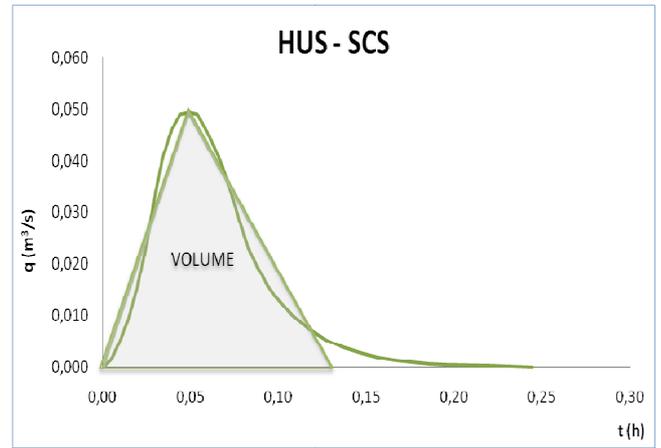


Figura 6. Hidrograma unitário sintético do SCS para situação de "Pre-Development".

Tabela 7. Exemplo de aplicação do modelo do NRCS para a situação de "Pre-Development".

t	Ptot	Δ Ptot	Pe	Δ Pe	Perdas Contínuas	Δ Perdas Contínuas
(min)	(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0,0	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,0000
0,2	0,004	0,40	0,395	0,028	0,367	0,3671
0,4	0,007	1,12	0,721	0,198	0,918	0,5514
0,7	0,011	2,09	0,972	0,600	1,489	0,5701
0,9	0,015	3,14	1,047	1,182	1,954	0,4652
1,1	0,018	3,89	0,753	1,666	2,222	0,2679
1,3	0,022	4,42	0,533	2,035	2,386	0,1644
1,5	0,026	4,77	0,345	2,283	2,483	0,0970
1,8	0,029	5,00	0,238	2,458	2,546	0,0632
2,0	0,033	5,21	0,201	2,608	2,597	0,0509
2,2	0,037	5,36	0,157	2,726	2,636	0,0385
2,4	0,040	5,52	0,157	2,846	2,673	0,0373
2,6	0,044	5,63	0,113	2,932	2,699	0,0262
2,9	0,048	5,74	0,107	3,015	2,723	0,0243
3,1	0,051	5,83	0,094	3,088	2,744	0,0210
3,3	0,055	5,92	0,088	3,156	2,764	0,0193
3,5	0,059	6,01	0,088	3,225	2,783	0,0190
3,7	0,062	6,09	0,082	3,289	2,800	0,0174
4,0	0,066	6,16	0,075	3,349	2,816	0,0158
4,2	0,070	6,23	0,069	3,403	2,830	0,0143
4,4	0,073	6,27	0,038	3,433	2,838	0,0077
			6,27	3,43		2,84
				55%	6,27	45%

Tabela 8. Valores do modelo HUS-SCS para a situação de "Pre-Development".

A	t _c	P _e	D	t _{lag}	t _p	q _p	V						
(km ²)	(min)	(h)	(mm)	(min)	(h)	(m ³ /s)	(m ³) (l)						
0,003350	4,40	0,07	3,43	0,59	0,01	2,64	0,04	2,93	0,049	0,049	49,47	11,6	11.605

Na Figura 7 apresenta-se o hidrograma e o hietograma subjacente.

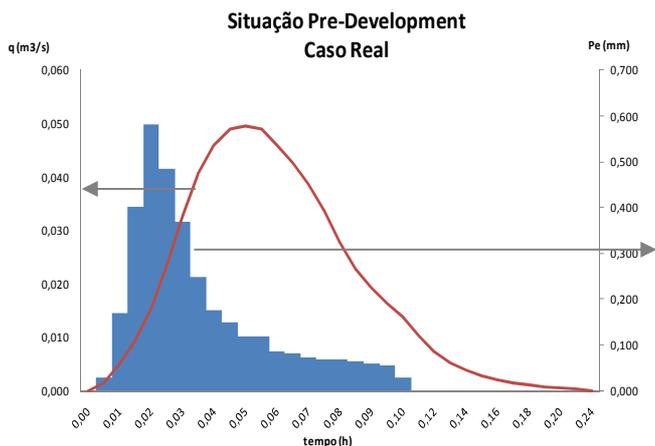


Figura 7. Hietograma de precipitação efectiva e hidrograma unitário

Nas Tabelas seguintes apresentam-se os valores obtidos para os diferentes cenários, e para a Modelação 1 e 2, tendo sido considerado o caso real, referindo-se, para além dos caudais de ponta e volumes escoados, as respectivas reduções destes valores entre uma situação de “Pre-Development” e “Post-Development”.

Tabela 9. Valores resumidos de caudal de ponta e volume para modelação 1.

	Modelação 1				
	"Pre-Development"	"Post-Development"		Redução	
		B	C	B	C
q_p (l/s)	49,47	26,64	32,01	46%	35%
V (l)	11.605	7.435	8.436	36%	27%

Tabela 11. Principais valores obtidos na modelação 1.

	"Pre-Development"		"Post-Development"					
	Caso Real		H1		H3		H4	
			B	C	B	C	B	C
q_p (l/s)	49,47		9,67	13,86	7,61	14,21	11,32	16,26
V (l)	11.605		4.026	4.931	3.547	5.014	4.392	5.422
Redução	q_p	-	80%	72%	85%	71%	77%	67%
	V	-	65%	58%	69%	57%	62%	53%

Tabela 12. Principais valores obtidos na modelação 2 referente ao LEED.

	"Pre-Development"		"Post-Development"					
	Caso Real		H1		H3		H4	
			B	C	B	C	B	C
q_p (l/s)	2,49		1,48	1,74	1,31	1,75	1,59	1,85
V (l)	191.407		113.554	133.418	100.639	134.432	122.130	141.834
Redução	q_p	-	41%	30%	47%	30%	36%	26%
	V	-						

Tabela 10. Valores resumidos de caudal de ponta e volume para modelação 2 referente ao LEED

	Modelação 2 - LEED				
	"Pre-Development"	"Post-Development"		Redução	
		B	C	B	C
q_p (l/s)	2,49	2,19	2,29	12%	8%
V (l)	191.4	168.3	175.9	12%	8%

As Tabelas 11 e 12 resumem os principais resultados obtidos da aplicação do modelo de perdas e do hidrograma unitário, tendo-se considerado para a modelação os mesmos pressupostos anteriormente apresentados no que respeita à duração dos eventos de precipitação, distinguindo-se novamente a Modelação 1 e 2. Para efeitos de comparação das Hipóteses, não se apresentam os valores referentes à Hipótese 2, dado esta ser praticamente igual ao da Hipótese 1, conduzindo a resultados muito semelhantes.

Assim, e à semelhança das duas anteriores modelações, consideraram-se os mesmos pressupostos da Modelação 1 e 2, apresentando-se em seguida os principais valores obtidos da aplicação do modelo do NRCS-CN e do HU-NRCS.

5. Conclusões

O principal objectivo deste trabalho assentava na aplicação dos fundamentos da modelação hidrológica ao nível da certificação ambiental de um edifício, de modo a prever tanto o caudal de ponta formado, como o volume escoado.

Esta modelação apresenta-se como a chave para a obtenção dos sub-créditos da gestão da quantidade de escoamento formado na área de um edifício decorrente de um evento de precipitação.

Em seguida, e com base na previsão dos volumes gerados no espaço do edifício, foram avaliados diferentes tipos de coberturas vegetais, de modo a cumprir com os requisitos do crédito.

A aplicação dos diversos modelos propostos pelo NRCS revelou-se bem sucedida, apesar do ajuste feito a alguns parâmetros utilizados nas diversas equações. Ainda que estes modelos não tenham sido de todo desenvolvidos para aplicação a um edifício, mostraram ser adaptáveis a esta realidade, proporcionando um cenário da magnitude dos fenómenos envolvidos, decorrentes de um evento de precipitação de projecto.

Numa primeira aplicação dos modelos os resultados ajustaram-se ao que seria espectável ocorrer no espaço de um edifício, sendo o comportamento destes modelos perfeitamente compreendidos e compatíveis como os fundamentos apresentados.

O sistema LEED estabelece uma redução de 25% do caudal de pico e do volume escoado, na sua Opção 2 (ver secção 3), Na Modelação 1, independentemente do solo utilizado no ajardinamento da cobertura, o objectivo é alcançado, pois obtêm-se reduções superiores a 25%, tanto dos caudais de ponta como dos volumes escoados. No que se refere à Modelação 2, constata-se que os requisitos do LEED não são cumpridos, ficando a redução conseguida aquém dos 25%. Face a estes resultados, e ao claro incumprimento com o requisito imposto no LEED, ao considerar-se as 24 horas, na Modelação 2, optou-se por ensaiar uma medida de controlo do escoamento superficial, através de coberturas vegetais.

Em relação ao segundo objectivo pretendia-se avaliar o comportamento das coberturas vegetais enquanto medida para a redução do escoamento superficial. Este objectivo seria concretizado se os requisitos propostos pelos sub-créditos referentes à gestão da quantidade de águas pluviais fossem cumpridos.

Como se verifica, com a aplicação da cobertura verde, qualquer que seja o tipo de vegetação, consegue-se facilmente atingir os objectivos vigentes no sistema de certificação, independentemente do tempo que se considere.

Estes valores de redução do caudal de ponta e volume escoado são conseguidos face a uma situação de "Pre-Development" em que a impermeabilização ultrapassa os 50% da área total. Na realidade corresponde a uma área 100% impermeabilizada, pois tratava-se de um parque de camiões.

Relativamente à dimensão sustentável, verifica-se que a gestão das águas pluviais assume diversas potencialidades, quer ao nível de um edifício, quer ao nível de comunidades inteiras, e mesmo cidades.

As coberturas ecológicas ao reterem as águas pluviais, reduzindo tanto o seu caudal como o seu volume, estão a aliviar a pressão colocada nos sistemas de drenagem e tratamento durante um evento de precipitação extrema. Estas medidas poderão ter um conjunto diverso de benefícios, desde o aligeiramento dos custos de operação e manutenção dos respectivos sistemas acima mencionados até à redução do número de eventos de inundações repentinas ("Flash Floods"). Aliada a esta retenção das águas pluviais por parte das coberturas ecológicas pode-se ter uma reutilização das águas pluviais, diminuindo, assim, o impacte sobre um recurso que se começa a assumir escasso, a água. As aplicações domésticas desta podem ir desde a rega de jardins, à lavagem de áreas exteriores, e mesmo à sua utilização em equipamentos como máquinas de lavar ou até autoclismos e chuveiros, isto depois do devido tratamento.

O caminho para a sustentabilidade é possível com a integração de diversas soluções que melhorem a gestão deste recurso essencial, que já escasseia em termos de qualidade e mesmo quantidade.

Referências Bibliográficas

- Correia, F. N. (1984). Alguns Procedimentos Adoptados pelo SCS para Estudo do Impacto da Urbanização nos Caudais de Cheia. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Derayeh, K., Finlay, S., Fox, S., MacKinnon, S., Matheson, B., & Miller, G. (2007). Handbook of Stell & Drainage Highway Construction. Service.
- HEC, Hydrologic Engineering Center US Army Corps of. 2000. Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. USA: Approved for public release - Distribution Unlimited CPD-74B, 2000.
- Lencastre, A., & Franco, F. (1992). Lições de Hidrologia. Edição de Universidade Nova.
- Natural Resources Conservation Service. 1997. Part 630 Hydrology - National Engineering Handbook. U.S.A : U.S. Dep. of Agriculture, 1997.
- Pinheiro, M. D. (2006). Ambiente e Construção Sustentável. Amadora: Instituto do Ambiente.
- Portela, M. M. (2006). Modelação Hidrológica - Textos de apoio à disciplina de Modelação Hidrológica. Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico.
- USGBC - U.S. Green Building Council. (2005). LEED-NC, Leadership in Energy and Environmental Design for New Constructions - Reference Guide Version 2.2. U.S.A.