

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

TELHADOS VERDES. CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA O MICROCLIMA DA CIDADE DE RECIFE-PE

Teresinha Batista da Silva^{1}; Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda² & Willames de Albuquerque Soares³*

RESUMO – Sabe-se que a cidade de Recife é corriqueiramente acometida a alagamentos, graças a predominância de áreas com solo impermeabilizado aliado aos deficientes sistemas convencionais de drenagem urbana. Neste contexto, o estudo de técnicas compensatórias como telhados verdes são essenciais para a redução do escoamento superficial da água oriunda da chuva. Visando minimizar os alagamentos que ocorrem na cidade de Recife, objetivou-se identificar qual a composição granulométrica do solo mais adequada para a montagem de telhados verdes, buscando maximizar sua eficiência quanto técnica compensatória. Para as simulações das diferentes composições dos telhados verdes extensivos, utilizou-se o Hydrus-1D. No dia 14/06/2019, com a precipitação mais intensa do mês (147,2 mm dia⁻¹), observou-se a partir das simulações um escoamento superficial de 139,81 mm dia⁻¹, no solo com maior percentual de finos (silte e argila, 70%), enquanto no solo com maior percentual de areia (85%), o escoamento superficial foi de 28,62 mm dia⁻¹. Deste modo, os solos com frações granulométricas mais grossas se mostraram bastante eficazes em realizar o proposto, viabilizando possíveis diminuições de alagamentos na localidade.

ABSTRACT– It is known that the city of Recife is currently prone to flooding, due to the predominance of areas with impermeable soil together with the deficient conventional urban drainage systems. In this context, the study of compensatory techniques such as green roofs are essential to reduce the runoff of rainwater. Aiming to minimize the flooding that occurs in the city of Recife, the objective was to identify which granulometric composition of the soil is most suitable for the assembly of green roofs, seeking to maximize its efficiency in terms of compensatory technique. For simulations of different compositions of extensive green roofs, Hydrus-1D was used. On 06/14/2019, with the most intense precipitation of the month (147.2 mm day⁻¹), a surface runoff of 139.81 mm day⁻¹ was observed from the simulations in the soil with the highest percentage of fines (silt and clay, 70%), while in the soil with a higher percentage of sand (85%), the runoff was 28.62 mm dia⁻¹. In this way, soils with thicker granulometric fractions proved to be quite effective in carrying out the proposal, making possible the reduction of flooding in the locality.

Palavras-Chave – composição do solo, Hydrus-1D, simulação

1) Afiliação: Discente do curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco, Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001, tetebsilva@hotmail.com* (autor correspondente)

2) Afiliação: Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco, Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001, macrh_pec@poli.br

3) Afiliação: Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco, Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001, was@poli.br

1 - INTRODUÇÃO

Alagamentos são eventos cada vez mais frequentes em diversas áreas do Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, (IBGE, 2018), 93% dos municípios com mais de 500 mil habitantes foram atingidos por alagamentos pelo menos uma vez. Na segunda metade do século 20, o Brasil foi cenário de uma acelerada transição urbana, descaracterizando sua identidade rural e agrícola para assumir um papel metropolitano.

Como esse crescimento urbano ocorreu de forma desorganizada, problemas decorrentes de eventos hidrológicos afetam tanto o meio social quanto ambiental. Segundo Silva *et al.* (2019), estas intervenções antrópicas sem planejamento, aliadas a características físico-naturais da cidade de Recife, como o fato de ser cortada por diversos rios e sua localização numa planície litorânea abaixo do nível do mar, comprovam a suscetibilidade da capital a alagamentos (Holanda e Soares, 2019).

Sendo assim, devido a drenagem do escoamento superficial na rede coletora de águas pluviais estar cada vez mais comprometido, surgem estudos e implantações que visam o uso de técnicas compensatórias para o retardo e redução do escoamento superficial da água oriunda da chuva (Fritzen e Binda, 2011). Dentre as diversas ações que buscam mitigar os impactos ambientais e sociais, o telhado verde é um método citado por diversos autores como uma alternativa sustentável e eficiente (Castro e Goldenfum, 2010; Clark *et al.*, 2006; Santos *et al.* 2013; Tassi *et al.* 2014).

Historicamente, os primeiros telhados verdes, ou jardins suspensos, foram criados a cerca de 600 a.C. na região da Mesopotâmia, e tinham como objetivo manter o ciclo hidrológico e um bom desempenho térmico das habitações (Rangel *et al.*, 2015). Essencialmente, o telhado verde extensivo é um sistema construtivo instalado sobre edificações e é composto por uma camada de vegetação, uma camada de substrato e outra de drenagem. No estado de Pernambuco, este sistema vem sendo estudado por autores como Santos *et al.* (2013), para atuar no controle do escoamento superficial, retendo água na camada de substrato, retardando o pico de escoamento e consequentemente, reduzindo o problema da drenagem urbana.

Com o objetivo de determinar o potencial de retenção hídrica do telhado verde se comparado ao telhado convencional, Santos *et al.* (2013) realizaram experimentos na cidade de Caruaru-PE, utilizando dois tipos de vegetação, as quais foram submetidas a precipitações de diferentes aportes. Estes autores evidenciaram a eficácia dos telhados verdes propostos quando comparados ao telhado de controle, os quais apresentaram uma retenção hídrica 14 vezes maior.

Sabe-se também que a camada de solo tem influência direta na capacidade de retenção de parte da chuva, para redução do escoamento superficial, possuindo funções essenciais para o funcionamento do sistema, tais como suporte para a fixação da vegetação e fornecimento de água e nutrientes necessários para a sua manutenção, além de ser importante para o armazenamento temporário da água durante os eventos chuvosos (Tassi *et al.*, 2014). Logo, através de processos como interceptação, armazenamento de água e evapotranspiração, a camada de solo em telhados verdes tem papel fundamental sobre o controle do escoamento pluvial superficial (Yang *et al.*, 2008).

Diante do exposto, objetiva-se identificar qual a composição granulométrica do solo que mais se adequa às condições hidrometeorológicas da cidade de Recife, visando maximizar a eficiência de telhados verdes na drenagem da região, utilizando o modelo computacional Hydrus-1D.

2 - METODOLOGIA

As atividades desta pesquisa foram desenvolvidas para o bairro da Madalena, localizado na cidade do Recife, a qual é litorânea e apresenta um relevo característico de uma planície fluvial, cortada por diversos rios, que possui uma precipitação média anual de 2292,9 mm, com um desvio padrão de 482,5 mm (Wanderley *et al.* 2018). O bairro da Madalena serve como um dos principais acessos para locais essenciais da cidade, além de abrigar pontos importantes como o campus Benfica da Universidade de Pernambuco, Museu da Abolição e o estádio Ademar da Costa Carvalho. A região é cortada pelo rio Capibaribe e em seu território prevalecem áreas de solo impermeabilizado. Essas características aliadas ao cenário de ocupação e a falta de planejamento de toda cidade de Recife, tornam o bairro corriqueiramente suscetível a alagamentos (Holanda e Soares, 2019).

O Presente estudo foi abordado de forma quantitativa e analisou a influência do tipo de substrato no desempenho de telhados verdes em Recife. Foram realizadas simulações matemáticas unidimensionais de um telhado verde extensivo utilizando o software Hydrus-1D (Simunek *et al.* 2013).

Logo, simulou-se no Hydrus-1D, um modelo de telhado verde com uma profundidade de 20 cm, o qual é composto por uma camada de brita (drenagem) de 2 cm, uma de solo com 12 cm, e outra de solo vegetal (substrato) com 6 cm, utilizando uma vegetação gramínea com 2 cm de altura e 10 cm de profundidade. As simulações foram feitas para o mês de junho de 2019, e utilizaram como

parâmetros de entrada as temperaturas máxima e mínima, precipitação, insolação, velocidade do vento e umidade relativa, utilizou-se os dados meteorológicos da estação do Curado, os quais foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O perfil de simulação o qual continha 20 cm de profundidade, foi subdividido em 10 porções iguais de 2 cm cada. A simulação foi realizada com um passo de tempo de 10^{-4} , em um intervalo de 30 dias (mês de junho). Já nas condições de fronteira, foram adotadas condições atmosféricas com escoamento superficial para condição de fronteira superior, e drenagem livre para a condição de fronteira inferior.

Para determinar os parâmetros hidrodinâmicos do solo, o Hydrus-1D utiliza o complemento Rosetta (biblioteca dinamicamente vinculada), que implementa funções de pedotransferência (FTP) para estipular os parâmetros de retenção hídrica da equação de Van Genuchten (1980), Equações 1 e 2, e condutividade hidráulica saturada (K_s), a partir de informações das frações granulométricas e classe textural dos solos simulados.

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha h)^n)^{1 - \frac{1}{n}}} & , h < 0 \\ \theta_s & , h \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{2}} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{1 - \frac{1}{n}}} \right)^{1 - \frac{1}{n}} \right]^2 \quad (2)$$

Onde θ_r e θ_s representam as umidades volumétricas residual e saturada, respectivamente, n e a são os parâmetros de forma ajustados, h o potencial matricial e K_s a condutividade hidráulica saturada. Foram realizadas cinco simulações variando a composição granulométrica da camada de solo, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentuais das frações granulométricas dos testes realizados

Simulação	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
1	20,00	20,00	60,00	Muito Argiloso
2	30,00	30,00	40,00	Franco Argiloso
3	33,33	33,33	33,33	Franco Argiloso
4	60,00	10,00	30,00	Franco Argiloso Arenoso
5	85,00	5,00	10,00	Areia Franca

Wanderley *et al.* (2018) agrupou os eventos pluviométricos diários da cidade do Recife e os classificou de acordo com a intensidade das precipitações, sendo precipitações fracas as que apresentaram valores abaixo de 15 mm, moderadas entre 15 e 25 mm, fortes entre 25 e 50 mm e extremamente fortes as precipitações que ultrapassam 50 mm. Além disso, o escoamento superficial citado no decorrer do texto se refere a quantidade de água, oriunda da chuva, que escoou e foi drenada pelo telhado verde.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos gerados pelo algoritmo Rosetta, a partir da composição granulométrica de cada solo simulado, estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros hidrodinâmicos dos solos

Simulação	θ_r	θ_s	α	n	K_s
1	0,10	0,48	0,02	1,21	17,73
2	0,09	0,45	0,02	1,33	7,09
3	0,08	0,43	0,01	1,39	6,39
4	0,07	0,38	0,03	1,27	12,54
5	0,05	0,37	0,03	1,85	118,27

Os resultados das simulações foram organizados em gráficos, que comparam os dados de precipitação e escoamento superficial para analisar a eficiência de cada teste, Figura 1. Para o período analisado, as precipitações mais intensas estão compreendidas nos dias 13, 14, 17 e 18 de junho de 2019, sendo dia 14 o de precipitação mais intensa, para o qual todos os solos testados apresentaram escoamento superficial.

A simulação 1, com elevado teor de argila (60%), não apresentou uma retenção satisfatória, ou seja, nos dias em que a precipitação foi mais intensa, apresentou elevado escoamento superficial, Figura 1a. Tal fato, deve-se pelo preenchimento dos vazios do solo já que os grãos da argila apresentam um diâmetro reduzido e os poros são menores que o dos solos arenosos. Estes fatores caracterizam uma condutividade hidráulica saturada (K_s) reduzida e, conseqüentemente, um elevado escoamento superficial, bem como foi observado por Junqueira *et al.* (2018), onde os solos estudados apresentaram valores de K_s de até 94,7 cm h⁻¹ e os menores coeficientes de escoamento.

Assim como ocorreu com na simulação 1, a simulação 2, para as precipitações de maior intensidade, observou-se uma grande dificuldade em reter o volume de água precipitado, porém o

aumento no percentual do silte elevou ainda mais o escoamento superficial, o qual se tornou presente até mesmo nos dias com precipitações de intensidade moderada, Figura 1b. Em valores, o simulação 2 apresentou um aumento no escoamento superficial de $10,64 \text{ mm dia}^{-1}$ quando comparado com o simulação 1 nos seis dias mais chuvosos do mês. Já a simulação 3 apresentou uma dificuldade ainda maior em reduzir os valores do escoamento superficial, proporcional ao aumento no percentual de partículas finas em sua composição, Figura 1c.

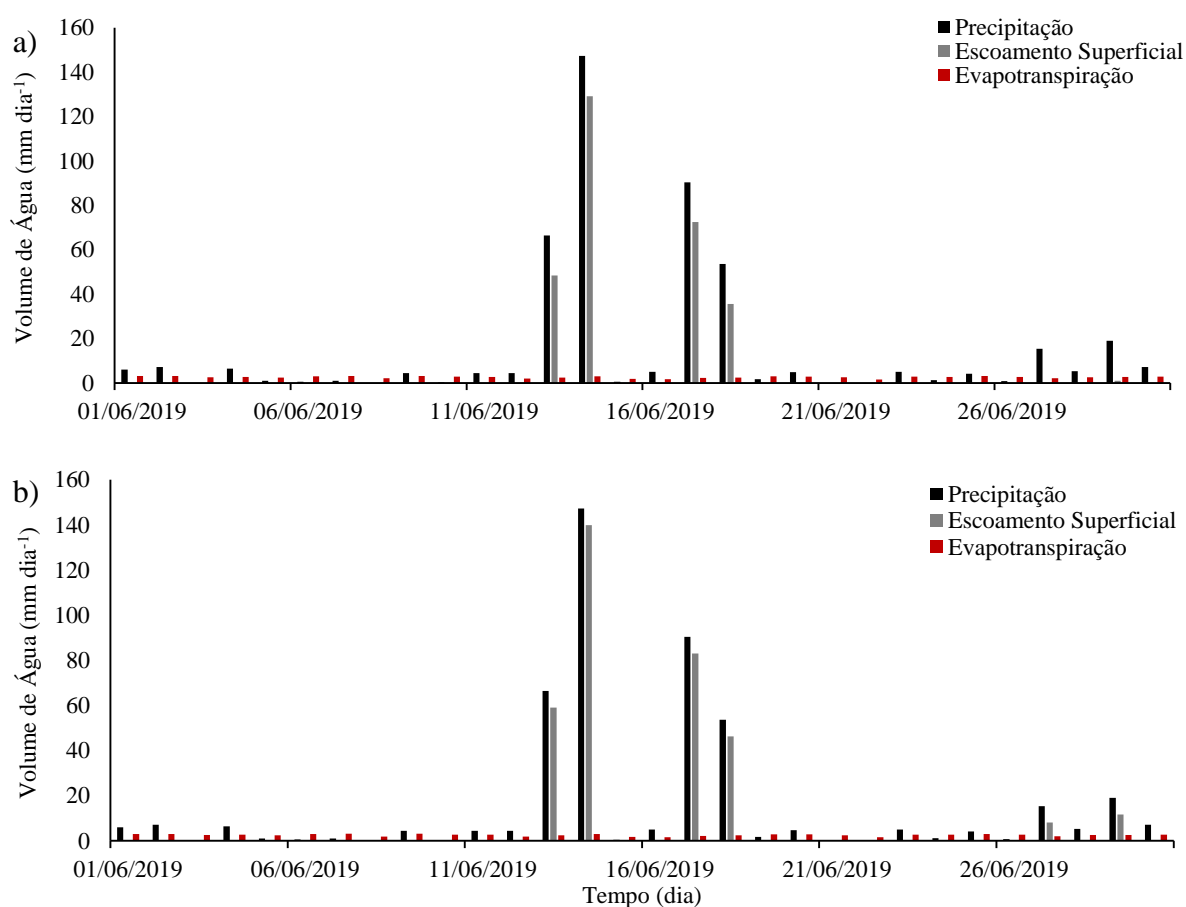


Figura 1 – Valores diários de precipitação, escoamento superficial e Transpiração para o mês de junho/2019 do modelo para: a) simulação 1, b) simulação 2 e c) simulação 3 (continua)

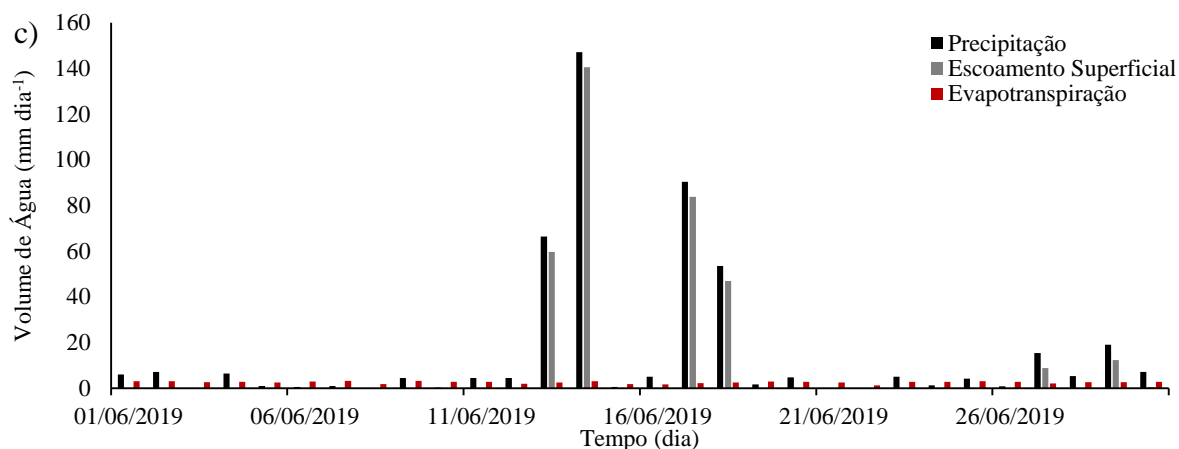


Figura 1 – Valores diários de precipitação, escoamento superficial e Transpiração para o mês de junho/2019 do modelo para: a) simulação 1, b) simulação 2 e c) simulação 3 (conclusão)

O ensaio realizado com a simulação 4 deixou claro como o aumento no percentual de areia e a consequente redução nos percentuais de silte e argila refletem resultados positivos quanto a diminuição do volume escoado, Figura 2a. No dia de precipitação mais intensa (14/06/2019), a simulação 4 obteve uma redução no volume escoado de $6,15 \text{ mm dia}^{-1}$ em relação a simulação 3, já com relação a simulação 2 essa redução foi de $5,45 \text{ mm dia}^{-1}$.

Além disso, os ensaios mostraram que a simulação 5 apresentou um escoamento superficial consideravelmente inferior as demais simulações, tanto nos dias de alta precipitação como nos dias de precipitação moderada, onde o escoamento superficial da simulação 5 se tornou nulo, Figura 2b. Ou seja, a areia, que constitui 85% da simulação 5, faz com que ela tenha apresentado uma maior condutividade hidráulica saturada quando comparado com a argila e ao silte, drenando mais facilmente a água armazenada em sua camada (Santos, 2011; Santos *et al.*, 2013).

Tais resultados são condizentes com o que tem sido observado em outras pesquisas, entre as quais Reichardt (1990), diz que a presença de um grande percentual de areia no solo proporciona uma maior porosidade em seu perfil, fator que influi diretamente no tempo necessário para que o solo atinja o seu estado de saturação. Além destes pesquisadores, Dlapa *et al.* (2020) e Zhang *et al.* (2019) mencionam que solos compostos de frações granulométricas mais grossas são extremamente benéficos para as propriedades hidráulicas do solo já que aumentam a taxa de infiltração e reduzem o escoamento superficial, além de contribuir significativamente para o fluxo de água em condições saturadas.

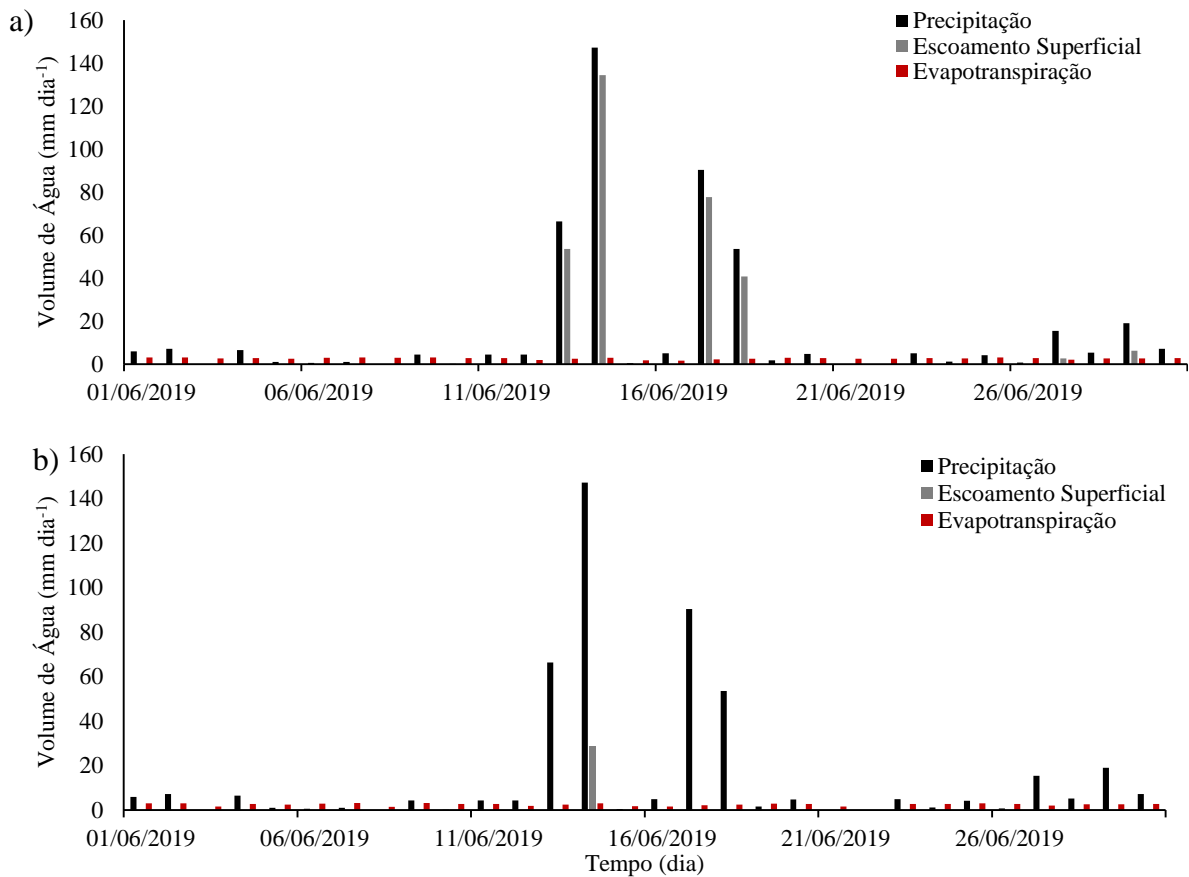


Figura 2 – Valores diários de precipitação, escoamento superficial e transpiração para o mês de junho/2019 do modelo para: a) simulação 4 e b) simulação 5

Além disso, os valores de transpiração estão sempre presentes em todas as cinco simulações realizadas, independentemente da composição granulométrica dos solos. Os dias em que não tiveram precipitações foram os apresentaram os menores valores de transpiração, enquanto que os dias chuvosos foram os que apresentaram os maiores valores (chegando a 3,11 mm dia⁻¹), mesmo estes dias chuvosos apresentando os menores quantitativos de horas de sol. Isso provavelmente se deve ao fato de que há uma maior disponibilidade de água, a qual facilita a sua captação pelas raízes e consequente transpiração.

Sendo assim, outra parte fundamental no processo de simulação foi especificar a vegetação utilizada na cobertura dos telhados verde, uma vez que este é fator que influencia nos valores de escoamento superficial devido a absorção de água pelo sistema radicular das plantas. Os valores de absorção de água pelas raízes estão diretamente ligados a taxa de transpiração e sua resposta as mudanças de umidade no solo, logo, também dependem do tipo de solo utilizado (Albrieu *et al.*, 2015; Ferguson *et al.*, 2016; Macêdo, 2018).

4 - CONCLUSÕES

Os valores de escoamento superficial encontrados para os solos com altos percentuais de materiais finos (silte e argila) foram maiores que os valores encontrados para os solos arenosos, sendo o solo da simulação 3 o que apresentou os piores resultados, ou seja, os maiores valores de escoamento superficial, ratificando que os solos compostos de frações granulométricas mais grossas reduzem o escoamento superficial e auxiliam na redução dos alagamentos.

Dentre as simulações realizadas, o telhado verde composto por uma camada de solo contendo 85% de areia, 5% de silte e 10% de argila apresentou o melhor desempenho no controle quantitativo do escoamento superficial para condições climáticas da localidade, viabilizando a redução das demandas dos sistemas convencionais de drenagem urbana, e possíveis diminuições de alagamentos.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor deste trabalho agradece à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelo financiamento da Bolsa de Iniciação Científica (BIC-1178-1.01/19) e à Escola Politécnica de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

- ALBRIEU, J. L. B.; REGINATO, J. C.; TARZIA, D. A. (2015). “*Modeling water uptake by a root system growing in a fixed soil volume*”. Applied Mathematical Modelling 39 (12), pp. 3434–3447.
- CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A. (2010). “*Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano*”. Atitude, Construindo Oportunidades: revista de divulgação científica da Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre, Porto Alegre 4(7), pp. 75-81.
- CLARK, S. E.; BAKER, K. H.; MIKULA, J. B.; BURKHARDT, C. S.; LALOR, M. M. (2006). *Infiltration vs. Surface Water Discharge: guidance for stormwater managers*. London: IWA, 288p.
- DLAPA, P.; HRINÍK, D.; HRABOVSKÝ, A.; ŠIMKOVIC, I.; ŽARNOVIČAN, H.; SEKUCIA, F.; KOLLÁR, J. (2020). “*The Impact of Land-Use on the Hierarchical Pore Size Distribution and Water Retention Properties in Loamy Soils*”. Water 12(2), pp. 1-14.
- FERGUSON, I. M.; JEFFERSON, J. L.; MAXWELL, R. M.; KOLLET, S. J.; JEFFERSON, J. L. (2016). “*Effects of root water uptake formulation on simulated water and energy budgets at local and basin scales*”. Environmental Earth Sciences 75(4), pp. 1–15.

- FRITZEN, M.; BINDA, A. L. (2011). “Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente”. Revista eletrônica Ateliê Geográfico 5(3), pp. 239-254.
- HOLANDA, M. A. C. R.; SOARES, W. A. (2019). “Analysis of the effect of impermeability of urban soils on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE”. Revista Ambiente e Água, 14(4), pp. 1-10.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Perfil dos municípios brasileiros 2017: Pesquisa de informações básicas municipais – MUNIC*. Rio de Janeiro, 106p.
- JUNQUEIRA, R.; MELLO, C. R.; OLIVEIRA, A. S.; ALVES, G. J.; AIRES, U. R. V. (2018). “Análise da Condutividade Hidráulica Saturada em uma Floresta de Cedro, Madrid, Espanha”. Revista Agrogeoambiental 10(3), pp. 75-89.
- MACÊDO, K. G. (2018). “Simulação da extração de água do solo pela cultura do milho (*Zea mays L.*) utilizando modelo *HYDRUS-1D*”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, 2018, 68 p.
- RANGEL, C. L. C. A.; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C. (2015). “Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade”. Revista Desenvolvimento. Meio Ambiente 35, pp. 397-409.
- REICHARDT, K. (1990). “A Água em Sistemas Agrícolas”. São Paulo: Editora Manole Ltda, 188 p.
- SILVA, F. A. A.; BARBOSA, B. G. S.; DUARTE, C. C. (2019). “Análise da interação entre eventos pluviométricos e ações antrópicas como agentes deflagradores de deslizamentos na Zona Norte do Recife”. Revista de Geociências do Nordeste 5, pp. 01-11.
- SIMUNEK, J.; SEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M.; van GENUCHTEN, M. TH. (2013). “The *HYDRUS-1D* Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media”. Riverside, California.
- TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. (2014). “Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais”. Ambiente Construído 14(1), pp. 139-154.
- SANTOS, P. T. S. (2011). “Balanço hídrico em teto com cobertura vegetal no semiárido pernambucano”. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2011.
- SANTOS, P. T. S.; SANTOS, S. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; MOURA, G. S. S.; ANTONINO, A. C. D. (2013). “Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial”. Ambiente Construído 13(1), pp. 161-174.
- WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. B.; ANJOS, R. S.; ALMEIDA, C. A. P. (2018). “As chuvas na cidade do Recife: Uma climatologia de extremos”. Revista Brasileira de Climatologia 22, 149-164.
- YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. (2008). “Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago”. Atmospheric Environment 42(31), pp. 7266-7273.
- ZHANG, X.; ZHU, J.; WENDROTH, O.; MATOCHA, C.; EDWARDS, D. (2019). “Effect of macroporosity on pedotransfer function estimates at the field scale”. Vadose Zone 18(1), pp. 1-15.