

IX-057 – USO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO CONTROLE QUALI-QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO

Andréa Souza Castro⁽¹⁾

Engenheira Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Professora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre.

Joel Avruch Goldenfum⁽²⁾

Professor Associado do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Pós-Doutorado em Engenharia Civil / Hidrologia Urbana - INSA-Lyon. Doutor em Engenharia Civil/Hidrologia – Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS. Engenheiro Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Avenida do Forte, 958 apto 434 – Vila Ipiranga – Porto Alegre - RS - CEP: 91360-001 - Brasil - Tel: (51) 8188-8321 e-mail: andreascastro@gmail.com

RESUMO

Os pavimentos permeáveis com uma estrutura de camada reservatório, são dispositivos de controle na fonte que atuam no controle da produção do escoamento superficial, permitindo que a água proveniente da chuva passe através deles, reduzindo desse modo o escoamento superficial e criando a possibilidade de filtração de alguns poluentes, os quais são lavados durante um evento chuvoso.

Estas estruturas são utilizadas para infiltração de água no solo e podem oferecer uma alternativa para disposição da água do escoamento superficial urbano sem ocupar áreas adicionais.

Este estudo avalia quali-quantitativamente o escoamento superficial proveniente de um estacionamento com pavimentos permeáveis construído no ano de 2003, com aproximadamente 264m² de área, dividido em dois tipos de revestimento: asfalto poroso e blocos vazados cobertos por gramíneas.

Para os nove eventos estudados no ano de 2008, os resultados da análise quantitativa mostram que o revestimento de asfalto poroso apresentou um escoamento superficial maior do que o revestimento de blocos vazados, sendo que neste o escoamento superficial foi menor que 13%. O maior escoamento superficial observado foi no dia 28/05/2008 para o revestimento de asfalto poroso.

Os resultados mostram que a qualidade da água que infiltrou através do pavimento poroso para os eventos analisados está dentro dos parâmetros esperados, sendo algumas análises de melhor qualidade se comparadas à resolução 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

PALAVRAS-CHAVE: escoamento superficial, pavimentos permeáveis, qualidade da água.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano implicou na impermeabilização de grandes áreas, modificando o ciclo hidrológico natural. A parcela da água que infiltrava no solo passou a incorporar o escoamento superficial, dada a redução da interceptação vegetal, infiltração e evapotranspiração pela retirada da sua proteção natural. A consequência deste processo é um aumento nos volumes escoados, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, provocando assim hidrogramas de cheias cada vez mais críticos.

Do ponto de vista da qualidade, a urbanização causa uma deterioração importante das águas de escoamento pluvial, em decorrência do acúmulo de poluentes sobre as superfícies urbanas. As alternativas de infiltração procuram favorecer os processos hidrológicos alterados durante a urbanização, objetivando a reconstituição das condições de pré-ocupação. Essas estruturas buscam compensar os efeitos da urbanização na fonte, ou seja, antes que a água atinja a rede de drenagem. Além de atuarem na diminuição das vazões máximas, as estruturas de infiltração podem ajudar também na remoção e no controle de poluentes do escoamento superficial, bem como na recarga das águas subterrâneas.

Os pavimentos permeáveis são dispositivos de controle na fonte, que atuam no controle da produção do escoamento superficial, permitindo que a água proveniente da chuva passe através deles, reduzindo desse modo o escoamento superficial e possibilitando a filtração de alguns poluentes, os quais são lavados durante um evento chuvoso (Andrade Filho *et al.*, 2000 e EPA, 1999).

No que se refere à qualidade, a literatura internacional apresenta diversos pesquisadores (Collins *et al.*, 2008; Brattebo e Booth 2003; Pagotto *et al.*, 2000; Balades *et al.*, 1998) que têm trabalhado na tentativa de se aferir a influência e o risco de poluição das águas subterrâneas e do solo no entorno de dispositivos de infiltração.

Apesar de alguns autores, tais como Brattebo e Booth (2003) e Pagotto *et al.* (2000), terem encontrado resultados positivos para utilização de pavimentos permeáveis no que diz respeito ao controle do escoamento superficial e a melhoria da qualidade da água, os resultados ainda não são conclusivos. Existe a possibilidade de que os bons resultados encontrados pelos autores citados acima, no que diz respeito à qualidade da água resultante da infiltração no pavimento, repitam-se para as condições brasileiras. Mas é importante ressaltar que, apesar dos resultados extremamente positivos com uso de pavimentos permeáveis para retenção de poluentes encontrados pelos autores, o bom desempenho dessas estruturas não pode ser transferido para outras regiões. A maioria dos estudos é realizada principalmente na Europa e Estados Unidos, locais que possuem características de clima, solo e precipitação muito distintas se comparadas com as do Brasil. Por esse motivo, o impacto desse tipo de técnica deve ser amplamente estudado em nosso país, principalmente no que se refere à qualidade da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

O pavimento permeável consiste em um módulo experimental composto de um estacionamento com pavimento permeável de reservatório de brita, que foi monitorado para avaliação desse dispositivo no controle quali-quantitativo dos excessos pluviais.

O dimensionamento da estrutura e os resultados de um ano de monitoramento quantitativo dessa estrutura são descritos em ACIOLI (2003 e 2005).

A instalação experimental consta de um lote de estacionamento localizado no IPH/UFRGS com uma área de 264 m² e capacidade para 16 automóveis de passeio. O pavimento foi dividido em duas partes iguais. Uma metade do estacionamento é revestida de asfalto poroso e a outra metade com o revestimento de blocos vazados.

Neste experimento há diversos dispositivos de monitoramento, de modo a possibilitar o cálculo do balanço hídrico do sistema e avaliar seu comportamento quali-quantitativo. Para o monitoramento do nível de água no reservatório de brita, foram instalados em cada módulo do pavimento três poços de observação, com sensores de nível. Para a coleta e medição do escoamento superficial foram instaladas em cada lado do pavimento calhas que conduzem a água do escoamento superficial para reservatórios coletores, onde a vazão de saída é vertida para um reservatório em acrílico equipado com vertedor triangular. Para a análise qualitativa da água foram instalados reservatórios (bombonas de 30 litros) para a coleta da água que infiltra na estrutura, tanto na parte superficial, quanto no fundo de cada módulo durante os eventos chuvosos. Para a caracterização da qualidade da água utilizou-se como comparação portaria CONAMA 357/05 de 2005 que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” (BRASIL, 2005).

O pavimento foi construído junto ao bloco de ensino do IPH, onde estão situadas as salas de aula e a biblioteca. Esta área se caracteriza por ter tráfego de veículos leves e esporadicamente ter acesso de veículos pesados, servindo basicamente como estacionamento. O pavimento construído pode ser observado nas figuras 1 e 2.

ACIOLI *et al.* (2005) apresentam o dimensionamento da estrutura, o detalhamento dos dispositivos de monitoramento e os resultados de um ano de monitoramento quantitativo dessa estrutura (primeira etapa de monitoramento), sem efetuar análises qualitativas. Os resultados destes trabalhos anteriores indicam que o pavimento permeável analisado apresentou ótimo comportamento no controle da geração de escoamento superficial.

O presente estudo apresenta resultados e de uma segunda etapa de monitoramento, efetuada em 2008, incluindo análises qualitativas e quantitativas.



Figura 1: Pavimento permeável instalado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS.

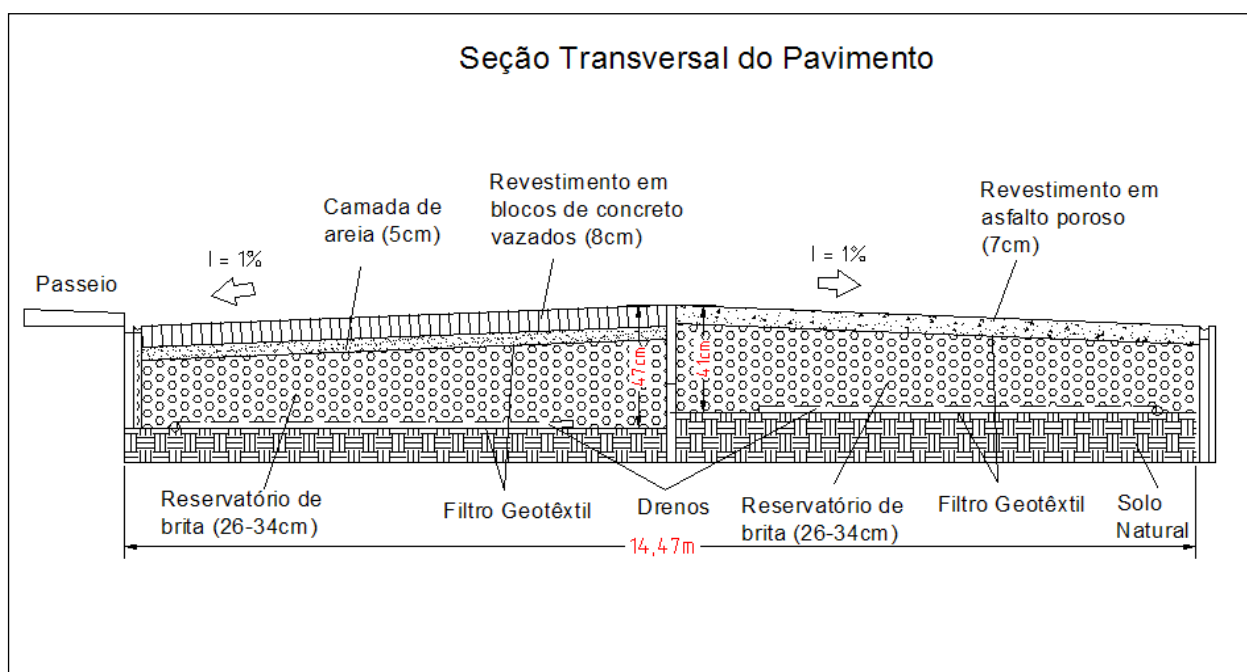


Figura 2: Seção transversal do pavimento permeável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um resumo dos resultados obtidos para o monitoramento quantitativo para os dois revestimentos para os nove eventos de chuva analisados durante o ano de 2008 é apresentado na tabelas 1 e 2.

Na análise do comportamento hidrológico os resultados mostram que, para os nove eventos estudados nesta segunda etapa de monitoramento, o asfalto poroso mostrou que possui um escoamento superficial bem maior que o revestimento de blocos vazados. Nestes eventos os índices de escoamentos superficiais para o

revestimento com blocos vazados ficaram abaixo de 15%. O maior escoamento superficial foi alcançado no evento do dia 16/08/2008 para o asfalto poroso, chegando ao índice de 61,4%.

Estes resultados são superiores aos resultados obtidos anteriormente, por ACIOLI et al. (2003 e 2005), quando o máximo escoamento observado ficou próximo de 10%, tanto para o asfalto poroso quanto para o revestimento de blocos vazados. Este comportamento indica a redução da capacidade de infiltração do dispositivo experimental, provavelmente por obstrução dos poros (colmatação) no revestimento superficial. O revestimento que parece estar mais comprometido é o de asfalto poroso, onde os máximos coeficientes de escoamento passaram de 10% (primeira etapa do monitoramento) para aproximadamente 62% (segunda etapa do monitoramento). As diferenças de comportamento no controle de escoamento superficial para os revestimentos eram esperadas. O revestimento de blocos vazados por ter aberturas maiores que as do asfalto poroso, é mais eficiente na retenção da água. As partes vazadas dos blocos funcionam como reservatório, onde mesmo que a chuva exceda a capacidade de infiltração do pavimento, existe um armazenamento da chuva excedente (Acioli, 2003 e 2005). Os resultados encontrados são compatíveis com os estudos realizados por Collins (2008).

A análise da qualidade da água foi realizada em sete dos nove eventos estudados. Os eventos onde não foram realizadas análises de qualidade são: 30 de janeiro e 9 de fevereiro. As tabelas 3 e 4 mostram os resultados das análises químicas realizadas nos sete eventos para o lado com revestimento de blocos vazados. A mesma análise também foi realizada para o revestimento de asfalto poroso.

Já os resultados da qualidade da água que infiltrou no pavimento (para dois revestimentos) mostram que para os eventos analisados, os máximos valores para um intervalo de confiança de 95% em praticamente todas as variáveis estão dentro dos limites de permitidos tanto para os padrões da CONAMA 357/05 – classe 2.

Tabela1 Resumo dos eventos de chuva para o lado com revestimento de Asfalto poroso.

Revestimento: Asfalto Poroso									
Eventos	Parâmetros Analisados								
	Precip. total (mm)	Tempo da precip. (horas)	TR da precip. (anos)	Precip. total sobre o pavimento (m³)	Intens. Méd. da precip. (mm/h)	Escoam. superficial (%)	Vol. Max. Armaz. (m³)	Tempo total de armazen. (horas)	Tempo de esvaziamento depois de cessada a chuva (horas)
30/01/08	29,6	93:45:00	0,003	3,9	0,3	0	0,078	04:30:00	-
09/02/08	71,01	81:45:00	0,27	9,4	0,9	1,4	1,172	09:00:00	-
28/05/08	66,33	34:55:00	0,65	8,7	1,9	18,5	0,015	01:35:00	-
07/06/08	71,58	55:00:00	0,50	9,44	1,30	s.d	s.d	s.d	s.d
27/07/08	139,54	71:50:00	10,29	18,4	1,94	48,5	s.a	s.a	s.a
16/08/08	84,84	117:55:00	0,40	11,19	0,72	61,4	s.a	s.a	s.a
05/09/08	100,37	51:30:00	3,13	13,27	1,95	10,7	s.a	s.a	s.a
04/10/08	28,06	12:15:00	0,04	3,70	2,29	34	s.a	s.a	s.a
25/10/08	64,85	41:55:00	0,45	8,55	1,55	58	s.a	s.a	s.a

s.d – sem dados; s.a – sem armazenamento no reservatório

Tabela 2 Resumo dos eventos de chuva para o lado com revestimento de Blocos Vazados.

Revestimento: Asfalto Blocos Vazados									
Eventos	Parâmetros Analisados								
	Precip. total (mm)	Tempo da precip. (horas)	TR da precip. (anos)	Precip. total sobre o pavimento (m³)	Intens. Méd. da precip. (mm/h)	Escoam. superficial (%)	Vol. Max. Armaz. (m³)	Tempo total de armazen. (horas)	Tempo de esvaziamento depois de cessada a chuva (horas)
30/01/08	29,6	93:45:00	0,003	3,9	0,3	0	1,8	23:15:00	10:00:00
09/02/08	71,01	81:45:00	0,27	9,4	0,9	s.d.	3,7	58:15:00	4:15:00
28/05/08	66,33	34:55:00	0,65	8,7	1,9	1	0,67	51:35:00	19:55:00
07/06/08	71,58	55:00:00	0,50	9,44	1,30	7,5	0,86	77:35:00	23:55:00
27/07/08	139,54	71:50:00	10,29	18,4	1,94	5,1	0,83	101:15:00	29:25:00
16/08/08	84,84	117:55:00	0,40	11,19	0,72	1	0,79	122:30:00	14:35:00
05/09/08	100,37	51:30:00	3,13	13,27	1,95	0	0,82	45:40:00	21:00:00
04/10/08	28,06	12:15:00	0,04	3,70	2,29	9	0,53	29:50:00	22:00:00
25/10/08	64,85	41:55:00	0,45	8,55	1,55	14	0,59	51:45:00	12:05:00

s.d – sem dados; s.a – sem armazenamento no reservatório

Tabela 3: Análises químicas da água para 7 eventos chuvosos – revestimento Asfalto Poroso.

Módulo Pavimento Asfalto Poroso							
Parâmetros	n	Valor Máx.	Valor Mín.	Valor Médio	DP	Limite Superior do Intervalo c/ 95% de Confiança	Resolução CONAMA 357/05 – classe 2
Ph	16	7	7,8	6,1	0,6	6,35	6 a 9
Temperatura (°C)	11	18,9	21,5	16,1	1,9	17,35	< 40°C
Turbidez (F.T.U)	16	1,8	3,1	0,9	0,7	1,28	< 100
Sólidos Totais (mg/L)	16	95	266	19,0	76,2	59,41	-
DBO ₅ (mg/L O ₂)	12	4,6	8,6	2,1	2,3	3,53	3 a 5
DQO (mg/L O ₂)	13	15,9	42,0	4,2	11,6	11,16	-
Fósforo total (mg/L P)	13	0,1	0,02	0,028	0,02	0,08	0,05
Ortofosfato (mg/L PO ₄)	13	< 0,01	0,0	< 0,01	-	-	-
Nitrogênio total (mg/L)	13	0,5	0,9	0,2	0,2	0,33	1,27 a 2,18
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L N)	13	0,4	0,8	0,1	0,2	0,25	3,7 - pH ≤ 7,5 2 - 7,5 ≤ pH ≤ 8 1 - 8 ≤ pH ≤ 8,5 0,5 - pH > 8,5
Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻)	13	0,5	1,0	0,3	0,2	0,44	10
Zinco (mg/L)	12	< 0,02	0,0	< 0,02	-	-	0,18
Cobre (mg/L)	12	< 0,004	0,0	< 0,004	-	-	-
Cromo (mg/L)	12	< 0,005	0,0	< 0,005	-	-	0,05

Tabela 4: Análises químicas da água para 7 eventos chuvosos – revestimento Blocos Vazados.

Módulo Pavimento Blocos Vazados							
<i>Parâmetros</i>	<i>n</i>	<i>Valor Máx.</i>	<i>Valor Mín.</i>	<i>Valor Médio</i>	<i>DP</i>	<i>Limite Superior do Intervalo c/ 95% de Confiança</i>	<i>Resolução CONAMA 357/05 – classe 2</i>
<i>pH</i>	18	8,4	7,3	7,81	0,32	7,97	6 a 9
<i>Temperatura (°C)</i>	12	21,4	15,9	18,18	1,59	19,19	< 40°C
<i>Turbidez (F.T.U)</i>	18	3,2	0,2	1,36	0,77	1,74	< 100
<i>Sólidos Totais (mg/L)</i>	18	326	58	142,94	82,81	184,13	-
<i>DBO₅ (mg/L O₂)</i>	17	12	2,2	4,44	2,88	5,92	3 a 5
<i>DQO (mg/L O₂)</i>	17	66	2,4	15,19	15,49	23,16	-
<i>Fósforo total (mg/L P)</i>	17	0,055	0,01	0,03	0,016	0,04	0,05
<i>Ortofosfato (mg/L PO₄)</i>	17	0,03	0,01	0,02	0,007	0,02	-
<i>Nitrogênio total (mg/L)</i>	17	0,8	0,3	0,49	0,16	0,57	1,27 a 2,18
<i>Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L N)7</i>	17	0,8	0,1	0,40	0,21	0,51	3,7 - pH ≤ 7,5 2 - 7,5 ≤ pH ≤ 8 1 - 8 ≤ pH ≤ 8,5 0,5 - pH > 8,5
<i>Nitrato (mg/L NO₃⁻)</i>	17	0,6	0,1	0,26	0,17	0,35	10
<i>Zinco (mg/L)</i>	17	0,04	< 0,02	< 0,02	0,006	-	0,18
<i>Cobre (mg/L)</i>	17	0,005	< 0,004	< 0,004	-	-	-
<i>Cromo (mg/L)</i>	17	< 0,004	0,005	< 0,004	-	-	0,05

CONCLUSÕES

O presente trabalho descreve um estudo experimental composto por dois módulos de pavimentos permeáveis, com diferentes tipos de revestimento (blocos vazados e asfalto poroso). Este módulo experimental foi construído em 2003, quando foi efetuado um ano de monitoramento quantitativo dessa estrutura (primeira etapa de monitoramento), sem efetuar análises qualitativas. No presente estudo, são analisados os resultados de uma segunda etapa de monitoramento, em 2008, incluindo aspectos quantitativos.

Os dados indicam que dos dois pavimentos permeáveis estudados, somente o de revestimento de blocos vazados continua fazendo o controle adequado do volume de escoamento superficial, mesmo com valores de escoamento um pouco superiores aos encontrados no passado, no mesmo dispositivo experimental. Foi observado um grande comprometimento da capacidade de infiltração no revestimento asfáltico. Os valores de coeficiente de escoamento superficial encontrados nesta segunda etapa do monitoramento demonstram serem maiores principalmente no revestimento de asfalto poroso. Isso indica uma obstrução da camada superficial que impede a infiltração da água. Manutenções periódicas são necessárias para se conservar as características de porosidade do revestimento, bem como a prevenção de depósito de matéria granular, ou mesmo depósito de sedimentos. Por outro lado, existe também a necessidade de verificação dos custos de manutenção, sendo possível assim a comparação com os custos da construção de novo revestimento.

Já os resultados preliminares de qualidade da água indicam que os pavimentos permeáveis não contribuem para um aumento da contaminação; ao contrário disso, podem auxiliar no controle da qualidade da água, através de um processo de filtração, uma vez que a água armazenada no reservatório possui boa qualidade se comparada a padrões de lançamento de efluentes segundo a resolução nº 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). O tipo de revestimento parece também não influenciar na qualidade da água que infiltra no solo, já que os valores encontrados no asfalto poroso e blocos vazados são muito próximos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq que concedeu financiamento da pesquisa, bolsa de doutorado a primeira autora (Andréa Souza Castro) e bolsa de -produtividade em pesquisa para o segundo autor (Joel Avruch Goldenfum). Daiane M. Lino contribui para o trabalho e recebeu bolsa de iniciação científica da FAPERGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACIOLI, L. A. 2005. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
2. ACIOLI, L. A.; AGRA, S. G; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. da. 2003. Implantação de um módulo experimental para a análise da eficiência de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial na fonte. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba - PR. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
3. ANDRADE FILHO, A. G. de.; SZÉLIGA, M. R., SZESZ, J. R. S. 2000. Utilização de micro-reservatório de retenção para atenuações de inundações em bacias urbanas. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Exatas e Engenharia, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 47-68.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2005.
5. BALADES, J. D.; TRINCAT, A. M. 1998. Reduction des impacts des rejets urbains de temps de pluie: rôle d'une tranchée drainante. Bordeaux: Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest. 39p.
6. BRATTEBO, B. O. ; BOOTH, B. D. 2003. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. Water Research, 37. p. 4369-4376.
7. COLLINS, K.; HUNT, W. F.; HATHAWAY, J. M. 2008. Hydrologic Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina. Journal of Hydrologic Engineering. v. 13, n. 12, p 1146-1157.
8. EPA (Environmental Protection Agency). 1999. Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices - Fed. Regist , 821-R-99-012.
9. PAGOTTO, C.; LEGRET, M.; LE CLOIREC, P. (2000) comparison of the hydraulic behavior and the quality of highway runoff water according to the type of pavement. Water Research. Amsterdam, v.34, n.18, p.4446-4454.