



# **TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM UTILIZADAS COMO FORMA DE MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO NO PARQUE AMBIENTAL DA RESERVA DO ITAPIRACÓ NA CIDADE DE SÃO LUÍS – MA**

## **ARTIGO ORIGINAL**

JESUS, Deucilene Macedo de <sup>1</sup>

LISBOA, Danielle Cristina dos Santos <sup>2</sup>

ROCHA, Lucas Nadler <sup>3</sup>

ZENKNER, Lucas dos Santos <sup>4</sup>

VIANA, Francisco Leonardo Monteiro<sup>5</sup>

MULLER, Renata Medeiros Lobo <sup>6</sup>

SANTANA, Claudemir Gomes de <sup>7</sup>

JESUS, Deucilene Macedo de, Et al. **Técnicas compensatórias de drenagem utilizadas como forma de mitigação de inundações: Estudo de caso no Parque Ambiental da Reserva do Itapiracó na cidade de São Luís – MA.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 10, Vol. 13, pp. 74-91. Outubro

---

<sup>1</sup> Engenheira Civil.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Civil.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil.

<sup>4</sup> Engenheiro Civil.

<sup>5</sup> Engenheiro Civil.

<sup>6</sup> Doutora em Química.

<sup>7</sup> Doutor em Química.



de 2019. ISSN: 2448-0959, Link de  
acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/tecnicas-compensatorias>

## RESUMO

O crescimento de áreas urbanizadas, sem um prévio planejamento, resulta em grave problema de inundações. Para sanar ou no mínimo controlar, deve-se realizar manutenção, adequação e ampliação do sistema de drenagem existente, no entanto, estas medidas muitas vezes se tornam impraticáveis, principalmente pelos altos custos envolvidos. Diante disto, o enfoque principal deste trabalho é abordar, de forma exploratória, soluções estruturais e alternativas conhecidas como técnicas compensatórias, voltadas a diminuir o escoamento superficial das águas das chuvas. Utilizou-se a técnica compensatória de trincheira de infiltração na Reserva do Itapiracó, localizada na cidade de São Luís – MA, propondo um pré-projeto de dimensionamento, através de dados coletados e memória de cálculo, para análise de viabilidade econômica e estrutural.

Palavras-chave: drenagem urbana, impermeabilização, sustentabilidade, técnicas compensatórias, meio ambiente.

## INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das cidades gera grandes modificações no ambiente natural, na qual, o uso do solo acaba por agravar os problemas com inundações, resultante do aumento da impermeabilização do solo. Este ciclo de causa e efeito acumula importantes perdas econômicas e sociais, dentre elas: degradação do ambiente natural e desvalorização do ambiente construído, empobrecimento da população com perdas sucessivas (GRIBBIN, 2017).

Miguez et al. (2016), complementa que o crescimento urbano tende a remover a cobertura vegetal original do solo, a aumentar a impermeabilização, a introduzir obras de canalização e a ocupar planícies ribeirinhas, tendo como consequência o aumento



de enchentes nas cidades. Obras de drenagem adequadas às características e limitações físicas da própria bacia são primordiais no equacionamento do problema, onde a evolução das diferentes abordagens para esses projetos varia, ao longo do tempo, de acordo com os objetivos principais ou necessidades imediatas, com a relação desenvolvida com a cidade e, ainda, com a própria disponibilidade de ferramentas tecnológicas que serão capazes de resolver ou no mínimo atenuar o problema (FRANCHINI, 2017).

As soluções adotadas para tais problemas, quase sempre, apresentam caráter localizado, em que os trechos de canais, aplicados esporadicamente, podem reduzir os prejuízos das áreas afetadas, transferindo as vazões a jusante, onde conseqüentemente apenas transfere o problema de inundação para áreas mais baixas (GRIBBIN, 2017). Diante disto, surge o questionamento principal deste estudo de caso: como atenuar o problema de inundações sofrido pelos grandes centros urbanos? Quais técnicas compensatórias de drenagem podem ser utilizadas como complemento do sistema de drenagem tradicional?

As técnicas compensatórias vêm sendo analisadas na atualidade por apresentar um conceito de drenagem sustentável, que busca reduzir os impactos que o processo de urbanização causa sobre o ciclo hidrológico (GONZALEZ, 2014). Porém, se o sistema de drenagem falhar, a cidade sofrerá com inundações e isto mostra como as medidas de armazenamento tornam-se fundamentais para reorganizar os escoamentos e mitigar os problemas (CANHOLI, 2014).

Existem inúmeras técnicas compensatórias que podem ser utilizadas no auxílio do controle de enchentes, e as mais difundidas possuem enfoque em medidas de armazenamento (reservatórios de detenção, retenção e em lote) e de infiltração (telhado verde, vala de infiltração, pavimento permeável, trincheira de infiltração, entre outros).

O presente trabalho aborda, de forma exploratória, uma técnica compensatória conhecida como trincheira de infiltração. Esta medida estrutural, aplicada na área de



proteção ambiental Reserva do Itapiracó, possui como principal objetivo a análise de viabilidade econômica e estrutural.

## **METODOLOGIA**

### **LOCAL DE ESTUDO**

O local escolhido para o estudo foi a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó (APA), localizado na Estrada de Itapiracó, 419 - Turu, São Luís - MA. Possui como coordenadas geográficas: -2.5309067 de Latitude e -44.2221466 de Longitude.

A APA foi criada pelo Decreto Estadual nº 15.618 de 1997, onde, abrange uma vegetação remanescente da floresta amazônica, compreendendo mata de galeria, que protege as nascentes do riacho Itapiracó, e possui os seguintes limites: ao Norte, Conjunto Parque Vitória, Canudos, Tera Livre; ao Sul, Condomínio Itapiracó; a Oeste, Conjunto IPEM Turu; a Leste, Conjunto COHATRAC e Loteamento SOTERRA (ISA, 2010).

Por possuir uma área total de 322 hectares de mata verde, o que influencia principalmente na taxa de infiltração do solo, este local foi ideal para aplicar as técnicas compensatórias de drenagem, de forma exploratória, para assim analisar suas vantagens e desvantagens.

Figura 1 – Localização da Reserva do Itapiracó



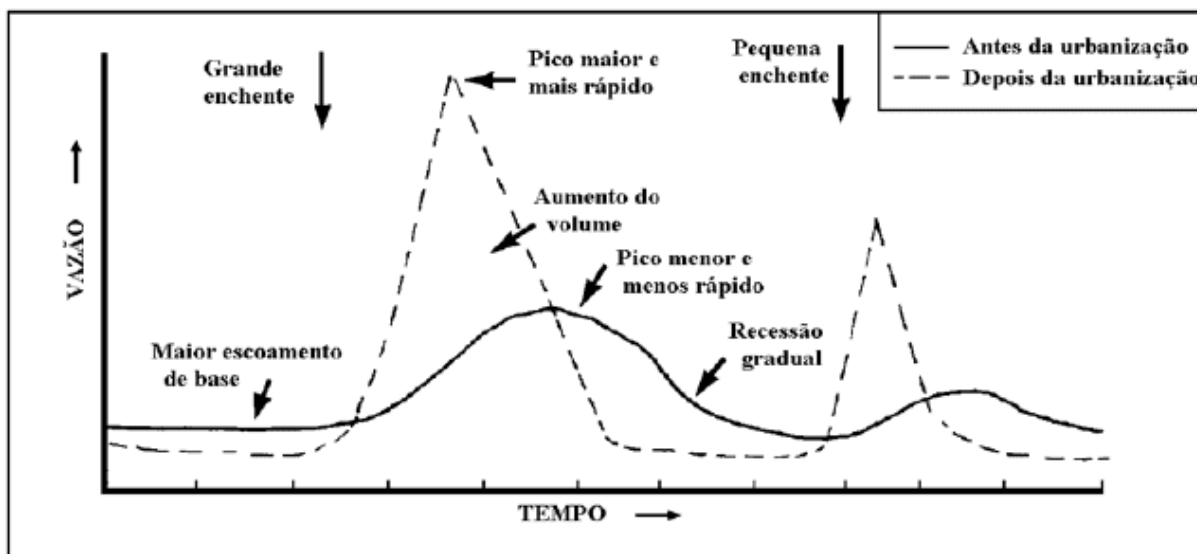
Fonte: GOOGLE EARTH, (2018).

A área, como mostrada acima é um ambiente muito amplo, com inúmeras possibilidades de introdução das técnicas compensatórias de drenagem, e estas aplicações tornam-se necessárias principalmente pela falta de drenagem tradicional existente nos arredores do local, como mostrado abaixo através de visita in loco.

## PRINCIPAIS TIPOS E FUNCIONALIDADES DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

A Figura 2, ilustra um hidrograma de uma bacia hidrográfica antes e após a urbanização. Verifica-se que quando o terreno está em situação natural, tende a ter picos de cheias menores, menores volumes escoados, maior tempo de concentração e maior vazão de base. Enquanto, posteriormente a urbanização têm-se picos de cheias maiores, maiores volumes escoados, menor tempo de concentração e menor vazão de base (LINARD, 2017).

Figura 2 – Variação do escoamento superficial em decorrência da urbanização



Fonte: BENINI, (2015, p. 60).

As técnicas compensatórias vêm auxiliar principalmente neste ponto, visando uma redução dos picos de vazão, aumentando a infiltração de águas pluviais. Segue abaixo a Tabela 1, com o resumo das principais técnicas compensatórias com suas características principais, função e efeito.

Tabela 1 – Principais técnicas compensatórias de drenagem urbana

OBRA	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	FUNÇÃO	EFEITO
<b>Pavimento Poroso</b>	É um pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenar temporariamente as águas da chuva no local do próprio pavimento	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas





<b>Trincheira de infiltração</b>	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
<b>Vala de infiltração</b>	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
<b>Poço de Infiltração</b>	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
<b>Micro reservatório</b>	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
<b>Telhado reservatório</b>	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas



<b>Bacia de detenção</b>	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
<b>Bacia de retenção</b>	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
<b>Bacia subterrânea</b>	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
<b>Condutos de armazenamento</b>	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macro drenagem
<b>Faixas gramadas</b>	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: Adaptado de BEBINI, (2015, p. 80).

Como pode-se constar pela Tabela 1, existem inúmeros dispositivos que podem ser utilizados para auxiliar na redução das inundações, basta que sejam analisados e





identificados, qual melhor opção de viabilidade para execução em determinada área de aplicação.

## TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

As trincheiras possuem como finalidade reduzir o volume de água referente ao escoamento superficial, armazenando água precipitada por um tempo até que se infiltre no solo, diminuindo a probabilidade de enchentes (FRANCHINI, 2017). A Figura 3 abaixo mostra uma trincheira de infiltração.

Figura 3 – Trincheira de infiltração

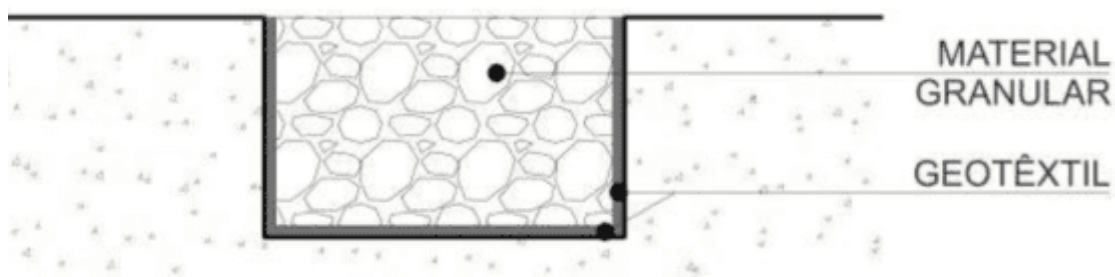


Fonte: TOMAZ, (2016).

Além disso, as trincheiras podem trazer a recarga do lençol freático, preservando a vazão de base, onde também funciona como dispositivo de tratamento da qualidade de água do escoamento superficial.

Estas estruturas são constituídas por valetas preenchidas por seixos, britas ou outro material granular, onde precisam possuir uma porosidade em torno de 35%. A Figura 4 abaixo representa o formato de uma trincheira e o seu material constituinte.

Figura 4 – Formato da trincheira de infiltração



Fonte: SILVA, (2010).

## MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DA TRINCHEIRA

Sabendo que a trincheira de infiltração é uma vala escavada e preenchida com pedra britada cujo objetivo é proporcionar o escoamento superficial, alvo central do estudo de caso. A metodologia aplicada para o dimensionamento da trincheira, baseou-se no método do volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv (TOMAZ, 2016).

## VAZÃO DE PICO

Existe mais de um método para o cálculo do escoamento superficial, no entanto, o mais conhecido é o Método Racional, surgido na Inglaterra no ano 1889, no qual transforma a chuva efetiva em vazão. Esta técnica se refere à aplicação do conceito de hidrograma unitário, que representa a resposta de vazão da bacia para uma precipitação efetiva unitária (GRIBBIN, 2017).

Para encontrar a vazão de pico utiliza-se a seguinte fórmula do Método Racional:



$$Q = \frac{C * i * A}{360} \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde:

C: coeficiente de runoff ou escoamento superficial (tabelado);

i: intensidade da chuva de projeto (mm);

A: área da bacia de contribuição (hectares).

A Reserva do Itapiracó possui área de 322 hectares. No entanto, Tomaz (2016), orienta que a área para prática da trincheira de infiltração seja de no máximo 2 ha, com isso será adotado este valor para os cálculos da trincheira.

Para encontrar o coeficiente runoff (coeficiente de escoamento), que é a razão entre a vazão e a precipitação que lhe deu origem, utiliza-se a Tabela 2 abaixo, pelo qual, este valor está relacionado com as condições naturais dos solos.

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento c para diferentes tipos de áreas

Descrição da área	Coeficiente de escoamento C
Área comercial	
<b>Centro da cidade</b>	0,70 a 0,95
<b>Vizinhanças</b>	0,50 a 0,70
Área residencial	
<b>Habitações uni – familiares</b>	0,30 a 0,50
<b>Habitações multi - familiares isoladas</b>	0,40 a 0,60
<b>Habitações multi – familiares geminados</b>	0,60 a 0,75
<b>Residencial suburbana</b>	0,25 a 0,70
<b>Apartamentos</b>	0,50 a 0,70
Industrial	



<b>Indústrias leves</b>	0,50 a 0,80
<b>Indústrias pesadas</b>	0,60 a 0,90
<b>Parques e cemitérios</b>	0,10 a 0,25
<b>Pátios pavimentados</b>	0,20 a 0,35
<b>Solo não cultivado</b>	0,10 a 0,30
Pavimentação	
<b>Asfalto ou concreto</b>	0,70 a 0,95
<b>Tijolos</b>	0,70 a 0,85
<b>Telhados</b>	0,70 a 0,95
Gramado, solo arenoso	
<b>Terreno plano, 2%</b>	0,05 a 0,10
<b>Declividade média, 2 a 7%</b>	0,10 a 0,15
<b>Bastante declividade, 7% ou mais</b>	0,15 a 0,20
Gramados, solos pesados	
<b>Plano, 2%</b>	0,13 a 0,17
<b>Declividade média, 2 a 7%</b>	0,18 a 0,22
<b>Bastante declividade, 7% ou mais</b>	0,25 a 0,35

Fonte: Adaptado de Tomaz, (2002).

Levando em consideração que o local de estudo possui como característica solo gramado e arenoso, e com declividade média entre 2% a 7%, o valor de C: 0,15. Lembrando que o valor adotado está sendo considerado para um caso mais desfavorável.

Para encontrar a intensidade da chuva de projeto, utiliza-se a equação empírica conhecida como Relação IDF (intensidade x duração x frequência), esta é utilizada para cada posto pluviométrico, a partir de seus dados medidos, segue a Equação abaixo.



$$i = \frac{K \cdot Tr^a}{(td + b)^c} \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde:

i: intensidade das precipitações (mm/min);

Tr: tempo de recorrência em anos;

td: duração da precipitação em minutos;

K, a, b e c: valores que variam para cada posto.

Para dimensionar os dispositivos de infiltração, será utilizado os seguintes parâmetros, conforme a Tabela 3, segundo o estudo das precipitações realizadas pelo Engenheiro Pfafstetter, no Maranhão.

Tabela 3 – Valores de k, a, b e c

POST O	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PERÍODO OBSERVAÇÃO ANOS		FATORES PARA CADA LOCALIDADE			
	Latitud e	Longitud e	Pluviôgraf o	Pluviômetr o	K	a	b	C
<b>São Luis</b>	2°32'0 0 S	44°17'00 O	21,168	26,167	1131,5 7	0,1 8	2 4	0,7 9

Fonte: Adaptado de PFAFSTETTER, (1957).

A partir destes valores, a equação de intensidade de chuva para a localidade de São Luís, necessária para o dimensionamento da trincheira, será respectivamente:



$$i = \frac{1131,57 * Tr^{0,18}}{(td + 24)^{0,74}} \quad \text{Eq.(3)}$$

Através da Equação 3 acima calcula-se as intensidades das precipitações para vários tempos e períodos de retornos para o município de São Luís - MA. Este cálculo, juntamente com o gráfico das curvas IDF (intensidade, duração e frequência), calculados para um tempo de duração das precipitações (t) entre 10 minutos a 6 horas e o tempo de retorno (T) de 2 anos a 100 anos, foram aproveitados de (BRUSACA, 2017), conforme mostrado na Tabela 4 e Figura 5 abaixo.

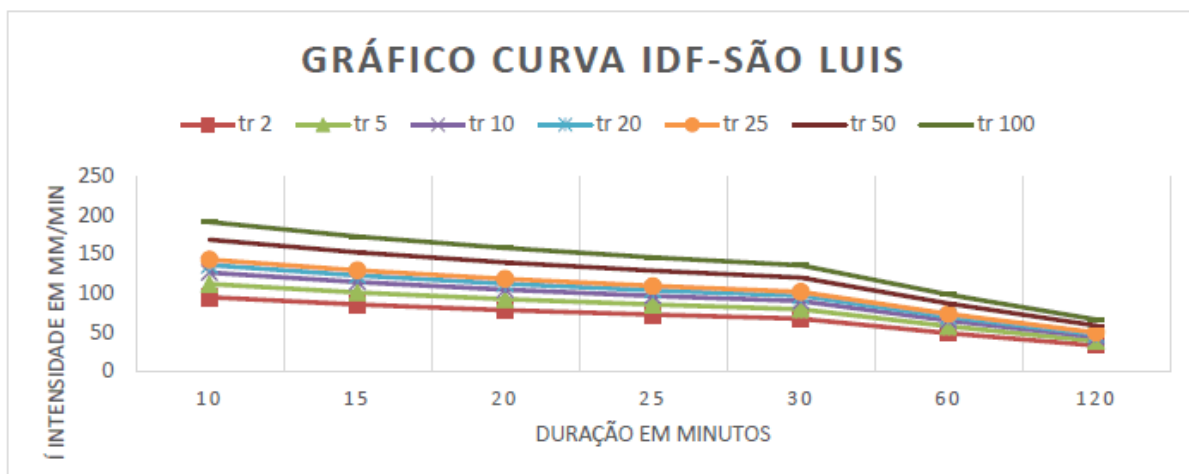
Tabela 4 – Intensidades das precipitações para vários tempos e períodos de retornos

Utilizando a Equação Genérica de Chuvas Intensas de Talbot								
Duração da chuva em minutos	Altura Pluviométrica Média em São Luís							
	Período de Retorno em Anos							
	2	5	10	15	20	25	50	100
10	94,31	111,22	126,00	135,54	142,75	148,60	168,35	190,72
15	85,21	100,49	113,85	122,48	128,97	134,25	152,09	172,30
20	77,93	91,91	104,12	112,00	117,95	122,79	139,10	157,59
25	71,97	84,87	96,15	103,43	108,92	113,39	128,45	145,52
30	66,97	78,98	89,48	96,25	101,37	105,52	119,54	135,43
60	48,29	56,95	64,52	69,41	73,10	76,09	86,20	97,66
120	32,41	38,22	43,30	46,58	49,05	51,06	57,85	65,54
360	15,68	18,50	20,95	22,54	23,74	24,71	28,00	31,72

Fonte: BRUSACA, (2017).



Figura 5 – Curvas intensidade, duração e frequência- IDF para São Luís



Fonte: BRUSACA, (2017).

Portanto, a precipitação correspondente a um tempo de retorno de 5 anos e a duração de chuva de 20 minutos corresponde a: 91,91 mm.

## VOLUME DE ARMAZENAMENTO

Para encontrar o volume de armazenamento da trincheira, utiliza-se a fórmula abaixo:

$$V = Q * tc \quad \text{Eq.(4)}$$

Onde:

Q: vazão de pico (m³);

tc: tempo de concentração (minutos).

O tempo de concentração compreende ao tempo necessário para que uma gota de chuva que se encontra no ponto mais remoto da bacia hidrográfica chegue ao exultório da bacia. O tempo de concentração adotado é: 20 minutos.



## PROFUNDIDADE MÁXIMA

A profundidade máxima admissível é verificada na Equação 5 abaixo, essa profundidade depende da textura do solo e da porosidade de pedras britadas utilizadas para compor o reservatório.

$$dmáx = \frac{f * Ts}{n} \quad \text{Eq.(5)}$$

Onde:

dmáx: profundidade máxima permissível (m);

f: taxa final de infiltração (mm/h);

Ts: máximo tempo permitido (h);

n: porosidade das pedras britadas.

A taxa de infiltração do solo pode ser determinada através da análise do mapa de solos da cidade de São Luís, identificando qual a predominância do solo existente no local de estudo. Após identificação, analisa-se a Tabela 5 abaixo, referente à grupo de solos e características do solo.

Tabela 5 – Porosidade efetiva do material granular

A	<b>Compreende a solos arenosos que possui baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha, nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995).</b>
B	São solos arenosos com menor teor de argila total e menos profundos que os do Grupo A, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem



	subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995).
C	<p>Solos barrentos com teor de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se acerca de 60cm de profundidade, camadas mais densificadas que o Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al. 1993).</p>
D	<p>Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muita baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al. 1993).</p>

Fonte: TUCCI, (1995).

Finalmente, encontra a capacidade mínima de infiltração conforme o grupo do solo através da Tabela 6 mostrada abaixo:

Tabela 6 – Capacidade mínima de infiltração conforme o grupo do solo

Grupo de solo	Capacidade mínima de infiltração (mm/h)	Média
A	7,62 a 11,43	9,53
B	3,81 a 7,62	5,72
C	1,27 a 3,81	2,54



D	0 a 1,27	0,64
---	----------	------

Fonte: TUCCI, (1995).

Tomaz (2017) orienta que a profundidade da trincheira de infiltração deve ser ajustada para que o tempo máximo de drenagem do volume de runoff (Ts) seja de 48h, com o mínimo de tempo de 24h.

Para encontrar a porosidade efetiva do material granular (n), utiliza-se a Tabela 7 abaixo:

Tabela 7 – Porosidade efetiva do material granular

MATERIAL	POROSIDADE EFETIVA
<b>Brita grossa</b>	30
<b>Cascalho de granulometria uniforme</b>	40
<b>Brita graduada (menores que ¼")</b>	30
<b>Areia</b>	25

Fonte: TRINDADE, (1993).

Segundo Tomaz (2017), as pedras britadas a serem usadas variam de 38mm a 75mm. Geralmente é usada pedra britada nº3, cujo diâmetro varia de 25mm a 35mm. Portanto, a porosidade efetiva do material granular adotado é: Brita Nº 3, n: 0,3.

## ÁREA DA SUPERFÍCIE DA TRINCHEIRA

A área da trincheira de infiltração é calculada pela Equação:

$$At = \frac{V}{n * dmáx + f * T} \quad \text{Eq.(6)}$$

Onde:



At: área da superfície da trincheira (m<sup>2</sup>);

V: volume de armazenamento na trincheira (m<sup>3</sup>);

n: porosidade das pedras britadas;

dmax: profundidade máxima permissível (m);

f: taxa final de infiltração (mm/h);

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

## LONGEVIDADE DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Utiliza-se a seguinte fórmula para seu cálculo:

$$L = (f * T)^{0,4} \quad \text{Eq.(7)}$$

Onde:

L: longevidade da estrutura de infiltração (anos);

f: taxa final de infiltração (mm/h);

T: fator de longevidade (anos).

Para estimar do tempo mínimo que a trincheira deve funcionar, utiliza a taxa de infiltração do solo de 12mm/h multiplicado pelo fator de longevidade da trincheira, de acordo com a Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 – Longevidade de algumas estruturas de infiltração

BMP com infiltração	Fator de longevidade (T)
Infiltração das águas pluviais no telhado	60



<b>Bacia de infiltração</b>	15
<b>Trincheira de infiltração</b>	25

Fonte: TOMAZ, (2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### DIMENSÕES DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

As dimensões da trincheira foram encontradas através das Equações 1, 4, 5, 6 e 7, respectivamente:

- Vazão de pico
- Volume de armazenamento da trincheira de infiltração
- Profundidade máxima da trincheira de infiltração
- Área total da trincheira de infiltração
- Longevidade da trincheira de infiltração

Para encontra-las, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Porosidade efetiva do material granular adotado é  $n$ : 0,3.
- A taxa de infiltração do solo adotada é  $f$ : 12 mm/h.
- O tempo de retorno adotado será de  $T_r$ : 5 anos.
- O tempo de concentração adotado é  $t_c$ : 20 minutos.
- Precipitação  $i$ : 91,91 mm.
- Tempo máximo permitido  $T_s$ : 48 horas adotado.





- Tempo para enchimento da trincheira T: 2 horas.
- O coeficiente runoff C: 0,15.
- Área de contribuição: 2 hectares.

## **ESTIMATIVA FINAL DAS DIMENSÕES DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO**

- Profundidade calculada: 1,92m, no entanto, será adotado uma profundidade de 0,60 metros por motivos de segurança.
- Largura: 4,80 metros, no entanto, será adotado 8,0 metros por motivos de segurança.
- Comprimento: 10 metros, no entanto, adotado 20 metros por motivos de segurança.

## **LOCAÇÃO DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO**

Segue abaixo a Figura 6 com a melhor localização para instalação do dispositivo de infiltração dentro da Reserva do Itapiracó, lembrando que este local é a melhor opção, visto que, possui uma geometria plana e bastante espaço que comporta as dimensões da trincheira calculada no estudo, como especificado na Figura 6.

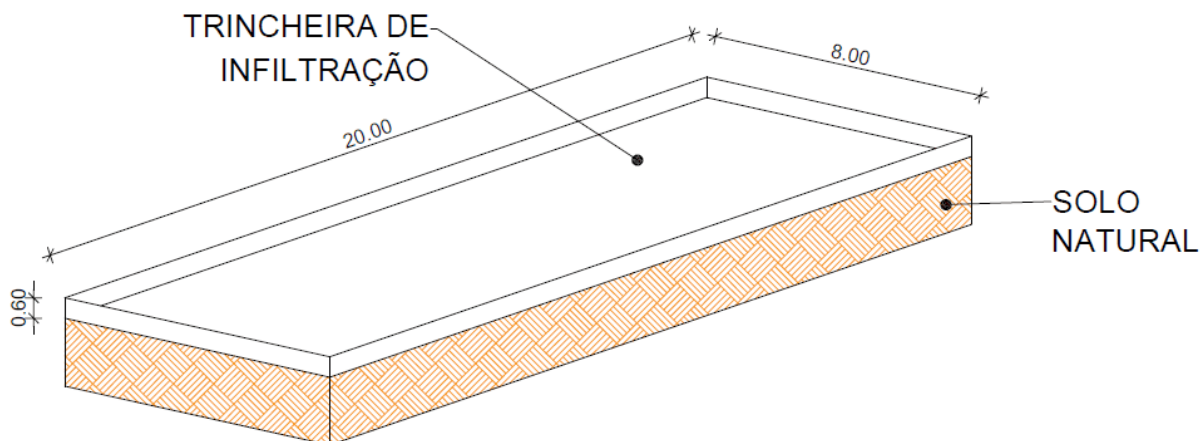
Figura 6 – Local de instalação da trincheira



Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, (2018).

Com as dimensões da trincheira de infiltração encontrada neste estudo, segue abaixo a Figura 7 mostrando-as, para uma melhor visualização.

Figura 7 – Dimensões da trincheira



Fonte: Próprio autor, (2019).

## EXECUÇÃO DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Encontrado as medidas finais da trincheira de infiltração (profundidade de 0,60 m, largura de 8,0 m e comprimento de 20 m), e identificando os materiais que a compõe (manta geotêxtil para reter possíveis finos, e brita com porosidade de 30% para camada de armazenamento do experimento), o método de execução da trincheira de infiltração é relativamente simples, este normalmente é dividido em três etapas: escavação, preenchimento e acabamento. A Figura 8 retrata a primeira etapa, de forma ilustrativa a implantação de trincheira que poderá ser implementado na Reserva do Itapiracó.

Figura 8 – Escavação manual e mecanizada



Fonte: LIMA, (2009).

A imagens acima retratam o primeiro processo que é a escavação, esta pode ser mecanizada ou manual, isto vai depender das condições do local como, se possui ou não espaço suficiente para alocar uma escavadeira hidráulica.

O passo seguinte corresponde ao lançamento da manta geotêxtil onde está é disposta em toda a extensão da vala, tanto nas laterais quanto no fundo, lembrando que é necessário deixar 30 cm de manta acima do nível do solo. Como já especificado, esta manta é composta por material filtrante que possui por finalidade reter possíveis finos. A Figura 9 abaixo demonstra como a manta é aplicada.



Figura 9 – Aplicação de manta geotêxtil



Fonte: LIMA, (2009).

As etapas finais são compostas pelo preenchimento da vala com material granular, que servirá como camada de armazenamento das águas resultante do escoamento superficial, e o acabamento para deixá-la adequada. A Figura 10 abaixo mostra o preenchimento com esse material.

Figura 10 – Preenchimento com material granular e acabamento



Fonte: LIMA, (2009).



## CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Em posse das dimensões finais da trincheira de infiltração (profundidade = 0,60 m; largura = 8,0 m; comprimento = 20 m; Área = 160 m<sup>2</sup>; Volume = 96 m<sup>3</sup>), calculados para uma área de 2 hectares, segue abaixo a Tabela 11, com os custos referente a implantação. Para esta composição, utilizou-se os dados do SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil na qual, na qual, é indicado como principal fonte de referência de preços de insumos e de custos de composições de serviços. Além disso, para chegar ao melhor resultado em termos de atualidade, optou-se por adotar a tabela referente ao município de São Luís, e do mês de maio. Sendo assim, esses valores poderão variar em função das mudanças dos indicadores do SINAPI no período de implantação do projeto.

Tabela 9 – Levantamento de custos para implantação da trincheira de infiltração

Cód. SINAPI	Descrição	Unid.	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
72915	Escavação mecânica de vala em material de 2ª categoria até 2 m de profundidade		105,6	9,14	965,20
72895	Carga, manobras e descarga de materiais diversos, com caminhão basculante 6m <sup>3</sup> (carga e descarga manuais)		105,6	20,80	2196,50
97914	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada dmt até 30 km		2112	1,53	3231,40



<b>73902/001</b>	Camada drenante com brita num 3		105,6	94,94	10025,70
<b>73881/001</b>	Execução de dreno com manta geotextil 200 g/m <sup>2</sup>		210,40	5,10	1073,05
<b>Total</b>					<b>17491,85</b>

Fonte: Adaptado de SINAPI, (2019).

Como mostrado na Tabela 9, os principais itens que compõem os custos da trincheira não chegaram a 20 mil reais, mas é bom lembrar que, esta tabela não leva em consideração o BDI (Bonificação e despesas indiretas). Estes custos indiretos não foram contabilizados nesta tabela, pois, normalmente, não possui um critério fixo, ou seja, depende da construtora que executará a obra.

Para melhor composição, foram acrescentados 10% em cima de cada item, para eventuais perdas. Acrescentou-se também na execução de dreno com manta geotêxtil 30 cm de altura, visto que é um parâmetro necessário para a execução da trincheira. Com isso o cálculo da manta corresponde a (área fundo: 160 m<sup>2</sup>) + (área laterais: 50,40 m<sup>2</sup>), total de: 210,40 m<sup>2</sup>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento urbano acelerado do município de São Luís, assim como outras cidades com grande índice populacional, provoca uma série de problemas principalmente na área de saneamento básico, ou seja, a drenagem tradicional dimensionada para uma determinada população torna-se cada dia mais defasada, em decorrência disso, constantes alagamentos vêm dificultado a vida do Ludovicense. Como a drenagem tradicional possui como método a evacuação das precipitações de uma zona a montante e o transfere a jusante, o que gera impactos ambientais graves, este método traz uma solução pontual, mas não definitiva, o que resulta apenas na realocação dos problemas.





Para tentar melhorar esse quadro, atualmente está sendo introduzido a sociedade o conceito de drenagem sustentável, conhecidas como técnicas compensatórias, na qual, possui como finalidade a recuperação de parte do ciclo hidrológico natural. Os tipos mais usuais deste sistema estão relacionados a medidas de armazenamento (reservatórios de detenção, retenção e em lote) e em medidas de infiltração (pavimento poroso, vala e trincheira de infiltração, assim como, telhado verde).

Os reservatórios de detenção e retenção, possuem capacidade de armazenar grande quantidade de águas pluviais, o que sem dúvidas já traria redução do número de alagamentos nesta área, além disso, apresentam tempo de vida útil maior, associado a um tempo de retorno maior e principalmente um benefício para a sociedade, pois são utilizados também, normalmente, como área de lazer. No entanto, possuem como desvantagens os altos custos com instalação e manutenção.

Em se tratando de dispositivos de infiltração, a grande vantagem está relacionada ao custo de instalação e a diminuição do escoamento superficial, como mostrado no dimensionamento da trincheira para instalação na Reserva do Itapiracó, mas assim como os reservatórios, este método também precisa ser levado em consideração quanto a manutenção, visto que, possui risco de entupimento devido ao transporte de sedimentos trazidos pelas chuvas. Além disso, possuem restrições ao local de aplicação, sendo necessários atentar-se a declividade do terreno que deve ser baixa, o índice de permeabilidade do solo, o nível do lençol freático, entre outros.

O estudo possibilitou concluir, através da simulação da aplicação da trincheira de infiltração na Reserva do Itapiracó, que a adoção de técnicas compensatórias possui como principal vantagem a complementação da drenagem tradicional, visto que, a drenagem existente já se encontra defasada. Estes dispositivos de infiltração podem e devem ser instalados em diversas áreas verdes distribuídas no município de São Luís, no intuito de minimizar os constantes alagamentos ocorridos.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Séries Históricas de Estações**. 2018. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acesso em 30 jun. 2019. (b)

BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana**: estudo de caso da cidade de Tupã/SP. Presidente Prudente, 2015. 220 f. Dissertação (Doutorado na Área de Produção do Espaço Geográfico). Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2015.

BRUSACA, J. C. **DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAS**: estudo de medidas para diminuir o pico de vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência na MA-201 no quilômetro 7. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís - MA, 2017.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CAIXA. Tabelas do SINAPI. Disponível em: < <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx> >. Acesso em: 05 jun. 2019.

FRANCHINI, T. **Estudo comparativo da eficiência entre trincheira de infiltração e trincheira de infiltração com uso de garrafa pet**. Campo Mourão, 2017. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, 2017.

GONZALEZ, F. C. G. **Projeto de drenagem sustentável para mitigação de cheias na bacia do rio Quitandinha, em Petrópolis, RJ**. Rio de Janeiro, 2014. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.



GOOGLE EARTH. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 2. reimpr. da 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

KIPPER, Alex. **Drenagem urbana**: comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista), e compensatória com microreservatórios. Santa Maria, 2015. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2015.

LINARD, P. A. R. G. **Drenagem compensatória e sua aplicação em uma área da UFRN**. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

LIMA, V. C. G. R. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Não Saturado**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo. Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Paulo, 2009.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana**: do projeto tradicional à sustentabilidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PFAFSTETTER, Otto. **CHUVAS INTENSAS NO BRASIL-relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos pluviométricos**. Ministério da Viação e Obras Públicas, Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Dezembro de 1957.

SILVA, P. O. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub-bacia do rio Jiquiá no Recife**. Recife, 2010, 141 p. Dissertação (Mestrado na Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.



SISTEMA NACIONAL DE PREÇOS E ÍNDICES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL - SINAPI. Disponível em: < <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos Para Obras Municipais**. Maio de 2002. (a)

TOMAZ, Plínio. **Balanço Hídrico**. Editor: Plínio Tomaz, Revisão: Fabiana Rehse Tomaz Composição e diagramação: Plínio Tomaz ISBN: 85-905933-1-2. 206 p. Junho de 2007. (b)

TOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de águas pluviais**: Capítulo 14 -Trincheira de infiltração. 11 p. Abril de 2017. (c)

TUCCI, Carlos E. M- **Drenagem urbana-Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, ed. ABRH/ editora da Universidade 1995.

TRINDADE, S. G. **Subsídio para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro – SP**. 1993. 59

Enviado: Setembro, 2019.

Aprovado: Outubro, 2019.