

## IX-008 - USO DO PCSWMM PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA DE UM DIMENSIONAMENTO MODULAR DE BIORRETENÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

**César Ambrogi Ferreira do Lago**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Mestrando em Engenharia Hidráulica e Saneamento na EESC/USP

**Altair Rosa**<sup>(2)</sup>

Engenheiro Ambiental pela PUC-PR. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professor na PUC-PR.

**Marina Batalini de Macedo**<sup>(3)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento na EESC/USP

**Vladimir Caramori Borges de Souza**<sup>(4)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor na Universidade Federal do Alagoas.

**Eduardo Mário Mendiondo**<sup>(5)</sup>

Engenheiro de Recursos Hídricos da Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídrica, Universidad Nacional del Litoral, Argentina (FICH-UNL). Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor na Universidade de São Paulo

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Conselheiro João Alfredo 540 AP 1006– JD Paraíso -São Carlos – SP- Brasil - CEP: 13561-110 - Tel: +55 (35) 98847-2173 - e-mail: [cesar-lago@hotmail.com](mailto:cesar-lago@hotmail.com).

### RESUMO

Técnicas compensatórias de drenagem urbana, possuem o objetivo de reduzir o escoamento superficial gerado em excesso resultante da urbanização e, algumas delas como a biorretenção, realizar um tratamento qualitativo das águas pluviais. Entretanto, mudanças à montante destas técnicas, como o aumento da área impermeável, podem sobrecarregá-las e comprometer suas eficiências quando não contabilizadas no projeto. Este trabalho analisa um dimensionamento modular adaptativo a mudanças na ocupação do solo a montante de uma técnica de biorretenção instalada no campus 2 da Universidade de São Paulo, em São Carlos. Uma coleta de dados foi realizada para determinação dos parâmetros do modelo, que foram calibrados com 3 eventos de chuva que foram monitorados quali-quantitativamente. Em seguida, simulações foram realizadas para 4 diferentes cenários, sendo 1 presente e 3 futuros, com e sem o uso dos módulos para fins de comparação, a partir dos quais um balanço hídrico e de massa de poluentes foi realizado para as eficiências quantitativas e qualitativas respectivamente. As simulações sugerem que as eficiências caem continuamente ao longo dos cenários quando não são utilizados os módulos, de 90.7 e 91.2 % para 64.9% e 65.8% quanto a eficiência quantitativa e qualitativa respectivamente. Com o uso dos módulos entretanto, as eficiências se mantêm acima de 80%, com uma queda de eficiência entre 2015 e 2025 devido a área do módulo ser relativamente pequena. Apesar da queda nas eficiências 2015 e 2025, o uso dos módulos preveniu a constante queda da eficiência e se mostra como um método capaz de adaptar a técnica às mudanças do campus ao longo dos anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem hidrológica, eficiências quali-quantitativa, águas pluviais.

### INTRODUÇÃO

A urbanização resulta em um aumento na impermeabilidade do solo, alterando, assim, o ciclo hidrológico natural ao reduzir a infiltração (Elliot & Trowsdale, 2007), diminuir a evapotranspiração com a remoção da vegetação (Smith & Banting, 2005), aumentar o escoamento superficial (Lucas and Sample 2015). Além dos poluentes serem lavados mais fácil e rapidamente (Alberti et al., 2007), que gera uma maior degradação dos corpos hídricos urbanos.

Com a finalidade de se amenizar e mitigar estes impactos, utiliza-se diversas tecnologias alternativas, ou técnicas compensatórias, para um tratamento não apenas quantitativo, mas também qualitativo das águas

pluviais para um sistema de drenagem urbana mais sustentável. Para este tipo de abordagem, surge a terminologia SUDS (Sustainable Urban Drainage System), caracterizada por uma sequência de técnicas de drenagem que trabalham juntas para tentar replicar as características naturais de pré-urbanização de uma determinada área (Fletcher, 2015). Célula de biorretenção é exemplo de técnica compensatória (Erickson et al., 2013), sendo depressões naturais ou escavadas com camadas de material filtrante (normalmente areia, solo e matéria orgânica), vegetação, vertedouro de sobrecarga e um dreno na parte inferior quando o solo possui baixa permeabilidade (Lucas & Sample, 2015).

Rosa et al., (2016) propôs um dimensionamento modular para biorretenções adaptativo às mudanças no uso e ocupação no solo, com a finalidade de se manter as eficiências quali-quantitativa com o aumento na geração de escoamento superficial decorrente do aumento na urbanização.

## OBJETIVO

Este estudo objetiva avaliar a performance, através do programa PCSWMM, do dimensionamento modular proposto para o campus 2 da Universidade de São Paulo na cidade de São Carlos, com base na ocupação prevista para o local até o ano de 2100.

## METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada uma aquisição de dados para o modelo. A precipitação foi medida a partir de um pluviógrafo no campus. Os componentes hidráulicos, da sub bacia e do sistema de biorretenção foram levantados. Um modelo digital de elevação (ou digital elevation model - DEM) foi utilizado para se delimitar a área de contribuição e estimar sua declividade. Baseada na análise dos dados de SIG (sistema de informação geográfica) e imagens de satélite, a superfície foi classificada em áreas impermeáveis (construções estradas, estacionamentos) e permeáveis. Três eventos de chuva foram monitorados, na biorretenção já instalada no Campus, para calibrar os valores de entrada e saída da biorretenção. O fluxograma, apresentado na figura 1, mostra as etapas de preparação e execução do modelo.

Com os dados calibrados, simulou-se quatro cenários com o programa PCSWMM: um atual (2015), com as características da área de contribuição e dimensões atuais da biorretenção; e três futuros (2025, 2050 e 2100), com a inserção dos módulos propostos e considerando a porcentagem impermeável da área de contribuição de acordo com a ocupação prevista para cada um dos anos. Com a finalidade de se comparar a eficácia dos módulos, simulou-se também as diferentes ocupações com as características atuais da biorretenção. As simulações foram realizadas com a precipitação registrada entre Janeiro de 2015 e Março de 2016, totalizando 15 meses simulados. Pode-se observar as características dos cenários na tabela 1.

**Tabela 1. Características da biorretenção e a ocupação do Campus em cada cenários**

Ano	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ocupação (%)
2015	5,6	10,9	63	25
2025	5,6	13	72,8	50
2050	5,6	21	117,6	75
2100	5,6	25	140	85

Obteve-se então, através das simulações, os balanços hídricos e de massa dos poluentes para se estimar respectivamente as eficiências quantitativa e qualitativa em cada cenários. Os parâmetros analisadas para a eficiência qualitativa foram demanda química de oxigênio, fosfato, nitrito, nitrato, ferro, zinco, chumbo, níquel e cádmio.

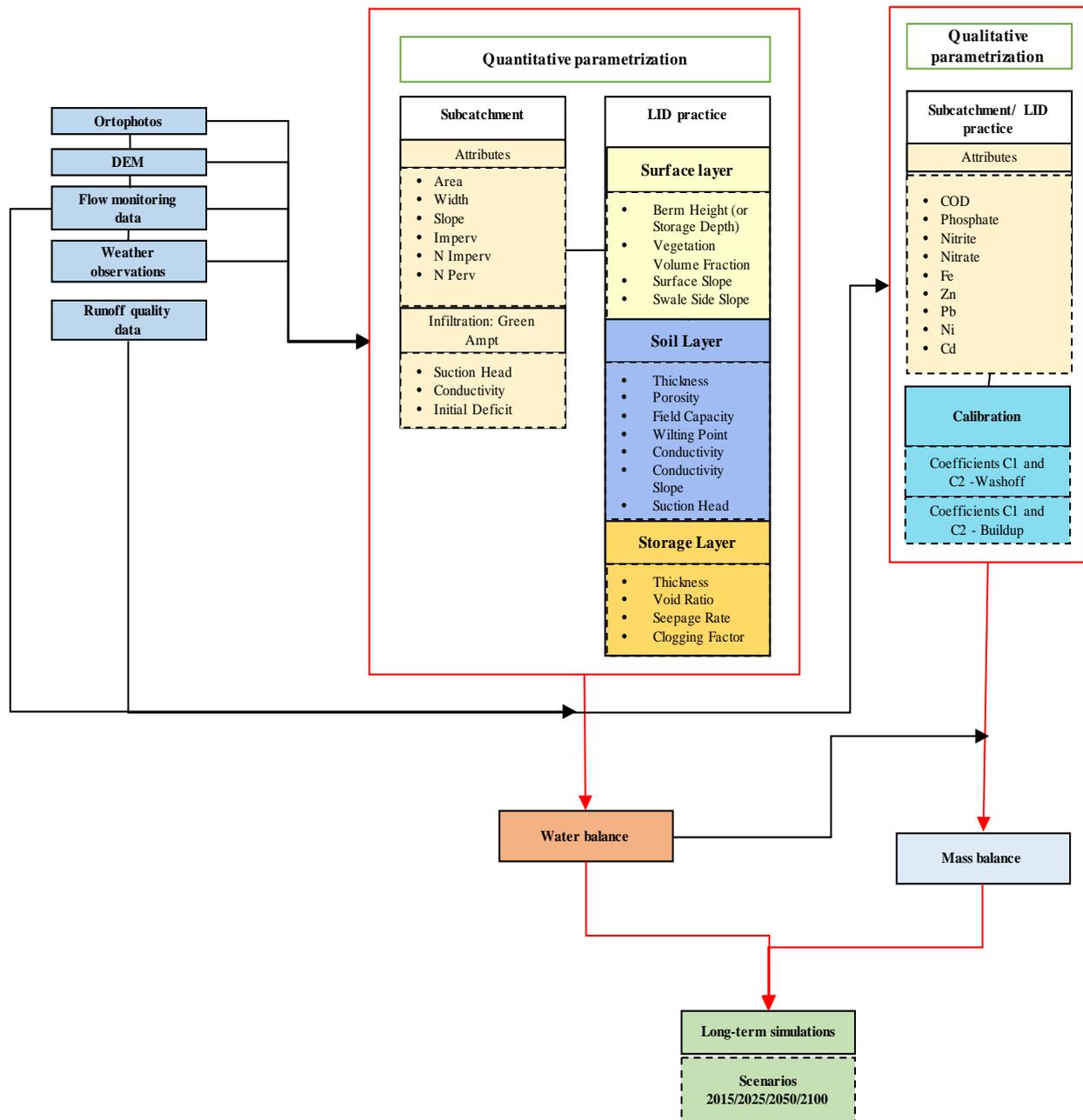


Figura 1. Fluxograma do modelo hidrológico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As eficiências quantitativas para os cenários podem ser observadas na tabela 2, juntamente com o volume de água de entrada, de saída e armazenado pela biorretenção. Nota-se que a biorretenção apresentou uma maior eficiência para o cenário de 2015, com 90.7% do volume de entrada retido, e que a eficiência é comprometida nos cenários futuros, nos quais a eficiência decresce continuamente até um valor de 64.9% em 2100.

**Tabela 2. Eficiência quantitativa para os cenários sem a aplicação dos módulos**

	Volume em Milhões de litros			
	2015	2025	2050	2100
Entrada	8,8	17,4	25,9	29,5
Saída	0,8	4,65	8,62	10,34
Volume Armazenado	8,0	12,75	17,28	19,16
Eficiência %	90,7	73,3	66,7	64,9

Observa-se também a influência da eficiência quantitativa na eficiência qualitativa, mostrada na tabela 3, que também decai de 91,2%, em 2015, para 65,8%, em 2100. A porcentagem de remoção de ferro foi a maior para todos os cenários, já a menor remoção varia entre os cenários. A tabela 3 também mostra a massa de entrada e a saída da biorretenção para cada parâmetro analisado.

**Tabela 3, Eficiência quantitativa para os cenários sem a aplicação dos módulos**

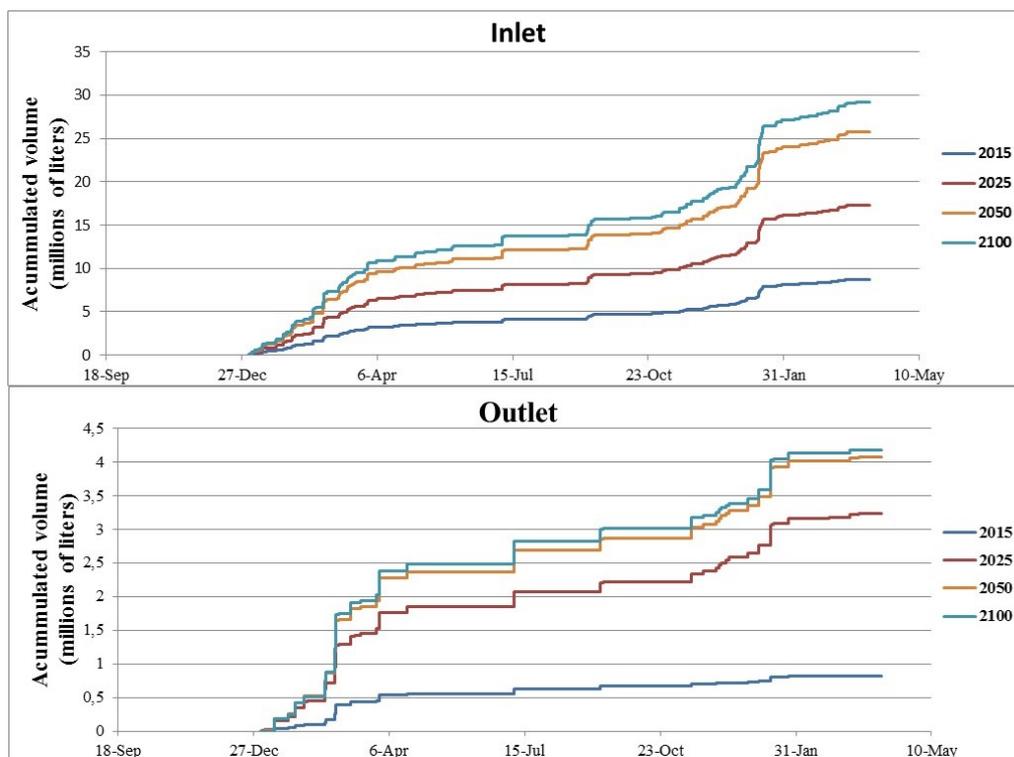
	2015			2025			2050			2100		
	Entrada	Saída	Ef. (%)	Entrada	Saída	Ef. (%)	Entrada	Saída	Ef. (%)	Entrada	Saída	Ef. (%)
	Massa (Kg)	Massa (Kg)		Massa (Kg)	Massa (Kg)		Massa (Kg)	Massa (Kg)		Massa (Kg)		
Cd	0,18	0,02	91,0	0,35	0,09	73,4	0,52	0,17	66,9	0,59	0,21	64,9
DQO	134,21	12,35	90,8	263,03	69,82	73,5	390,38	129,25	66,9	441	155,16	64,8
Fe	1,71	0,09	94,7	2,64	0,51	80,6	3,57	0,95	73,4	3,93	1,14	71,0
Ni	0,62	0,06	90,7	1,22	0,33	73,3	1,82	0,60	66,9	2,05	0,72	64,7
Nitrato	0,86	0,07	91,4	1,64	0,42	74,5	2,4	0,78	67,7	2,7	0,93	65,5
Nitrito	0,01	0	90,0	0,02	0,01	75,0	0,03	0,01	70,0	0,03	0,01	66,7
Pb	0,44	0,04	90,8	0,87	0,23	73,2	1,3	0,43	66,8	1,47	0,52	64,8
Fosfato	0,63	0,06	90,7	1,23	0,33	73,5	1,82	0,60	66,9	2,06	0,72	64,9
Zn	2,93	0,27	90,7	5,76	1,54	73,3	8,56	2,85	66,8	9,68	3,42	64,7
Ef. Média. (%)			91,2			74,5			68,0			65,8

A Tabela 4 apresenta a entrada, saída e os volumes do escoamento infiltrado para os anos de 2015, 2025, 2050 e 2100 com os módulos propostos. Da presente data para o ano de 2025, as simulações mostram uma queda na porcentagem de infiltração, porém uma queda menor caso não houvesse o módulo, e esta porcentagem tende a crescer para os anos simulados seguintes, diferentemente dos cenários futuros sem os módulos.

**Tabela 4. Eficiência quantitativa para os cenários com a aplicação dos módulos**

	Volume em Milhões de litros			
	2015	2025	2050	2100
Entrada	8,8	17,4	25,9	29,5
Saída	0,8	3,2	4,1	4,2
Volume armazenado	8	14,2	21,9	25,1
Eficiência %	90,7	81,4	84,3	85,9

O volume acumulado na entrada e na saída do sistema de biorretenção com módulos foi analisado em cada cenário, mostrados na figura 2. O comportamento da curva do volume acumulado reage como esperado no período seco e de chuva, com uma acumulação mais acentuada nos meses mais chuvosos. Entretanto, para a saída, o acúmulo tende a ser mais uniforme durante o ano, o que sugere que a biorretenção proporciona uma resiliência ao operar nos dois períodos do ano (seco ou chuvoso). Observa-se também a capacidade da biorretenção em reter pequenos volumes de escoamento, representados por pequenos incrementos no gráfico de entrada, que, para o mesmo período destes incrementos, não apresenta alterações no gráfico de saída.



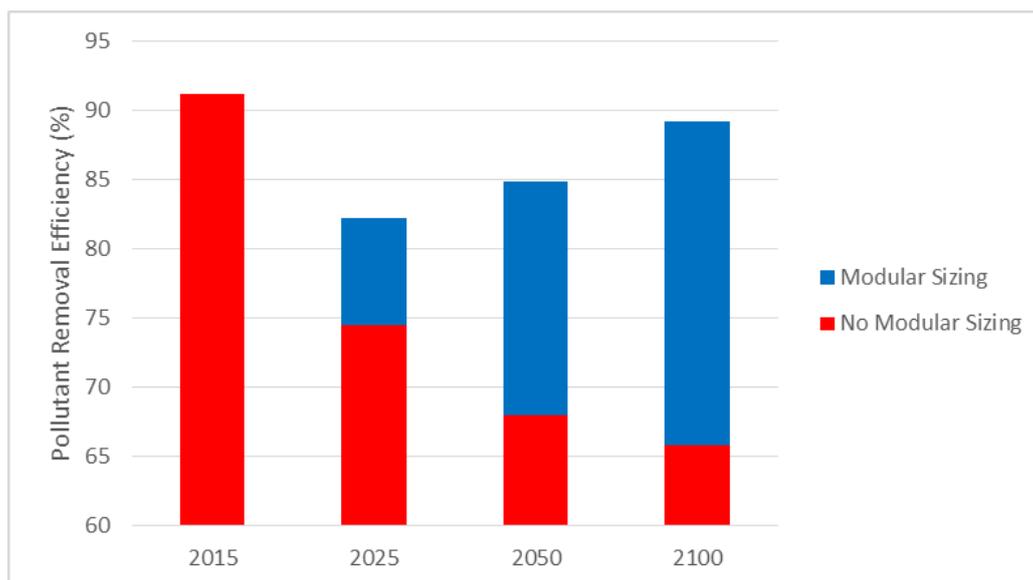
**Figura 2. Volumes acumulados de entrada e saída com módulos aplicados**

A eficiência qualitativa para os cenários com os módulos, mostrada na tabela 5, também se assemelha à eficiência quantitativa. A eficiência qualitativa é maior no ano de 2015 com 91,2%, caindo em 2025 para 82,3%, subindo nos anos subsequentes até 86,2% em 2100. Aplicando os módulos, o ferro também é o parâmetro que apresenta a maior eficiência de remoção.

**Tabela 5. Eficiência qualitativa para os cenários com a aplicação dos módulos**

	2015			2025			2050			2100		
	Entrada		Ef. (%)									
	Massa (Kg)	Massa (Kg)		Massa (Kg)	Massa (Kg)		Massa (Kg)	Massa (Kg)		Massa (Kg)	Massa (Kg)	
Cd	0,18	0,02	91,01	0,35	0,07	81,43	0,52	0,08	84,42	0,59	0,08	85,86
DQO	134,21	12,35	90,8	263,03	48,54	81,54	390,38	60,94	84,39	441	62,53	85,82
Fe	1,71	0,09	94,69	2,64	0,36	86,53	3,57	0,45	87,46	3,93	0,46	88,33
Ni	0,62	0,06	90,66	1,22	0,23	81,44	1,82	0,28	84,37	2,05	0,29	85,78
Nitrato	0,86	0,07	91,43	1,64	0,29	82,2	2,4	0,37	84,74	2,7	0,38	86,12
Nitrito	0,01	0,001	90	0,02	0,002	83,33	0,03	0,003	85,19	0,03	0,003	86,67
Pb	0,44	0,04	90,77	0,87	0,16	81,44	1,3	0,2	84,36	1,47	0,21	85,82
Fosfato	0,63	0,06	90,72	1,23	0,23	81,48	1,82	0,28	84,4	2,06	0,29	85,8
Zn	2,93	0,27	90,7	5,76	1,07	81,46	8,56	1,34	84,34	9,68	1,38	85,78
<b>Ef. Média (%)</b>			<b>91,2</b>			<b>82,3</b>			<b>84,9</b>			<b>86,2</b>

A figura 3 compara as eficiências qualitativas médias na presença e ausência dos módulos. Percebe-se que o uso dos módulos previne quedas na eficiência ao longo dos anos pelo aumento da área impermeável. Os módulos são responsáveis por um incremento de 7,8, 16,9 e 23,4% na eficiência para os anos de 2025, 2050 e 2100 respectivamente.



**Figura 3, Comparativo das eficiências qualitativas médias**

A queda de eficiência com o uso dos módulos entre 2015 e 2025 se deu principalmente pelo crescimento não proporcional da área da biorretenção em relação ao crescimento da área impermeável. Entre 2015 e 2025 se espera que a área impermeável no campus dobre, enquanto o aumento da área da biorretenção aumenta apenas 15,6%, levando a uma queda de 8,9% na eficiência qualitativa. Para os cenários seguintes, porém, o aumento da área da biorretenção é maior que da área impermeável que resulta em um aumento de eficiência da técnica.

**Tabela 6, Comparação entre os cenários para eficiência qualitativa**

Cenários comparados	Crescimento da área impermeável (%)	Crescimento da área da biorretenção (%)	Diferença na eficiência (%)
2015-2025	100,0	15,6	-8,9
2025-2050	50,0	61,5	2,6
2050-2100	13,3	19,1	4,3

## CONCLUSÃO

As eficiências quali-quantitativa se mostraram altas para os cenários com módulos, acima de 80%, mostrando que a biorretenção é capaz de prevenir cheias e o aporte de poluentes em corpos hídricos. Sem a aplicação dos módulos, porém, as eficiências quali-quantitativa podem chegar a valores próximos de 65%, apresentando impactos positivos menos significativos. Os resultados mostram que a aplicação dos módulos se mostrou eficaz para se manter as eficiências quali-quantitativas nos cenários, sendo uma técnica de dimensionamento eficiente para adaptar células de biorretenção às mudanças na porcentagem de área impermeável resultantes da urbanização. Porém a queda de eficiência entre os anos de 2015 e 2025 sugere que as dimensões do módulo proposto para este deve ser revisto. Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se considerar o fenômeno da colmatção para estimativas mais precisas da performance da biorretenção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTI, M., BOOTH, D., HILL, K., COBURN, B., AVOLIO, C., COE, S., SPIRANDELLI, D., (2007). The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: An empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape Urban Plan.* 80, 345-361.
- ELLIOTT, A. H., & TROWSDALE, S. A. (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modelling and Software*, 22(3), 394-405. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.005>

3. ERICKSON, Andrew J.; WEISS, Peter T.; GULLIVER, John S. Optimizing storm water treatment practices. *A Handbook of Assessment and Maintenance*, v. 1, n. 1, p. p1-337, 2013.
4. FLETCHER, T. D., et al. 2014. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of Terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*.
5. LUCAS, W. C., & SAMPLE, D. J. (2015). Reducing combined sewer overflows by using outlet controls for Green Stormwater Infrastructure: Case study in Richmond, Virginia. *Journal of Hydrology*, 520, 473–488. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.029>
6. ROSA, A. . Bioretention for diffuse pollution control in SUDS using experimental-adaptative approaches of ecohydrology. 2016. PhD Thesis. School Of Engineering At São Carlos, University Of São Paulo, São Carlos, Brazil.
7. SMITH, D., LI, J., & BANTING, D. (2005). A PCSWMM/GIS-based water balance model for the Reesor Creek watershed. *Atmospheric Research*, 77(1–4 SPEC. ISS.), 388–406. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.12.010>