



## **Estruturas de Infiltração de Água para Prevenção de Erosões e Inundações em Áreas Urbanas**

**Cláudia Marcia Coutinho Gurjão<sup>1</sup>, Joseleide Pereira da Silva<sup>2</sup>,  
José Camapum de Carvalho<sup>3</sup>, Ricardo Silveira Bernardes<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Brasília ([cgurjao@unb.br](mailto:cgurjao@unb.br))

<sup>2</sup>Universidade de Brasília ([jeseleide@unb.br](mailto:jeseleide@unb.br))

<sup>3</sup>Universidade de Brasília ([camapum@unb.br](mailto:camapum@unb.br))

<sup>4</sup>Universidade de Brasília ([ricardo@unb.br](mailto:ricardo@unb.br))

### **Resumo**

Este trabalho trata da utilização de trincheiras de infiltração e colchão drenante doravante chamados de estruturas de infiltração, como alternativa para prevenção de inundações e erosões, provocadas por água de chuva. Foram utilizadas também, na confecção das células, garrafas PET, como substituição ao agregado graúdo, convencionalmente utilizado na confecção de trincheiras. O material PET, além de ser abundante, de baixo custo e reciclável e devido ao seu peso, pode prevenir a perda da capacidade de escoamento, proveniente do colapso ou consolidação do solo natural subjacente à trincheira. Isto é possível, devido à diminuição do peso aplicado pelas garrafas quando comparado ao peso próprio dos agregados no interior das mesmas, reduzindo assim a sobrecarga sobre o solo. Foram confeccionadas uma célula na Universidade de Brasília e uma na Universidade Federal de Roraima. No estudo buscou-se entender o processo de infiltração em sua plenitude avaliando-se não apenas a infiltração da água no solo como também os problemas geotécnicos e ambientais que podem advir dessa prática. Como problemas geotécnicos destacam-se: os riscos de colapso estrutural e subsidência do solo podendo afetar obras de engenharia como edificações e rodovias. Já no que se refere ao dano ambiental, cabe destaque o risco de erosão interna, muitas vezes responsável por graves problemas em regiões tropicais devido à própria natureza do solo e as precipitações intensas. Avaliaram-se os resultados por meio de ensaios de caracterização física e de campo.

Palavras-chave: Estruturas de Infiltração. Erosão. Inundação.

Área Temática: Tema 6 – Tecnologias Ambientais.

### ***Abstract***

*This work deals with the use of infiltration trenches and mattress drainage structures now called infiltration as an alternative to prevent flooding and erosion, caused by rain water. Were also used in the manufacture of cells, PET bottles, such as replacing the coarse aggregate conventionally used for making trenches. The PET material, and is abundant, inexpensive and recyclable, due to its weight, can prevent the loss of flow capacity, resulting from the collapse or consolidation of the underlying natural soil to the trench. This is possible due to the reduction of weight applied by the cylinder when compared to the weights of the households within them, thus reducing the burden on the ground. Were prepared a cell at the University of Brasília and the Federal University of Roraima. The study sought to understand the process of infiltration in its entirety by evaluating not only the infiltration rate of soil water as well as geotechnical and environmental problems that may arise from this practice. As geotechnical problems include: the risk of structural collapse and subsidence of the soil can affect engineering works such as buildings and highways. Now with regard to*



*environmental damage, it highlighted the risk of internal erosion is often responsible for serious problems in tropical regions due to the nature of the soil and the heavy rain. We evaluated the results by means of physical characterization tests and Field trials.*

*Key words: Structures of Infiltration. Erosion. Flooding.*

*Theme Area: Theme 6 – Environmental Technologies.*

## 1 Introdução

A expansão urbana nas últimas décadas, no Brasil, tem sido acompanhada por problemas em praticamente todos os aspectos ligados à infraestrutura, como, por exemplo, saneamento, transporte, habitação e abastecimento. Esses são fruto das necessidades geradas pelo meio urbano, mas existem ainda as consequências ambientais da ocupação urbana. Neste último aspecto, ela gera alterações no clima e no ciclo hidrológico e coloca o problema da destinação dos efluentes das águas pluviais e servidas.

A expansão do ambiente urbano pode alterar o ciclo hidrológico nas cidades em dois vieses, ao causar o aumento das superfícies impermeabilizadas e ao intervir nas edificações e nos solos no fluxo natural da água. Com a impermeabilização da superfície do solo, uma considerável parcela da água que normalmente se infiltraria passa a compor o volume de escoamento superficial mais concentrado, ocasionando o aumento dos volumes escoados e das vazões de pico. Já os solos, quando atingem o nível freático, geram a ascensão do nível d'água local e comprometem o fluxo natural com reflexos diretos na biota que ocupa o subsolo. Como consequência exteriorizada, tem-se o aumento da frequência e da magnitude dos alagamentos e inundações (Figura 1), a ampliação de erosões (Figura 2) e a escassez de água nas nascentes no período de seca. Os dispositivos de infiltração surgem, então, como uma necessidade imperiosa para resolver grande parte desses problemas.

O uso sistemático desses dispositivos de infiltração como elemento de drenagem urbana no Brasil ainda é muito restrito, sendo difícil encontrar trabalhos publicados relatando essa utilização. Publicações científicas internacionais que trazem exemplos de aplicação desses dispositivos apresentam aplicações em regiões com características hidrológicas e geotécnicas diferentes das encontradas no Brasil, principalmente no que se refere à precipitação e ao tipo de solo. Pode-se afirmar, portanto, que são necessários estudos que avaliem o emprego de tais tecnologias (SOUZA, 2002).



Figura 1 – Rua localizada na cidade de Boa Vista – RR, 2006.



Figura 2 – Erosão junto à cidade satélite de Ceilândia – DF, 2006.

Esse artigo tem por objetivo apresentar a análise dos principais aspectos relevantes para a infiltração por meio de trincheiras no Distrito Federal e colchão drenante em Boa Vista.



## 2 Estruturas de Infiltração

A drenagem urbana convencional atua na eliminação rápida da água pluvial e, desse modo, transfere a cheia para outras áreas, provocando alagamentos, inundações e erosões de grandes proporções, as quais geram o assoreamento de cursos d'água e de reservatórios. De acordo com Fujita (1996), dispositivos alternativos de controle do escoamento superficial desempenham papel fundamental no que se refere às melhorias ecológicas no ciclo da água no meio urbano.

Segundo Baptista et al. (2005), as técnicas compensatórias surgem para atuar na retenção e na infiltração das águas precipitadas, possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais. Os mesmos autores citam a classificação das técnicas compensatórias em: *não estruturais*, que atuam no retardamento do escoamento (revestimento de canais e pavimentos rugosos, controle na fonte, etc.), e *estruturais*, que permeiam as técnicas de retenção e infiltração e se diferem, principalmente, pela geometria e pela capacidade de captação do volume escoado (trincheiras, colchões drenantes, valetas, valas, poços de infiltração, etc.).

Fujita (1996) e Kampfmann & Wegner (1996) defendem a valorização da água no meio urbano como aspecto importante a ser considerado quando da concepção de medidas de controle do escoamento superficial. Nesse sentido, os dispositivos alternativos desempenham papel fundamental no que se refere às melhorias ambientais no ciclo da água em meio urbano.

No Brasil, têm sido realizadas pesquisas no sentido de entender as particularidades dos solos tropicais: suas estruturas, estabilidade e condição de infiltração. Dentro desse contexto, vêm sendo estudados os tipos de estruturas de infiltração a seguir descritos.

- Trincheiras – foram implantadas no Campus experimental do Programa de Pós-Graduação da Universidade da Universidade de Brasília (UnB). Procurou-se utilizar como material de enchimento elementos recicláveis potencialmente de boa capacidade de armazenamento e favoráveis à maior infiltração pela pequena sobrecarga gerada no solo, o que impede o fechamento dos poros na base da trincheira (SILVA, 2007);
- Colchões drenantes – foram implantados no Campus da Universidade Federal de Roraima (UFRR). Foram levadas em conta as condições distintas quanto ao regime de precipitação, ao perfil geológico-geotécnico do solo e ao nível do lençol freático (GURJÃO, 2008).

Observa-se desse breve relato da literatura que a abordagem do problema é colocada no campo estritamente técnico. No entanto, a solução ou a mitigação dos problemas passa também pelo campo social, pela educação formal e informal da sociedade. Com a educação será possível, por um lado, reduzir as áreas impermeabilizadas e possibilitar o uso de revestimentos drenantes e, por outro, ao evitar o lançamento e depósito indiscriminado de lixo urbano e ao minimizar a emissão de poluentes, será possível melhorar a qualidade das águas pluviais, tornando mais apropriada para o consumo humano e menos poluidora dos mananciais e reservatórios.

Considerando a deficiência da maioria dos sistemas de drenagem existentes, a inviabilidade de criar novas redes e a complexidade do solo brasileiro, este capítulo apresenta alguns sistemas estruturais alternativos, como: trincheiras, colchões drenantes e poços de infiltração capazes de armazenar e infiltrar águas de chuva nos picos de vazão. Esses dispositivos podem ser associados a sistemas de armazenamento da água da chuva para consumo.

### 2.1 Trincheiras

As trincheiras de infiltração (Figura 3) são estruturas que permitem armazenar a água precipitada por tempo suficiente para a sua infiltração no solo, favorecendo a redução dos



volumes escoados e das vazões máximas de enchentes. São geralmente constituídas por valetas preenchidas por material granular de porosidade em torno de 35% e um filtro geotêxtil colocado entre a trincheira e a superfície e, todo o material deve estar envolto por ele, que além de impedir a entrada de material fino na estrutura, serve como anticoncomitante (SOUZA, 2002).

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares na qual o comprimento prepondera sobre a largura e profundidade. A geometria depende da infiltrabilidade do solo e da própria área disponível para que se proceda à infiltração. Dependendo das condições locais e do volume a infiltrar o projeto pode priorizar a infiltração, o armazenamento ou ambos. Geralmente as trincheiras se destinam a captar grande volume de água a ser infiltrado, são fechadas e permitem o uso paisagístico em harmonia com as demais estruturas.

Na Figura 4 observa-se a interação entre uma trincheira de infiltração com o espaço urbano (SOUZA, 2002).

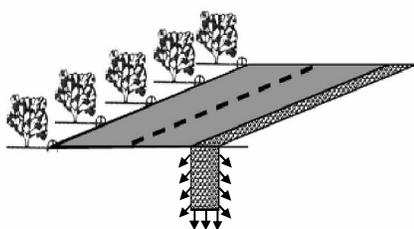


Figura 3 – Ilustração de trincheiras de infiltração.



Figura 4 – Trincheira de Infiltração em área urbana. (Fonte: California Stormwater BMP Handbook, New Development and Redevelopment (2003).

## 2.2 Colchão Drenante

Os colchões drenantes, embora geralmente utilizados em construção rodoviária com a função de drenar e desviar a água antes que esta atinja a estrutura do pavimento, será no contexto desse trabalho usado com a função inversa, de fazer acumular e infiltrar a água de chuva captada. O seu uso se impõe no presente caso pela superficialidade do lençol freático em Boa Vista o que torna inviável o uso de trincheiras.

Segundo o DER-PR, o colchão drenante é a camada executada com areia selecionada, aplicada diretamente sobre os terrenos de fundação de aterros compostos por materiais saturados e de baixa resistência ao cisalhamento, antecedendo a execução do aterro (Figura 5).

Destaca-se, no entanto, ser freqüente a utilização da técnica em cortes rodoviários, sendo que no caso, o mais freqüente é o uso de brita em sua constituição.

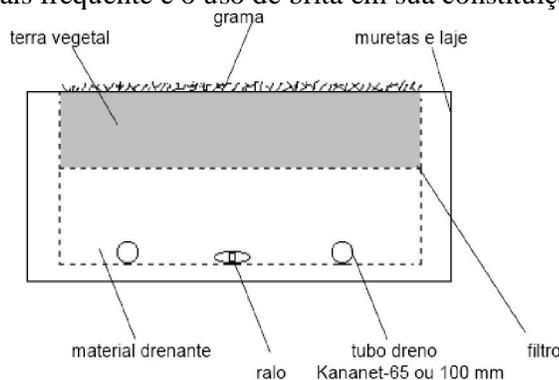


Figura 5 – Seção esquemática de colchão drenante sobre laje.



### 3 Metodologia de Ensaio

#### 3.1 Construção das Estruturas de Infiltração

Convencionalmente, as trincheiras e os colchões drenantes são preenchidos com agregados pétreos graúdos, de modo a possibilitar a drenagem e a garantir certo armazenamento de água. O peso excessivo desses materiais, no entanto, geralmente termina por compactar ou consolidar o fundo das estruturas de infiltração, reduzindo, assim, a capacidade de infiltração. Para resolver esse problema e maximizar o volume de água armazenado seja nas trincheiras, seja nos colchões drenantes, foram utilizadas garrafas PET (Politereftalato de etila) como material de enchimento. Esses materiais, além de possibilitar maior volume de armazenamento de água para o mesmo volume de trincheira escavado, apresentam peso, mesmo quando cheios de água, geralmente inferior ao do solo escavado, evitando, assim, a consolidação da base da trincheira. O seu uso, ao dar destinação a um resíduo sólido que ainda é pouco reciclado, ajuda a mitigar o problema ambiental de excesso de lixo urbano.

As trincheiras de infiltração foram executadas com dimensões, de 0,80 m x 2,00 m x 1,80 m, onde a comprimento prepondera sobre a largura. Foi usado um total de 784 garrafas PET, em substituição ao agregado graúdo.

A montagem da trincheira na UnB seguiu a seguinte seqüência (Figura 6): Colocação da manta de geotêxtil; Acomodação das garrafas PET e posicionamento da instrumentação; Fechamento da manta de geotêxtil (envelopamento das garrafas PET) e colocação de 10 cm de areia grossa para o fechamento da trincheira.



Figura 6 – Montagem da célula *in situ* na UnB.

Diferentemente do modelo adotado em Brasília, trincheira de infiltração utilizou-se, em Boa Vista, a técnica do colchão drenante. Tal técnica foi adotada devido à proximidade do lençol freático em relação à superfície do terreno. Nesse sistema a largura e o comprimento são superiores a sua profundidade. Adotou-se, no caso, as dimensões de 2,00m x 3,00m x 0,50m.

A montagem do colchão drenante na UFRR seguiu a seguinte seqüência (Figura 7): Colocação da manta de geotêxtil; Acomodação das garrafas PET e posicionamento da instrumentação; Fechamento da manta de geotêxtil (envelopamento das garrafas PET) e colocação de 10 cm de areia grossa para o fechamento da trincheira.



Figura 7 – Montagem da célula *in situ* na UFRR.

## 4 Ensaios realizados

### 4.1 Ensaios de laboratório

Os ensaios de caracterização física consistiram basicamente de: umidades natural ( $w_n$ ) e higroscópica ( $w_o$ ), peso específico real dos grãos ou dos sólidos ( $\gamma_s$ ), peso específico natural ( $\gamma_N$ ), análise granulométrica convencional, limite de liquidez ( $w_L$ ), limite de plasticidade ( $w_P$ ). Com essas informações determinou-se ainda o índice de plasticidade ( $I_P$ ), o índice de vazios ( $e$ ) e a porosidade ( $n$ ). Todos os ensaios foram realizados seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

### 4.2 Ensaios de Campo

Em todas as áreas de implantação das estruturas de infiltração, foram realizadas sondagens preliminares e ensaios de permeabilidade. Depois de implantadas as estruturas de infiltração, essas áreas foram submetidas a ensaios de infiltração, pelos quais se monitora o rebaixamento do nível de água no interior de cada uma delas. O nível do lençol freático não foi encontrado no local de estudo da Universidade de Brasília; foi medido em furos de sondagem na pesquisa de Boa Vista.

## 5 Resultado dos Ensaios

### 5.1 Ensaios de Laboratório

A Tabela 1 reúne os resultados de umidade natural, umidade higroscópica, peso específico dos sólidos, peso específico natural, índice de vazios e porosidade das amostras de solos estudadas.

A Tabela 2 apresenta os resultados numéricos de granulometria nas amostras com e sem defloculante, como também, os valores dos limites de Atterberg, ou seja, limite de liquidez ( $w_L$ ) limite de plasticidade ( $w_P$ ), como também o índice de plasticidade ( $I_P$ ) das amostras de solos. Nesta tabela verifica-se que, com o uso do defloculante hexametáfosfato de sódio, houve um aumento na quantidade de argila, ou seja, ocorreu uma dispersão das partículas de argila. Pela ABNT, verifica-se uma grande quantidade de areia, acima de 70%, sem defloculante.

A comparação da textura das duas amostras é muito importante, pois coloca em



evidência o fato de que efetivamente não se deve estimar ou avaliar a permeabilidade de um solo tropical com base na textura obtida com o uso de defloculante. Observa-se que a permeabilidade do solo da UFRR ligeiramente superior à do solo da UnB é perfeitamente em acordo com as texturas obtidas para os dois materiais sem o uso de defloculante.

Tabela 1 – Caracterização física dos solos – UFRR e UnB.

Amostra	Profundidade	w <sub>n</sub> (%)	w <sub>o</sub> (%)	(γ <sub>s</sub> ) (g/cm <sup>3</sup> )	(γ <sub>N</sub> ) (g/cm <sup>3</sup> )	e	n (%)
UFRR	0,5	7,46	0,98	2,58	1,657	0,56	36
	0,5 - 1,0	18,76	2,05	2,67		0,82	45
	1,0 - 1,5	21,48	1,24	2,65		0,80	44
UnB	1,5 - 2,0	20,76	1,27	2,68		0,82	45
	2,0 - 2,5	22,18	1,41	2,71	1,469	0,84	46
	2,5 - 3,0	25,19	7,08	2,70		0,84	46

Tabela 2 – Análises granulométricas realizadas em amostras da UnB e UFRR.

Propriedades	Amostras											
	UFRR				UnB							
	0,5		0 - 0,5		0,5-1,0		1,0-1,5		1,5-2,0		2,0-2,5	
	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d
Granulometria (%)	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d	s/d	c/d
Argila (<0,005 mm)	3,1	27,1	5,6	55,7	5,7	58,0	5,0	54,7	5,1	66,5	6,0	64,5
Silte (0,05 - 0,005 mm)	7,7	6,2	10,5	15,1	10,7	18,0	18,6	22,7	12,2	11,0	18,	13,0
Areia (2,0 - 0,05 mm)	89,2	66,7	83,5	29,2	83,6	24,0	76,4	22,6	82,7	22,5	74,	22,5
Pedregulho (>2,0 mm)	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limite de Liquidez (w <sub>L</sub> ) (%)	16		38		35		39		38		-	
Limite de Plasticidade (w <sub>p</sub> ) (%)	13		22		22		24		28		-	
Índice de Plasticidade (I <sub>p</sub> ) (%)	3		16		13		15		10		-	

## 5.2 Ensaios de Campo

### 5.2.1 Ensaio SPT (Standard Penetration Test) – Sondagem a percussão

Após o ensaio de SPT, verificou-se que, a célula prevista para ser implantada na UFRR, não poderia ser executada na forma de trincheira de infiltração, em virtude do nível de água situar-se a 0,52 m da superfície. Por isso, procurou-se uma alternativa que pudesse ser utilizada, chegando-se a conclusão de executar um colchão drenante. Comparando-se as duas situações, dois seriam os inconvenientes da substituição, primeiro, o colchão drenante termina exigindo superfícies maiores para o mesmo volume de acumulação e segundo, dada a proximidade do lençol freático faz-se necessário maior cuidado com a qualidade da água a ser infiltrada.

### 5.2.2 Ensaio de Permeabilidade por rebaixamento do nível d'água em furo de sondagem – Ensaio de Infiltração

Analisando-se os dados obtidos dos ensaios de infiltração, a taxa de infiltração e o valor do coeficiente de permeabilidade no campus da UFRR foram maiores que na área de teste da UnB (Tabelas 3). Na UFRR foram realizados dois ensaios de infiltração, de 0,50 m e 0,80 m, e na UnB foram realizados ensaios nas profundidades de 0,50 m a 3,0 m (SILVA 2007), mostrados na Tabela 3. O aumento da permeabilidade e infiltrabilidade, no caso da UFRR, estão em acordo com o perfil de sondagem do ensaio SPT. Como de qualquer modo a infiltração não dispõe de camada de filtração, dada a proximidade no nível de água, a



instalação dos colchões drenantes um pouco mais profundos favorecerá, no caso, a infiltração, pois apesar da diferença de carga ser mantida a permeabilidade do solo aumenta com a profundidade.

Tabela 3 – Taxa de Infiltração e Permeabilidade no campo da UFRR e UnB

Amostras	Profundidade (m)	Taxa de Infiltração (m/s)	Permeabilidade de Campo (m/s)
UFRR	0,5	$3,24 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-6}$
	0,8	$12,49 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-5}$
UnB	0	$4,72 \times 10^{-7}$	$4,72 \times 10^{-5}$
	0,5	$1,79 \times 10^{-6}$	$1,79 \times 10^{-4}$
	1,0	$6,50 \times 10^{-6}$	$6,50 \times 10^{-4}$
	1,5	$3,50 \times 10^{-6}$	$3,50 \times 10^{-4}$
	2,0	$1,85 \times 10^{-6}$	$1,85 \times 10^{-4}$
	2,5	$1,77 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-4}$
	3,0	$1,16 \times 10^{-6}$	$1,17 \times 10^{-4}$

## 6 Conclusão

O uso das garrafas PET, na trincheira de infiltração e no colchão drenante, contempla: aspectos ambientais ao dar destinação a elas; sociais, ao valorizar o trabalho dos catadores; e técnico, ao possibilitar uma maior capacidade de acumulação tanto na trincheira quanto no colchão drenante e uma menor sobrecarga sobre o solo suporte. Para a trincheira de infiltração na UnB foi utilizado um total de 784 garrafas PET e para o colchão drenante na UFRR um total de 767 garrafas. A infiltrabilidade obtida para os solos estudados habilita seu uso em sistemas de filtração. Destaca-se que nas profundidades de 0,50 m a 2,00 m, a permeabilidade obtida no campo variou de  $1,79 \times 10^{-4}$  m/s até  $6,5 \times 10^{-4}$  m/s, que são consideradas altas. Considerando-se os resultados de laboratório verifica-se que a infiltração pelo fundo da trincheira e do colchão, se preservadas as características do solo, merece ser considerada tendo em vista a elevada permeabilidade vertical dos solos regionais. Para manter as condições de infiltrabilidade nos sistemas, deve-se considerar que não haja deformabilidade considerável do solo suporte, pois esta acarretaria com a diminuição da permeabilidade na perda da eficiência do sistema.

## Referências

- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. (2005). Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre – RS.
- FUJITA, S. (1996). **Measures to promote stormwater infiltration**. In: International Conference on Urban Storm Drainage, 7, Hannover. Proceedings. Hannover. p. 407-412.
- GURJÃO, C. M, C (2008). **Infiltração da água de chuva como meio de prevenção de inundações e erosões**. Pós Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 89 p.
- SILVA, J. P. (2007). **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração. Dissertação Mestrado em Geotecnia**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 155 p.
- SOUZA, V. C. B. (2002). **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 127 p.