

Elaboração e Implantação de Protótipo de Colchão Drenante Sob Pavimento Permeável em Calçadas

Natália Jéssica Canuto Oliveira Brito

Universidade Federal de Roraima - UFRR, Boa Vista - RR, Brasil, nataliacanutoo@gmail.com

Mariana Ramos Chrusciak

Universidade Federal de Roraima - UFRR, Boa Vista - RR, Brasil, marychrusciak@gmail.com

Alex Bortolon de Matos

Universidade Federal de Roraima - UFRR, Boa Vista - RR, Brasil, alex.bortolon@ufrr.br

RESUMO: Diante dos problemas enfrentados na cidade de Boa Vista, capital de Roraima, devido aos alagamentos durante o período chuvoso, surgiu o intuito de investigar a implantação de estruturas de infiltração – colchões drenantes e pavimentos permeáveis – a fim de devolver ao solo sua capacidade de absorver a água proveniente das precipitações, ou potencializá-la. Outra questão levantada é a questão ambiental relacionada com a construção civil, uma vez que é um tema em evidência e a reutilização de materiais um de seus pontos fortes. Foram realizados ensaios de caracterização física que permitissem apontar as possíveis causas da deficiência da infiltrabilidade da água no solo, da região em estudo. Logo após, foram implantadas duas calçadas com o uso de blocos intertravados de concreto (pavimento permeável) sobre um colchão drenante, cujos materiais que os preencheram foram brita (colchão drenante tradicional) e garrafas PET (colchão drenante alternativo). Com o término das atividades de instalação o monitoramento foi iniciado, sendo realizadas observações no período que ocorreu precipitação e ainda realizado ensaio simulando um lançamento de uma quantidade de água fixa em ambos os protótipos e observado os seus níveis. Foi ainda analisado o recalque das estruturas através da observação de deformações ao longo do tempo por fluxo de pessoas. Os resultados obtidos nos monitoramentos mostram que o uso da tecnologia ecológica é viável frente a tecnologia tradicional, gerando assim mais uma opção de produto para o mercado local, tendo um apelo ambiental dentro de um campo altamente agressivo.

PALAVRAS-CHAVE: Colchão drenante, Pavimento permeável, Garrafas PET.

1 INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades que vem sendo observada, de maneira intensa, principalmente em centros urbanos, é a deterioração da capacidade de infiltração natural do solo, devido à falta de planejamento, de forma recorrente na expansão urbana.

Formiga *et al.* (2012), entende que dentre os processos que compõem o ciclo hidrológico a infiltração é o fenômeno mais interligado a geração de escoamento superficial. Ao mesmo

tempo, é o fenômeno que sofre mais mudanças devido as ações do homem, seja através do desmatamento, desnudamento do terreno e incrustação do solo, como também pela impermeabilização das superfícies dos terrenos, em regiões mais urbanizadas.

Em se tratando do ciclo hidrológico natural, esta ocupação provoca alterações motivando o colapso do balanço hídrico no habitat humano, conforme se pode observar nos noticiários mundiais. O processo de urbanização gerador do adensamento populacional traz graves

problemas à infraestrutura urbana, em sua maioria não planejada, para atender a demanda (SILVA, 2012).

Mostra-se que o processo de planejamento urbano aliado ao uso de estruturas de infiltração (técnicas compensatórias de manejo de águas pluviais), pode ocasionar na redução dos impactos que são trazidos com a recorrência da deficiência da infiltração, assim também, como a preservação de áreas que ainda permanecem com a sua cobertura natural e em que a água de origem pluvial pode infiltrar e escoar de maneira apropriada e natural.

Espera-se, dessa forma, que fique evidente a importância de se estabelecer critérios para o uso e para a ocupação do solo, evitando o surgimento de novos problemas de infiltração em áreas naturais intactas, ou então, avaliar a implantação de estruturas de infiltração, que consistem em técnicas compensatórias para atuar na retenção de águas pluviais.

De acordo com Acioli (2005), as estruturas de infiltração podem trabalhar tanto na redução das vazões máximas, funcionando como reservatórios de armazenamento, quanto na redução dos volumes escoados, através da infiltração das águas drenadas, podendo desempenhar também um importante papel na remoção e controle de poluentes do escoamento superficial. São, portanto, estruturas que recuperam de forma mais efetiva as condições de pré-ocupação.

Diante da problemática, surgiu a proposta de desenvolver estruturas de infiltração que fossem capazes de devolver e auxiliar o solo na absorção da água proveniente das precipitações.

Alguns estudos podem ser destacados, tais quais: Mikkelsen *et al.* (1996), Akan (2002), Souza (2002), Carvalho (2008), Peiter & Poleto (2012), Silva (2012), Gurjão *et al.* (2012), entre outros.

O estudo possui como objetivo analisar a viabilidade técnica da união de duas estruturas de infiltração, o pavimento permeável e o colchão drenante, sendo utilizados materiais tradicionais e alternativos, com o intuito de suprir a infiltrabilidade natural do solo da região.

2 ESTRUTURAS DE INFILTRAÇÃO

2.1 Colchão Drenante

Segundo Panitz (2003), “colchão drenante é a camada subjacente a outra constituída de solo permeável e/ou outros materiais que permitem a drenagem de água do solo”. Gurjão, *et al.* (2012), compreende que o colchão drenante seja uma técnica frequentemente utilizada em cortes rodoviários com o intuito de proteger o corpo estradal da ascensão do lençol freático.

No entanto, os colchões drenantes também podem ser utilizados como sistemas de acumulação e infiltração das águas provenientes das chuvas, trabalhando de maneira semelhantes às valas de infiltração. Onde a utilização dessa estrutura se torna mais vantajosa em regiões onde o nível do lençol freático se mostra mais superficial.

2.2 Pavimento Permeável

Para Virgilis (2009), “o pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada de maneira a influenciar a hidrologia e causando algum efeito positivo ao meio ambiente.”

Pinto (2011), compreende que o pavimento permeável se trata de um dispositivo utilizado com o intuito de promover a infiltração das águas pluviais no solo urbano, e desse modo diminuir os tempos de pico das cheias.

3 MATERIAIS

Para a construção de colchões drenantes é necessário o uso de meio drenante, geralmente brita ou materiais sintéticos. No caso do presente trabalho, em um dos colchões foi utilizado brita, sendo a mesma caracterizada através da composição granulométrica, baseada na norma da NM 248 (ABNT, 2003).

Para a execução do ensaio, foi coletada uma parcela de amostra representativa de 3,27kg. A amostra foi passada pelo conjunto de peneiras da série normal e intermediária (peneiras 2”; 1,1/2”; 3/4”; 3/8”, N° 4; N° 8; N° 16 e N° 30), obtendo-se assim a sua curva granulometria,

apresentada na figura 1. Foram calculados ainda a dimensão máxima e módulo de finura, sendo eles 37,5 mm e 3,42, respectivamente. A figura 2 apresenta a faixa granulométrica de uma das amostras de brita.

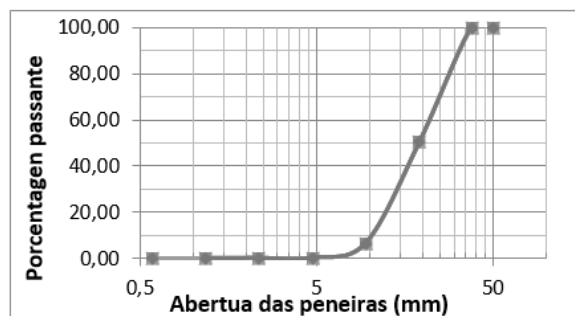


Figura 1. Curva granulométrica da Brita.



Figura 2. Representação da faixa granulométrica da amostra de brita

Além deste material, outro material de preenchimento utilizado foi a garrafa PET, além de materiais de filtro, separação e assentamento. Os principais materiais utilizados para confecção das estruturas de infiltração, e suas especificações, para o desenvolvimento da pesquisa estão listados na tabela 1, a seguir.

Tabela 1. Materiais utilizados na pesquisa.

Materiais	Especificações
Garrafas PET	Cortadas na metade, e posteriormente a parte superior sendo encaixada na parte inferior. Em cada uma das garrafas foram feitos orifícios para que a água proveniente da chuva pudesse ser escoada.
Blocos intertravados de concreto	Blocos pré-fabricados de concreto, cujas dimensões são (60mm x 100mm x 200 mm), ideal para tráfico de pedestres.
Brita	Dimensão máxima característica= 37,5mm; Módulo de Finura: 3,42.
Geotêxtil	Tipo Bidim OP 20.

4 METODOLOGIA

Após a definição e caracterização dos materiais empregados, foi passado para as etapas seguintes que foram a preparação das garrafas PET, a construção das estruturas e os ensaios de avaliação, descritos a seguir.

4.1 Preparação das garrafas PET

Para a execução do colchão drenante, cujo o material de preenchimento foram as garrafas PET, foram utilizadas 609 garrafas de dois litros. Cada uma das garrafas foi cortada ao meio e a parte superior foi sobreposta a inferior, de modo a oferecer uma maior rigidez ao conjunto (Figura 3 (a)).

No fundo de cada uma das garrafas, foram realizados furos para que a água não ficasse retida, uma vez que as garrafas exercem o papel de material granular visando uma melhor transferência de água no sistema (Figura 3 (b)).

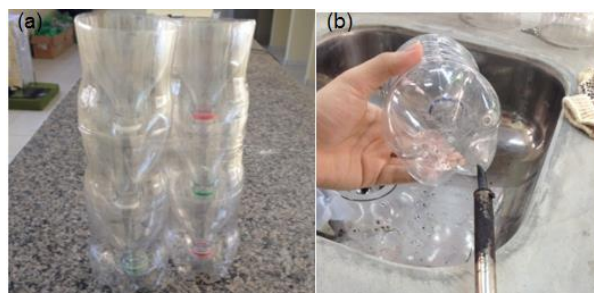


Figura 3. Preparação das garrafas PET: (a) processo de encaixe e (b) execução dos furos.

4.2 Ensaio de permeabilidade *in situ*

Nas trincheiras escavadas, foram realizados ensaios de permeabilidade, com o objetivo de obter o coeficiente de permeabilidade (k) do solo em estudo. A metodologia utilizada foi a empregada no Boletim nº 4 (ABGE, 1996), este processo aplicado para a verificação do coeficiente (k) é ideal para poços situados acima do nível d'água.

O poço utilizado para a realização do ensaio, foi cavado à trado, sendo seu diâmetro de 73,42 mm e sua profundidade de 56 cm. Os cálculos para a obtenção do coeficiente de permeabilidade, foram realizados conforme o

esquema da figura 4 e as equações descritas, a seguir.

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta t} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (1)$$

$$R^2 + R - h = 0 \quad (2)$$

$$R = \frac{\sqrt{1 + 4h} - 1}{2} \quad (3)$$

Sendo, k = coeficiente de permeabilidade (m/s); Δh = rebaixamento monitorado em um intervalo de tempo (m); Δt = intervalo de tempo (s); r = raio do poço (m); R = fator que correlaciona o escoamento com uma parábola cujo vértice está no centro do furo, na altura do nível de água inicial (m); h = altura da lâmina d'água (m).

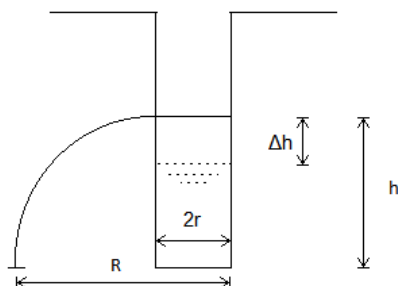


Figura 4. Modelo do ensaio de permeabilidade.

4.3 Execução da construção das estruturas

A implantação do colchão drenante tomou como base a sequência descrita por Gurjão, *et al.* (2012). Foi realizada a escavação de duas trincheiras, cujas as dimensões eram 0,50 m de profundidade, 1,20 m de largura e 2 m de comprimento, para que pudessem ser construídas as estruturas. A profundidade foi escolhida em função do nível do lençol freático na região, que é superficial.

Na preparação da instrumentação, foi utilizada para análise de recalque e infiltração da estrutura, Gasômetro e Piezômetro de Casagrande, respectivamente. No nivelamento das valas foi utilizado uma camada de areia de 13 cm, de modo que ambas tivessem a mesma profundidade.

Após o nivelamento foi realizada a colocação

da manta geotêxtil, seguida da acomodação das garrafas PET e da brita (camada com 32 cm de altura) e então o posicionamento da instrumentação (Tassômetro e Piezômetro de Casagrande). Este processo foi finalizado envelopando material de preenchimento (garrafas PET e da Brita) com a manta geotêxtil.

Foi passada para a última fase que consistiu na colocação de uma camada de areia de 7 cm para assentamento dos blocos de concreto e instalação dos blocos. A figura 5, a seguir, identifica todos estes processos supracitados.



Figura 5. Sequência de montagem das estruturas: (a) escavação; (b) execução dos piezômetros de Casagrande; (c) nivelamento; (d) posicionamento da manta; (e) posicionamento da instrumentação; (f) enchimento com garrafas PET; (g) envelopamento e (h) assentamento dos blocos de concreto permeáveis.

4.4 Simulação de precipitação sobre as estruturas

Para a análise da infiltração do colchão drenante e dos blocos intertravados, foram construídas barreiras em cada trecho correspondente a cada uma das estruturas (com garrafa PET ou brita), de modo que a água que fosse lançada sobre o pavimento ficasse retida no mesmo, não gerando assim perda pelo surgimento de escoamento superficial e que a mesma quantidade de água jogada sobre um trecho seria a mesma jogada ao outro. A figura 6, a seguir, mostra o esquema de ensaio.

Foram lançados 5 litros de água em cada uma das estruturas, simultaneamente, a cada 1 minuto, por fim a quantidade de água utilizada foi de 150 litros em ambas. Esse volume total é referente, aproximadamente à lâminada precipitada de 30 minutos (61,76 mm), sobre a área (2,40 m²), para uma microdrenagem a partir da equação da chuva proposta por Carvalho (2007), para a cidade de Boa Vista.

Para se medir o nível de água no fundo do colchão drenante, foi utilizado o Piezômetro de Casagrande, onde as medidas do nível d'água no interior da estrutura foram realizadas, logo depois de lançados 125 litros de água, logo após 150 litros, 20 minutos após 150 litros e 1 hora após os 150 litros.



Figura 6. Simulação de precipitação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio de permeabilidade *in situ*

No ensaio de permeabilidade *in situ*, realizado na região em estudo observou-se os seguintes resultados, apresentados na tabela 2, para os coeficientes de permeabilidade no decorrer da realização do procedimento.

Observa-se que com o passar do tempo o solo inicia seu processo de saturação e o coeficiente de permeabilidade vai tendendo a $2,0 \times 10^{-7}$ m/s², ou seja, a permeabilidade do solo tende a constância. O coeficiente de permeabilidade do solo em estudo é característica de solo fino conforme Das (2011), que por sua vez possuem uma capacidade de infiltração baixa.

Tabela 2. Resultados do ensaio de permeabilidade *in situ*

ENSAIO	Horário	Tempo (s)	k (m/s)
1	09:03	552,09	$4,57677.10^{-7}$
2	09:25	892,41	$2,83142.10^{-7}$
3	09:52	1010,37	$2,50086.10^{-7}$
4	10:17	1020,82	$2,47526.10^{-7}$
5	10:44	1087,67	$2,32312.10^{-7}$
6	11:12	1200,73	$2,10438.10^{-7}$
7	11:40	1202,34	$2,10156.10^{-7}$
8	12:11	1235,96	$2,04439.10^{-7}$
9	12:58	1221,58	$2,06846.10^{-7}$
10	13:31	1231,84	$2,05123.10^{-7}$
11	14:07	1180,59	$2,14028.10^{-7}$
12	14:55	1206,38	$2,09452.10^{-7}$
13	15:30	1170,89	$2,15801.10^{-7}$
14	15:52	1161,32	$2,17579.10^{-7}$
15	16:48	1178,95	$2,14325.10^{-7}$

5.2 Desempenho das estruturas

Os parâmetros definidos como critério de avaliação dos resultados da pesquisa foram o recalque da estrutura além da observação do nível de água no seu interior após uma simulação de precipitação. Após a construção e o período de avaliação, não foi observado nenhuma deformação (recalque) de ambos os protótipos, brita e garrafa PET. Mesmo as garrafas apresentando fragilidade quando isoladas, demonstraram uma boa capacidade de suporte de carga quando em conjunto, frente aos carregamentos impostos (passagem de pedestres).

Na tabela 3 são apresentadas leituras dos níveis da água em cada piezômetro para cada uma das estruturas em incrementos de volume

de água. Verificou-se através das medições do nível d'água no interior da estrutura, que o colchão contendo garrafas PET apresentava-se menor, devido a esse conjunto apresentar uma maior quantidade de vazios que a brita e consequentemente possuir uma maior capacidade de armazenamento.

Cabe destacar que esta simulação utilizou volumes muito superiores as ocorrências de precipitação registradas, uma vez que era necessária uma boa lâmina d'água para comparação e leitura.

Tabela 3. Medições dos níveis da água durante a simulação de precipitação.

Piezômetro	Nível da água (Momento da realização da leitura)			
	125 litros (logo após)	125 litros (logo após)	125 litros (logo após)	125 litros (logo após)
1 (Brita)	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
2 (Brita)	20 mm	19 mm	13 mm	11 mm
3 (Garrafa PET)	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
4 (Garrafa PET)	9 mm	8 mm	7 mm	6 mm

Observou-se através das medições obtidas, que o colchão contendo garrafas PET, apresentava um menor nível d'água, devido a esse conjunto apresentar uma maior quantidade de vazios do que o colchão de brita e consequentemente ter uma maior capacidade de armazenamento da chuva.

6 CONCLUSÃO

As utilizações das estruturas de infiltração proporcionam aos ambientes urbanizados o restabelecimento das características de preocupação da região, dessa maneira, o emprego do colchão drenante e do pavimento permeável, atendeu as suas finalidades, por ser viável construtivamente e economicamente, visto que a utilização das garrafas diminui o custo das obras, por se tratar de um resíduo descartado.

Ambas as estruturas conseguiram atender as expectativas quanto ao armazenamento e

controle de volume escoado das águas da chuva. Entretanto, as garrafas, além de contemplar aspectos ambientais ao dar um destino a esse tipo de material, que é encontrado em bastante abundância no meio ambiente, também contribuem para um maior armazenamento de águas pluviais em seu interior, por possuir uma maior quantidade de vazios e conseguiram apresentar uma boa capacidade de suporte de carga, mostrando-se uma ótima alternativa de uso como meio drenante. Sendo assim uma excelente alternativa de estrutura para a aplicação dada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto BITERR responsável pelas questões financeiras e ainda a Universidade Federal de Roraima dentre diversos setores como PROInfra, Prefeitura Universitária e ao NUPENG, assim como a todos os envolvidos neste desafio, pelo apoio dado ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 248 (2003) – Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 6 p.
- ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (1996). Ensaio de Permeabilidade em Solos – Orientações para sua execução. Coordenação Antonio Manuel dos Santos Oliveira e Diogo Correa Filho – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, SP – Boletim 04, (3a Edição Revisada).
- Acioli, L. A. (2005). Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte. 162 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- Akan, A. O. (2002). Modified rational method for sizing infiltration structures, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 29, No. 4, p. 539-542.
- Das, B.M. (2012). Fundamentos de engenharia geotécnica. Thomson, São Paulo, SP, vol 6, 559 p.
- Carvalho, R. G. (2007). Obtenção da Curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de Chuvas Intensas para a Bacia Hidrográfica do Igarapé Murupu, Boa Vista-RR. 2007. 135p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima. Roraima.

- Carvalho, E. T. L. (2008). Avaliação de elementos de infiltração de águas pluviais na zona Norte da cidade de Goiânia. 2008. 222p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção civil. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás.
- Formiga, K. T. M, *et al.* (2012). A infiltração e o escoamento superficial. In: Camapum de Carvalho, J.; Giritana Junior, G. F. N.; Carvalho, E. T. L. (Coord). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: [S.n].
- Gurjão, C. M. C. *et al.* (2012). Estruturas superficiais de infiltração: colchões drenantes. In: Camapum de Carvalho, J.; Giritana Junior, G. F. N.; Carvalho, E. T. L. (Coord). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: [S.n].
- Mikkelsen, P.S.; Jacobsen, P.; Fujita, S. (1996). Infiltration Practice for Control of Urban Stormwater. *Journal of Hydraulic Research*, v. 34(6), p. 827-840.
- Panitz, M.A. (2003). Dicionário Técnico: português-inglês. Porto Alegre: EDIPUCRS, 420p.
- Peiter, T. V. & Poleto, C. (2012). Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial, *Revista de estudos ambientais*, v. 14, n. 2esp, p. 57-67, 2012
- Pinto, L.L.C.A. (2011). O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano. 2011. 255p. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.
- Silva, J. P. (2012). Estruturas de Infiltração com Utilização de Materiais Alternativos no Controle de Alagamentos, Inundações e Prevenção de Processos Erosivos. 2012. 215p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Souza, V.C.B. (2002). Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. 2002. 127p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- Virgiliis, A. L. C. (2009) Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias. 2009. 191p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.