

Capítulo 14-Trincheira de infiltração

14.1 Introdução

A trincheira de infiltração é uma vala rasa escavada e enchida com pedra britada com objetivo de drenar o escoamento superficial. A bacia de infiltração é uma técnica semelhante à trincheira de infiltração. Tucci, no seu livro *Inundações Urbanas na América do Sul*, chama *valos de infiltração* para as trincheiras de infiltração e *bacia de percolação* para a bacia de infiltração.

O método principal para o dimensionamento de trincheiras que usaremos é aquele baseado no volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv, mas, usaremos também o método que, além da melhora da qualidade das águas pluviais, proporciona uma detenção do pico de enchente, que logicamente apresentará volume maior de trincheira.



Figura 14.1 - Trincheira de infiltração

Na Figura (18) podemos observar o pré-tratamento é uma faixa de filtro gramada.

Em trincheira de infiltração é muito usado como pré-tratamento a faixa de filtro gramada, conforme Figura (18). Observar ainda uma pequena berma para facilitar a infiltração.

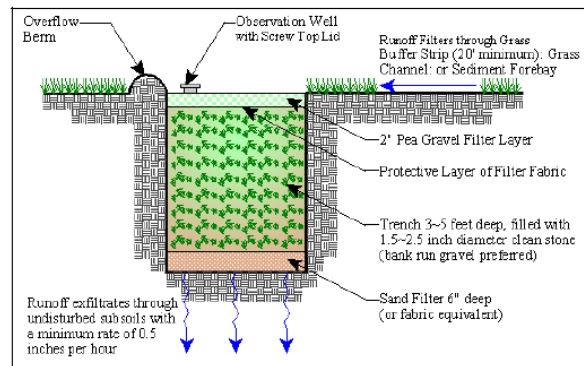


Figura 14.2 - Trincheira de infiltração
Fonte: <http://tti.tamu.edu/documents/1837-1.pdf>

14.2 Eficiência da trincheira de infiltração

A Tabela (14.1) mostra a estimativa de remoção de poluentes de uma trincheira de infiltração.

Tabela 14.1- Estimativa da remoção de poluentes em trincheira de infiltração conforme *first flush* adotado.

TSS Sólidos totais em suspensão	TP Fósforo total	TN Nitrogênio Total	Metais	DBO Demanda bioquímica de oxigênio	Bactéria	First flush
75%	50 a 55%	45 a 55%	75 a 80%	70%	75%	P=12,7mm
90%	60 a 70%	55 a 60%	85% a 90%	80%	90%	P=50,8mm

Fonte: FHWA, 2004

14.3 Projeto

- Recomenda-se que a percolação mínima do solo adjacente seja maior ou igual a 15mm/h e menor ou igual a 60mm/h (Estado de *Massachusetts*, 1997).
- A profundidade máxima da trincheira sobre rocha ou o lençol freático é de 1,20m.
- O geosintético (geotêxtil como o bidim) a ser assentado na trincheira deverá ser repassado no mínimo uns 30cm.
- A profundidade da trincheira de infiltração deve ser ajustada para que o tempo máximo de drenagem do volume de *runoff* seja de 48h, com o **mínimo de tempo de 24h**.
- As pedras britadas a serem usadas variam de 38mm a 75mm. Geralmente é usada pedra britada nº3, cujo diâmetro varia de 25mm a 35mm.
- A trincheira de infiltração somente deve ser construída quando a *área contribuinte estiver estabilizada*.
- A trincheira de infiltração deve ficar no mínimo 6,00m de uma construção.
- No caso de tubos perfurados, a declividade mínima dos mesmos deve ser de 0,5%.
- Os tubos perfurados deverão ter diâmetros maiores que 100mm.
- À montante da trincheira de infiltração, podemos fazer uma **faixa de filtro gramada** para remover as partículas de diâmetros grandes.
- **Deve-se construir uma berma à jusante da trincheira de infiltração** com objetivo de se formar uma pequena lagoa sobre a trincheira para assim, aumentar a infiltração.

Conforme *Minnesota Pollution Control Agency* é altamente recomendado que as áreas máximas para práticas de infiltração sejam as indicadas abaixo:

- Dry weel 0,4 há
- Trincheira de infiltração 2ha
- Sistema de infiltração subterrâneo 4ha
- Bacia de infiltração entre 2ha a 20ha

Mais recomendações:

- É recomendado a verificação do alteamento do lençol freático através do Método de Hantush (1967) ou do Método de Glover (1960).
- É importante algum tipo de pré-tratamento, como faixa de filtro gramada e outros
- Verificar problema de erosão na saída.
- A profundidade da trincheira varia de 0,90m a a 3,6m
- A largura deve ser menor que 7,5m
- Talude laterais de 1:3
- Tempo de infiltração < 48 h
- Se a trincheira tiver mais que 1,50m de profundidade devemos observar os critérios de segurança.
- Para a condutividade hidráulica usar o coeficiente de segurança igual a 2.

14.4 Dimensionamento da trincheira de infiltração

Vamos utilizar os conceitos e o método do Estado de Maryland, 2000.

Profundidade máxima admissível

A profundidade máxima admissível depende da textura do solo em que está a trincheira e da porosidade do reservatório de pedras britadas.

$$d_{\max} = f \cdot T_s / n \quad \text{(Equação 14.1)}$$

Sendo:

d_{\max} = profundidade máxima permissível (m).

Geralmente $0,90 \leq d_{\max} \leq 2,40$ m.

f = taxa final de infiltração (mm/h). Intervalo: $7,6 \text{ mm/h} \leq f \leq 60 \text{ mm/h}$.

T_s = máximo tempo permitido (h). Varia de $24 \text{ h} \leq T_s \leq 48 \text{ h}$.

n = porosidade das pedras britadas do reservatório que compõe a trincheira de infiltração. Geralmente adota-se $n=0,4$. $n=V_v/V_t$ sendo: V_v =volume de vazios e V_t = volume total.

dt = profundidade escolhida para projeto desde que, o fundo da trincheira, esteja superior a 1,20m do lençol freático.

Exemplo 14.1

Escolher a profundidade de uma trincheira de infiltração que tem:

$$n = 0,40 \quad f = 13 \text{ mm/h} \quad T_s = 48 \text{ h}$$

$$d_{\max} = f \cdot T_s / n$$

$$d_{\max} = 13 \text{ mm/h} \cdot 48 \text{ h} / 0,40 = 1560 \text{ mm} = 1,56 \text{ m}$$

Portanto, a profundidade máxima deverá ser 1,56m. Devemos observar que o fundo da trincheira de infiltração deverá estar acima de 1,20m do lençol freático. Adotamos $dt=1,50 \text{ m} > d_{\max}=1,56 \text{ m}$.

Volume da trincheira

O volume de uma trincheira de infiltração é calculado pela Equação.

$$V = V_w + P \cdot A_t - f \cdot T \cdot A_t$$

Sendo:

V = volume de armazenamento na trincheira (m³)

V_w = volume que entra na trincheira (m³)

P = precipitação sobre a trincheira (m)

A_t = área da superfície da trincheira (m²)

f = taxa final de infiltração (mm/h)

T = tempo para enchimento da trincheira que geralmente é ≤ 2 h.

O valor da água precipitada sobre a trincheira (P · A_t) geralmente é muito pequeno e é desprezado nos cálculos.

$$(P \cdot A_t) = 0$$

$$V = V_w + P \cdot A_t - f \cdot T \cdot A_t$$

Ficando assim:

$$V = V_w - f \cdot T \cdot A_t$$

Mas o volume da chuva V_t é a razão do volume V armazenado com a porosidade n.

$$V_t = V / n$$

V_t = volume da trincheira (m³)

Mas o valor de V_t é igual ao produto da profundidade escolhida da trincheira d_t pela superfície A_t e vezes a porosidade n .

$$V = d_t \cdot A_t \cdot n$$

d_t = profundidade admitida (m).

Como queremos determinar as dimensões da trincheira, tiramos o valor de A_t .

$$V = V_w - f \cdot T \cdot A_t$$

$$d_t \cdot A_t \cdot n = V_w - f \cdot T \cdot A_t$$

$$A_t (n \cdot d_t + f \cdot T) = V_w$$

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

(Equação 14.2)

Procedimentos de cálculo

O procedimento de cálculo é o seguinte:

- Determinar o volume V_w de armazenamento usando os métodos WQv.
- Calcular a profundidade máxima permissível da trincheira de infiltração: d_{max} usando a Equação (14.1).

$$d_{max} = f \cdot T_s / n$$

- Escolher o valor a profundidade da trincheira d_t de maneira que esteja acima do lençol freático e que seja menor que d_{max} .
- Calcular a área da superfície da trincheira A_t , usando a Equação (14.2).

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

Exemplo 14.2

Dimensionar uma trincheira de infiltração em um estacionamento com 120m de largura por 150m de comprimento, sendo a taxa de infiltração do solo de 13mm/h e o índice de vazios dos agregados de 0,4.

Neste caso não há pré-tratamento.

Sendo o *first flush* $P=25\text{mm}$

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times A_I$$

Sendo $A_I = 100\%$

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 100 = 0,95$$

$$W_{Qv} = (25/1000) \times 0,95 \times (120 \times 150) = 428\text{m}^3 = V_w$$

$$d_{\max} = f \cdot T_s / n$$

$$d_{\max} = 13\text{mm/h} \cdot 48\text{h} / 0,40 = 1560\text{mm} = 1,56\text{m}$$

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

$$T = 2\text{h}$$

$$f = 13\text{mm/h}$$

$$n = 0,40$$

$$A_t = 428 / (0,40 \cdot 1,56 + 13 \cdot 2\text{h}/1000) = 658 \text{ m}^2$$

Adotando comprimento de 150m, a largura será 4,4m e profundidade será 1,56m.

Exemplo 14.3

Dimensionar uma trincheira de infiltração na **cidade de Natal, RN** em uma área com 3000m² para período de retorno de $T_r=5$ anos sendo a taxa de infiltração do solo de 13mm/h, índice de vazios dos agregados de 0,3, tempo de concentração de 10min.

Conforme programa Pluvioi 2.1 da Universidade de Viçosa a equação de intensidade da chuva da cidade de Natal é:

$$I = 586,66 \times T_r^{0,26} / (t + 15)^{0,68}$$

Sendo:

I = intensidade da chuva máxima (mm/h)

T_r = período de retorno (anos). Adotado **$T_r=5$ anos**

t = tempo de concentração = 10min

$$I = 586,66 \times 5^{0,26} / (10 + 15)^{0,68}$$

$$I = 100\text{mm/h}$$

Vazão de pico pelo Método Racional

$$Q = CIA/360$$

Sendo:

Q = vazão de pico (m³/s)

C = coeficiente de runoff

A_I = área impermeável = 50%

$$R_v = C = 0,05 + 0,009 \times A_I = 0,05 + 0,009 \times 50 = 0,50$$

A = área da bacia (há) = 3000m² = 0,3ha

$$Q = CIA/360$$

$$Q = 0,50 \times 100 \times 0,3/360 = 0,042\text{m}^3/\text{s}$$

$$V = Q \times t_c = 0,042\text{m}^3/\text{s} \times 10\text{min} \times 60\text{s} = 25,2\text{m}^3$$

$$d_{\max} = f \cdot T_s / n$$

$$d_{\max} = 13\text{mm/h} \cdot 48\text{h} / 0,30 = 2080\text{mm} = 2,08\text{m}$$

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

$$T = 2\text{h}$$

$$f = 13\text{mm/h}$$

$$n = 0,30$$

$$A_t = 25,2\text{m}^3 / (0,30 \cdot 2,08 + 13 \cdot 2\text{h}/1000) = 25,2 / 0,65 = 39 \text{ m}^2$$

Adotando comprimento de 30m, a largura será 1,3m e profundidade será 2,08m.

Pré-tratamento

Para o pré-tratamento vamos fazer uma faixa de filtro gramada usando a Tabela (14.2)

Tabela 14.2 - Guia para dimensionamento de faixa de filtro gramada para ser usado como pré-tratamento

Parâmetro	Área impermeável à montante				Área permeável (jardins, etc) à montante			
	11m		23m		23m		30m (45,7m FHWA)	
Comprimento paralelo ao fluxo da água máximo de entrada (m)								
Declividade máxima do Faixa de filtro gramada (6%)	<2%	> 2%	<2%	> 2%	<2%	> 2%	<2%	> 2%
Comprimento mínimo do Faixa de filtro gramada (m) paralelo ao fluxo da água	3,00	4,5	6,00	7,5	3,0	3,6	4,5	5,4

Fonte: Estado da Geórgia, 2001.

Se a area impermeavel a montante for aproximadamente de 23m e a declividade do terreno for menor que 2%, então usando a Tabela (14.2) achamos que o comprimento da faixa gramada deve ser de 6,00m.

Exemplo 14.4

Dimensionar a área superficial da trincheira de infiltração, considerando os seguintes dados:

$n = 0,40$

$WQ_v = 20m^3$

$V_p = 5m^3$ (volume da câmara de sedimentação do pré-tratamento)

$d_t = 1,50m$

$f = 13mm/h$

$T = 2h$ =tempo para encher a trincheira

O volume V_w que irá atingir a trincheira de infiltração é o volume WQ_v menos o volume da câmara de sedimentação V_p :

$$V_w = WQ_v - V_p = 20m^3 - 5m^3 = 15m^3$$

Aplicando a Equação temos:

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

$$A_t = 15m^3 / (0,40 \cdot 1,50m + 13mm/h \cdot 2h/1000) = 24m^2$$

Portanto, a trincheira de infiltração terá 16m de comprimento, 1,50m de largura e 1,50m de profundidade.

Exemplo 14.5

Calcular a trincheira de infiltração para área residencial de 4ha com AI=70%, sendo K=13mm/h, agregado com n=0,40.

Sendo o *first flush* P=25mm

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI$$

Sendo AI= 70%

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68$$

$$WQ_v = (25/1000) \times 0,68 \times (4 \times 10000) = 680\text{m}^3$$

Reservarmos 10%, ou seja, 68m³ para o pré-tratamento.

$$V_w = WQ_v - 0,10 WQ_v = 680\text{m}^3 - 68\text{m}^3 = 612\text{m}^3$$

$$d_{\max} = f \cdot T_s / n$$

$$d_{\max} = 13\text{mm/h} \cdot 48\text{h} / 0,40 = 1,56\text{m}. \text{ Adoto } 1,60\text{m}$$

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

$$T = 2\text{h}$$

$$f = 13\text{mm/h}$$

$$n = 0,40$$

$$A_t = 612 / (0,40 \cdot 1,6 + 13 \cdot 2\text{h}/1000) = 612 / 0,66 = 972 \text{ m}^2$$

Adotando comprimento de 200m a largura será 4,9m e profundidade será 1,60m.

Exemplo 14.6

Vamos calcular, teoricamente com dados reais de pesquisas em trincheiras de infiltração, feitas por Vladimir Caramori B. Souza e Joel Avruch Goldenfum que constam no volume 2 de *Avaliação e controle de drenagem Urbana* da ABRH, 2001, adaptado para a RMSP. Os autores calcularam para um período de retorno de 5 anos e com os dados de chuva de Porto Alegre.

Dimensionar uma trincheira de infiltração sendo fornecido os seguintes dados:

Capacidade de infiltração final = f=9mm/h

n=0,50 (porosidade das pedras)

Área total= 300m²

Rua em paralelepípedo= 200m² (considerada área impermeável, embora C=0,80).

Gramado=100m²

Porcentagem da área impermeável= (200/300) x 100 = 67%

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 67 = 0,65$$

P= 25mm (adotado *first flush* para a RMSP)

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A$$

$$WQ_v = (25\text{mm}/1000) \times 0,65 \times 300\text{m}^2 = 4,88\text{m}^3$$

$$d_{\max} = f \cdot T_s / n$$

$$d_{\max} = 9\text{mm/h} \cdot 48\text{h} / 0,50 = 0,86\text{m}$$

Adoto dt= 0,80m

Considerando que não há pré-tratamento então V_w=WQ_v= 4,88m³

$$A_t = V_w / (n \cdot d_t + f \cdot T)$$

$$A_t = 4,88\text{m}^3 / (0,50 \cdot 0,80\text{m} + 9\text{mm/h} \cdot 2\text{h}/1000) = 11,6\text{m}^2$$

Considerando largura de 0,80m então o comprimento será:

$$11,6\text{m}^2 / 0,80\text{m} = 15\text{m}$$

Em resumo as dimensões da trincheira serão:

Comprimento= 15m

Largura= 0,80m

Profundidade= 0,80m

Porosidade do enchimento= 50%

Volume total = 9,6m³
 Volume útil= 4,9m³
 Custo estimado: US\$ 141/m³ x 9,6m³= US\$ 1.354

14.5 Determinação da profundidade máxima hmax para trincheira de infiltração conforme CIRIA, 2007 3D infiltration systems.

Conforme CIRIA, 2007 a profundidade máxima da água numa estrutura vertical como a trincheira de infiltração é:

$$h_{max} = a [\exp(-bD) - 1]$$

Sendo:

hmax= profundidade máxima da água (m)

$$a = \frac{Ab}{P} - \left(\frac{i \cdot A_D}{P \cdot q} \right)$$

i= intensidade da chuva (mm/h) conforme período de retorno adotado

q=condutividade hidráulica do solo (m/h)

A_D= área drenada (m²)

Ab=base da área do sistema de infiltração (m²)

P= perímetro do sistema de infiltração (m)

$$b = \frac{P \cdot q}{n \cdot Ab}$$

n= porosidade das pedras

D=duração da chuva (h)

CIRIA, 2007 recomenda que:

- Profundidade da trincheira varia de 1,00m a 2,00m
- A trincheira deve ser escorada quando a profundidade for maior que 1,20m

Exemplo 14.7

Calcular a trincheira de infiltração para área residencial de 4ha com AI=70%, sendo K=13mm/h, agregado com n=0,40.

Tabela 14.1- Cálculos usando Ciria, 2007 em três dimensões

Condutividade hidráulica do solo (mm/h)=	26	26	26	26
Coefficiente de segurança adotado=	2	2	2	2
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)=K=q=	13	13	13	13
q (m/h)=K=	0,013	0,013	0,013	0,013
n=	0,4	0,4	0,4	0,4
Area a ser drenada Ad (m2)=	4000	4000	4000	4000
Largura(m)=	3	3	3	3
Comprimento (m)=	100	100	100	100
Area da base Ab (m2)=	300	300	300	300
Perímetro (m)=	206	206	206	206
Duração da chuva D (min)=	10	15	30	60
Duração da chuva D (h)=	0,167	0,250	0,500	1,000
Periodo de retorno	10	10	10	10
i= intensidade da chuva (mm/h)=	151,13	128,49	89,57	56,85
i= intensidade da chuva (m/h)=	0,15113	0,12849	0,08957	0,05685

$b = P \cdot q / Ab \cdot n$	0,02	0,02	0,02	0,02
$a = Ab/P - (Ad \cdot i) / (P \cdot q)$	-224,28	-190,47	-132,33	-83,45
$h = a(\exp(-b \cdot D) - 1) =$	0,83	1,06	1,47	1,84
Tempo de esvaziamento (h) = $n \cdot h_{max} / 2xq$	13	16	23	28

Observar que no Exemplo 14,7 obtivemos dimensões da trincheira de infiltração de 3,00m x 100m bem menor que o obtido no Exemplo 14.6. Isto se deve as três dimensões, significando que está sendo usado os fundos e as laterais da trincheira.

14.6 Bibliografia e livros consultados

-CIRIA. *The SUDS manual*. London, 2007, CIRIA C697, ISBN 978-0-86017-697-8

