UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº17.228 de 25/11/2016
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS
SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2021

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA APROVEITAMENTO RACIONAL DE ÁGUA DE CHUVA EM MEIOS URBANOS

Caio Enrique Moura Seara[1] ; Anderson de S. M. Gadea[2]
1. Bolsista FAPESB, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: caiomseara@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: gadea@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: água de chuva; captação de água de chuva; otimização.

INTRODUÇÃO

A ausência de água visando o abastecimento, e a concentração das chuvas impactam sobremaneira a vida das famílias que residem no semiárido brasileiro. De modo geral, pode-se dizer que a água é o principal fator limitante às atividades agrícolas, pecuárias e a vida das pessoas. A escassez de água interfere no plantio, no bem-estar dos animais e afeta por completo as atividades de subsistência da população rural (MARINOSKI A. K., 2008). Nas zonas urbanas, tem-se observado um aumento da demanda de água vinda da concessionária. Tal situação, gera um aumento da demanda nas principais fontes, ao passo de que fontes alternativas de abastecimento são pouco utilizadas, ou até ignoradas (PELAK N., 2016).

De acordo com (ALVES *et al.*, 2016), é necessária uma abordagem ambiental para este problema, onde deve-se dar ênfase para o uso de tecnologias alternativas. Assim, o uso de um sistema de captação e armazenamento de água da chuva (SCAC) torna-se uma solução viável para reduzir as demandas das concessionárias, além de apresentar uma possível redução do escoamento superficial em áreas urbanas (WALSH *et al.*, 2014).

Este estudo visa discutir o uso de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva em meio urbano e apresentar uma ferramenta computacional que permita reduzir o custo do consumo de água a partir do uso híbrido de água de chuva e água da concessionária. Além disso, em seu desenvolvimento, foram feitas atualizações na ferramenta computacional TOROH (GIFFONI V. V., 2019), desenvolvida para o dimensionamento de SCAC, o que permitiu a realização de análises mais abrangentes.

METODOLOGIA

Neste trabalho, foi utilizado como referência o software NETUNO (GHISI E., 2014) e o TOROH, que realiza a análise da eficiência do sistema de coleta através do método de balanço de massas (FEWKES A., 2000), aplicando a metodologia do método racional. O TOROH, foi reescrito em linguagem Python 3, e teve incorporadas novas rotinas que

expandiram a sua capacidade de simulação de SCAC, e permitiram a escolha racional do melhor conjunto (área de captação e volume de reservatório). Essa funcionalidade permite um melhor aproveitamento do potencial de hibridização do sistema; isto é, a utilização conjunta de água de chuva e/ou água da concessionaria em meio urbano. Para a modelagem de sistemas de coleta de água de chuva, o TOROH utiliza como dados primários de entrada a área de captação, o volume do reservatório, a precipitação anual média e a demanda de água da residência. O TOROH faz uso das seguintes equações, propostas por FEWKES A. (2000), para realizar o seu balanço hídrico:

$$Q(t) = P(t) \times A \times C \tag{1}$$

Sendo $Q(t)$ o volume de água escoado no tempo t em litros, $P(t)$ é a precipitação no tempo t em milímetros, A é a área efetiva de coleta em m² e C o coeficiente de escoamento superficial associado ao tipo de superfície e t é o intervalo temporal estudado, no caso deste trabalho, utilizamos o tempo t em dias.

$$Y_t = \min\{(D_t), (V_{t-1} + \theta Q(t))\} \tag{2}$$

$$V_t = \min\{(V_{t-1} + Q_t - Y_t), (R - (1-\theta)Y_t)\} \tag{3}$$

Onde V_t é volume efetivamente armazenado em litros no tempo t, Y_t o rendimento de V_t em litros ao longo do tempo t, R é capacidade do reservatório escolhido dado em litros, D_t a demanda diária requerida ao sistema em litros e θ é um parâmetro que descreve a sensibilidade do enchimento do reservatório.

A eficiência de atendimento do SCAC, é dada como a razão entre o Y_t utilizado durante o período analisado e a demanda total. Tal grandeza expressa a proporção da demanda total que foi atendida pelo sistema de coleta e é dada em percentual.

$$EA = \left(\frac{\sum Y_t}{\sum D}\right) \times 100 \tag{4}$$

Assim, EA é a eficiência de atendimento do sistema de coleta dada em %.

RESULTADOS

Para exemplificar o funcionamento das rotinas implementadas, foram feitas algumas simulações e comparações dos resultados com o software de referência, isto é, o Netuno. Inicialmente observa-se a rotina para a cálculo da eficiência de um SCAC. Foi simulada um sistema com área de captação de 100 m², reservatório com volume máximo de 20 m³, variação volumétrica de 1 m³ (ΔV - passo da simulação), demanda diária de 150 litros, um coeficiente de escoamento superficial igual a 0,8 e uma série histórica de precipitações para a cidade de Feira de Santana – BA, no período de 1997 a 2017. No sistema em questão, foi encontrado o valor de 11 m³ para o volume ideal. Esse volume será capaz de atender ao consumo com uma eficiência EA = 88,03%, conforme pode ser observado na Figura 1. A mesma simulação realizada no programa de referência (Netuno), encontrou o volume de 11 m³ com uma EA = 86,88%, demonstrando que os resultados estão coerentes.

Além dos valores ótimos identificados automaticamente, observa-se também, na Figura 1, uma relação de possíveis soluções acrescidas das informações: percentual de dias atendidos, percentual de dias não atendidos, percentual de dias parcialmente atendidos, consumo de água da concessionária em litros/dia (necessário para o atendimento da demanda) e o consumo de água pluvial em litros/dia. Ressalta-se que todas as soluções

atendem aos critérios definidos. O volume ótimo, que foi calculado automaticamente, foi definido como o valor para o qual ao se acrescer mais um passo (ΔV), produzirá uma elevação da eficiência inferior a 1%/m³. Nessa circunstância, o acréscimo de eficiência não é compensado pelo incremento no custo do reservatório.

Resultados

Volume (L)	E. A. (%)	Dias At. (%)	Dias P. At. (%)	Dias N. At. (%)	Consumo concessionária (L/dia)	Consumo água pluvial (L/dia)
0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	150.0	0.0
1000.0	54.74	49.97	10.38	39.64	67.89	82.11
2000.0	64.63	61.28	7.36	31.34	53.05	96.95
3000.0	70.26	67.63	5.78	26.58	44.62	105.38
4000.0	74.42	72.09	4.92	22.97	38.37	111.63
5000.0	77.7	75.71	4.16	20.12	33.45	116.55
6000.0	80.25	78.56	3.65	17.78	29.62	120.38
7000.0	82.6	81.08	3.23	15.68	26.1	123.9
8000.0	84.45	83.04	2.92	14.03	23.33	126.67
9000.0	86.0	84.79	2.51	12.69	20.99	129.01
10000.0	87.13	86.03	2.33	11.63	19.3	130.7
11000.0	88.03	86.98	2.17	10.84	17.96	132.04
12000.0	88.92	87.96	1.93	10.1	16.62	133.38
13000.0	89.82	88.88	1.82	9.28	15.27	134.73
14000.0	90.6	89.77	1.65	8.57	14.1	135.9
15000.0	91.31	90.52	1.54	7.93	13.03	136.97
16000.0	92.03	91.3	1.42	7.27	11.95	138.05
17000.0	92.66	91.99	1.29	6.71	11.01	138.99
18000.0	93.29	92.65	1.26	6.07	10.07	139.93
19000.0	93.75	93.15	1.15	5.69	9.38	140.62
20000.0	94.02	93.43	1.14	5.42	8.97	141.03

Figura 1: Tabela da Análise de Eficiência

Na Figura 2 observa-se um gráfico que permite a análise da variação da eficiência de atendimento em função do volume do reservatório escolhido.

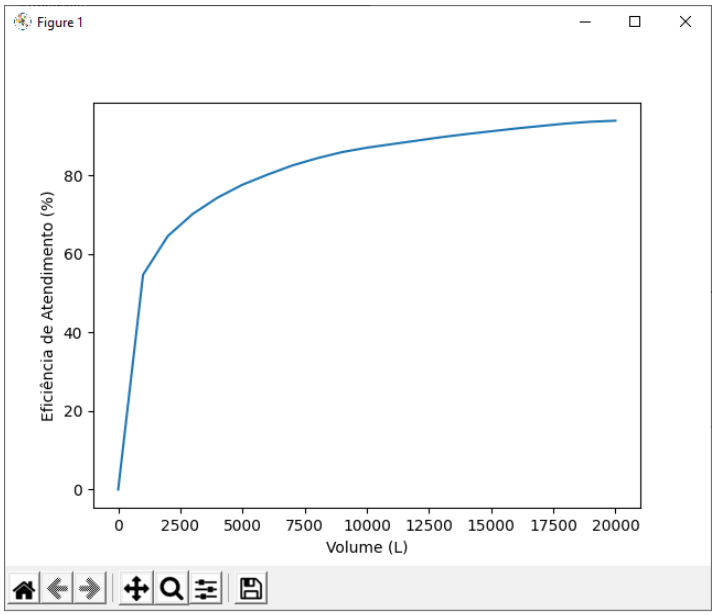

Figura 2: Gráfico Volume x Eficiência de Atendimento

Também foi acrescido ao TOROH uma rotina que permite a análise mensal da EA de um SCAC em áreas urbanas. Exemplifica-se o funcionamento dessa rotina a partir da simulação na qual serão utilizados os mesmos dados da simulação anterior. Nesse tipo de simulação o TOROH fornece uma tabela com os 12 meses do ano e as suas respectivas eficiências de atendimento média para o SCAC, além do consumo médio de água da concessionária (m³), o consumo médio de água pluvial (m³), e o respectivo custo com a concessionária conforme pode ser observado na Figura 3. O custo com a concessionária

foi estimado com base nas tarifas da EMBASA, para uma habitação residencial, desprezando-se custos com esgoto.

Resultados

Mês	P.A. (%)	Consumo concessionária (m³)	Consumo água pluvial (m³)	Custo com a Concessionária (R$)
Jan	91.34	0.4	4.25	29.9
Fev	96.76	0.14	4.1	29.9
Ma	86.2	0.64	4.01	29.9
Abr	81.61	0.83	3.67	29.9
Ma	96.4	0.17	4.48	29.9
Jun	99.88	0.01	4.49	29.9
Jul	97.54	0.12	4.75	29.9
Ago	98.78	0.06	4.59	29.9
Set	93.88	0.28	4.22	29.9
Out	92.72	0.34	4.31	29.9
Nov	100.0	0.0	4.5	29.9
Dez	93.9	0.28	4.37	29.9

Figura 3: Tabela da Análise Mensal

Por fim, também é exibido um gráfico onde se pode observar a variação da eficiência média de atendimento ao longo dos meses do ano, conforme pode ser observado na Figura 4.

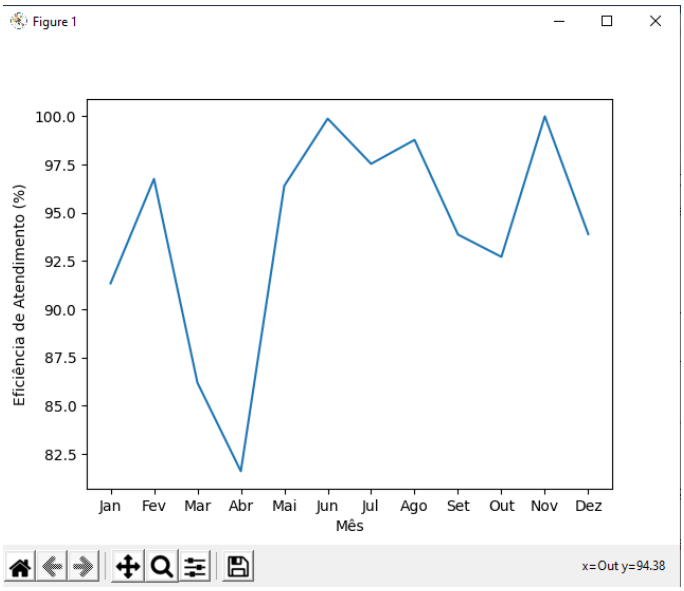

Figura 4: Gráfico Mês x Eficiência de Atendimento

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que após a conversão do TOROH para uma linguagem de programação de utilização livre, multiplataforma e de fácil aprendizado que é o Python, e com a implementação de novas funcionalidades, houve um ganho significativo em seu potencial de utilização. Essa atualização permite dimensionar e analisar a eficiência de atendimento de um SCAC em meio urbano, acrescentando uma maior flexibilização na escolha da melhor combinação área de captação/reservatório que mais se adequem às condições específicas de uma região/cidade.

REFERÊNCIAS

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC.** *Ambiente Construído*, [s. 1.], n. 48, p. 67-84, 2008.

PELAK, N.; PORPORATO, A. **Sizing a Rainwater harvesting cisterna by minimizing costs**. *Journal of Hydrology*, [s. 1.], v. 541, p. 1340-1347, 2016.

ALVES, D. V., NUNES, J. S., & FARIA, L. P. P. 2016. **Aplicabilidade do aproveitamento de águas pluviais em grandes centros urbanos: estudo de caso aplicado a uma residência de Belo Horizonte (MG)**. *Revista Petra*, 2(2), 174-189.

WALSH, Thomas C.; POMEROY, Christine A.; BURIAN, Steven J. **Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in na urbanized semi-arid watershed**. *JOURNAL OF HYDROLOGY*, [s. 1.], v. 508. p. 240-253, 2014.

GIFFONI, V. V. **Otimização do sistema de captação e armazenamento de água de chuva no semiárido baiano**. 2019. 132 f. *Dissertação de Mestrado* – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4 - Manual do Usuário**. Santa Catarina, 2014.

FEWKES, A. **Modelling the permonance of rainwater collection systems: towards a generalized approach**. *Urban water*, v. 1, n. 4, p. 323-333, 2000.