

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA MICROBACIA URBANA NA CIDADE DE BARREIRAS – BA

Cleiton Alcântara Da Silva¹ & Samara Fernanda da Silva²

RESUMO – O processo de urbanização acelerado e não planejado e, conseqüentemente, a impermeabilização do solo promovem alterações significativas nos componentes do ciclo hidrológico local, resultando no aumento do escoamento superficial e na antecipação dos picos de cheias. Em geral, as práticas de drenagem ainda são voltadas majoritariamente para a rápida transferência desses volumes para as áreas localizadas a jusante, o que resulta na transferência do problema. Novas técnicas são necessárias de modo a compensar os ganhos de volumes escoados decorrentes da urbanização. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a implantação das trincheiras de infiltração em uma microbacia urbana, localizada no Município de Barreiras – BA, considerando chuvas com períodos de retorno iguais a 2, 5, e 10 anos e durações de 20 minutos. Dos locais avaliados, a grande maioria mostrou-se como sendo inapropriados para implantação destas estruturas, devido à limitação de espaços físicos. Quanto aos locais considerados como aptos, estes se mostraram capazes de amortizar o volume precipitado em mais de 80% para todos os períodos de retorno.

ABSTRACT– The accelerated, unplanned urbanization process and, hence, soil waterproofing, lead to significant changes in the components of local hydrological cycle, resulting in an increase of surface runoff and anticipation of peak flows. Generally, drainage practices are still mostly focused on the rapid transfer of these volumes to areas located downstream, which transfers the problem. New techniques are needed to compensate the increase in drained volume due to urbanization. Therefore, the present study aimed at assessing the implementation of infiltration trenches in an urban microbasin located in the city of Barreiras – BA, considering rain with return periods of 2, 5 and 10 years and duration of 20 minutes. Most of the assessed locations were inappropriate for the implementation of these structures, due to space limitation. The locations considered appropriate were able to amortize the precipitated volume by more than 80% for all return periods.

Palavras-Chave – medidas compensatórias; trincheiras de infiltração.

INTRODUÇÃO

A ocupação das cidades aconteceu nas regiões de fundo de vales, próximos a rios ou à beira-mar, distanciando-se destes pontos mais baixos para pontos mais altos em direção aos morros e colinas, ocupando os leitos maiores dos rios e impermeabilizando áreas, promovendo alagamentos e inundações (CANHOLI, 2014).

1) Engenheiro Civil (UFOB). E-mail: cleitonalcantara@yahoo.com.br

2) Professora Assistente. Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB). Doutoranda em Engenharia Civil (UFPE) E-mail: samara.silva@ufob.edu.br

Na busca por minimizar os problemas de inundações e alagamentos, a drenagem tradicional objetivou afastar as águas o mais rápido possível acarretando diminuição do tempo de concentração, aceleração do escoamento, aumento das vazões de pico, cheias a jusante e impactos significativos nos ecossistemas fluviais (MIGUEZ, VERÓL E REZENDE 2016). Inundações e alagamentos passaram a ocorrer com maior frequência devido ao aumento de área impermeabilizada, implicando assim no aumento de ocorrência de doenças de veiculação hídrica, tais como, leptospirose, hepatites, febre tifoide, cólera, entre outras, assim como perdas humanas e materiais.

Do ponto de vista hidrológico, a impermeabilização do solo promove alterações significativas nos componentes do ciclo hidrológico local, especialmente na redução dos processos de infiltração, resultando no aumento do volume escoamento superficialmente, das velocidades de escoamento e antecipação dos picos de cheias (FILHO *et al.*, 2000).

Técnicas compensatórias que visam o armazenamento temporário e/ou a infiltração da água podem resultar em amortizações satisfatórias do excedente do escoamento, podendo atuar em conjunto com os sistemas de drenagem já existentes. Dentre tais medidas, o presente trabalho destacará as trincheiras de infiltração.

As estruturas de infiltração proporcionam melhoria da qualidade das águas e contribui na recarga dos mananciais subsuperficiais, entretanto, há o risco de contaminação deste, caso o nível de água esteja próximo à superfície ou caso as águas drenadas tenham alto grau de poluição (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Silva *et al.* (2016) e Souza (2017) realizaram estudos voltados para a utilização de medidas compensatórias de drenagem em uma mesma microbacia, localizada na cidade de Barreiras-BA. Silva *et al.* (2016) obtiveram abatimento do volume distribuído nos lotes da microbacia com o uso dos reservatórios de detenção, chegando a reservatórios com capacidade para armazenagem de 12m³, valor suficiente para amortecer a vazão a nível de pré-desenvolvimento, considerando chuvas de projeto com duração de 60 minutos e tempo de retorno igual a 20 anos. Souza e Silva (2018) obtiveram abatimentos, quando da utilização dos poços de infiltração em áreas públicas (praça), da ordem de 45m³ a 50 m³, adotando chuvas de projeto com duração de 1440 minutos (24h) para um tempo de retorno igual a 20 anos.

Desse modo, o objetivo do presente trabalho é avaliar a implantação de trincheiras de infiltração em espaços públicos disponíveis na microbacia urbana estudada por Silva *et al.* (2016) e Souza (2017). Por conseguinte, têm-se como seguintes objetivos específicos avaliar espaços em áreas urbanizadas propensas para implantação das trincheiras de infiltração e a capacidade de amortização do escoamento superficial quando da implantação de trincheiras.

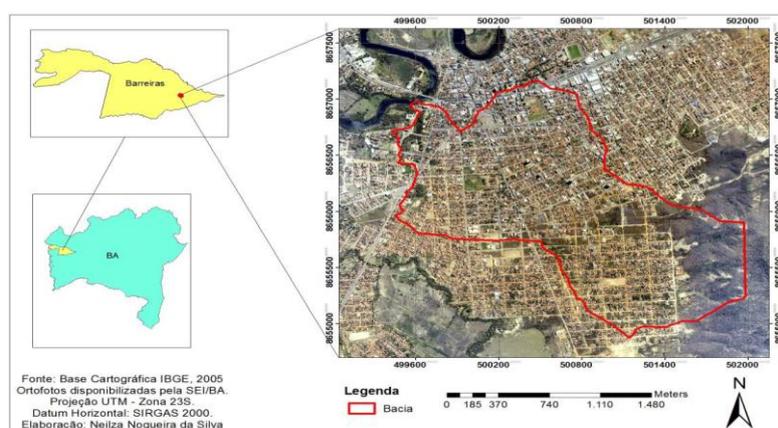
MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

O município de Barreiras - BA possui uma população de cerca de 160 mil habitantes, sendo destaque na produção de grãos e situada geograficamente entre Vales e Serras. O período chuvoso da cidade está definido entre os meses de outubro a março com precipitação média anual de cerca de 1200 mm.

A microbacia em que foi avaliada a implantação das trincheiras de infiltração (Figura 1), possui área igual a 298,1ha, onde um total de 144,3 ha (48,40%) são terrenos construídos; 51,8 ha (17,39%) são terrenos baldios; 1,24 ha (0,42%) são praças públicas; 40,00 ha (13,44%) são áreas rurais e os 60,70 ha (20,36%) restantes são áreas de arruamentos (Silva *et al.*, 2016).

Figura 1 - Delimitação da microbacia estudada.



Fonte: Silva *et al.* (2016).

CrITÉRIOS de Avaliação das Áreas Propensas para Instalação das Trincheiras de Infiltração

Os critérios analisados para definição das áreas a serem avaliadas a implantação das trincheiras foram: a declividade, disponibilidade de espaços públicos lineares e distâncias (trincheiras x edificações). Foram consideradas apropriadas as zonas com declividades inferiores a 25%, conforme Deebo e Reese (1995 *apud* CAPUTO, 2012).

A disponibilidade de espaço, no caso dos passeios, considerou a Lei Municipal Nº 900/2010 do Município de Barreiras - BA, qual defini largura mínima de 2,00 m (1,30 m destinados ao tráfego de pedestres e 0,70 m são destinados ao mobiliário urbano) e uma seção de trincheira padrão de 0,60 m x 1,30 m (largura x profundidade), conforme sugere Moura (2004), totalizando uma largura mínima de 2,60 m. As medidas das larguras das calçadas foram obtidas *in loco* devido à ausência de imagens aéreas com resolução adequada. Assim, foram pré-selecionadas as duas principais avenidas da microbacia – Capitão Manoel Miranda e Professor José Seabra – cujas extensões, obtidas em ambiente SIG por meio do ArcGis 10.4 (ESRI, 2014) foram de 1.140m e 616m, respectivamente. As larguras dos passeios obtidas em campo foram então comparadas com o valor mínimo pré-estabelecido (2,60 m).

Quanto ao afastamento das trincheiras de infiltração em relação às construções ali presentes, este foi avaliado em função do valor obtido por Souza (2017) para a condutividade hidráulica do solo da microbacia próximo aos locais pré-selecionados, de modo que fosse possível obter o afastamento mínimo indicado por *Engineers Australia* (2006) *apud* Caputo (2012), evitando assim qualquer dano de natureza estrutural nas edificações ali presentes.

Avaliação da Capacidade de Amortização do escoamento Superficial

O método utilizado para o dimensionamento das trincheiras de infiltração foi o “método do envelope de chuva” ou “*rain-envelope-method*” (Urbonas e Stahre 1993 *apud* SOUZA, 2002). Souza (2002) menciona que esse método é simples por depender apenas das características do local e das curvas de intensidade, duração e frequência (IDF). A metodologia consiste em determinar os volumes acumulados de entrada (afluência) – determinado com base nas curvas IDF – e de saída do dispositivo – determinado de acordo com as características do solo.

Considerações para determinação das áreas de contribuição

A área de contribuição para cada trecho de rua correspondeu à área horizontal de toda faixa da via relativa ao trecho em questão, sendo considerado que cada trincheira seria responsável por drenar metade do escoamento superficial gerado nas respectivas áreas. Foi utilizado como ferramenta para a obtenção dessas áreas de contribuição o ArcGis 10.4 (ESRI, 2014).

Equação de chuva para a região

A equação de chuva utilizada para determinação das curvas IDF corresponde aquela obtida por Silva *et al.* (2002), os quais obtiveram para o município de Barreiras a seguinte equação:

$$i = \frac{1525,758 \cdot T^{0,178}}{(t+19,457)^{0,820}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

i = Intensidade máxima da chuva (mm/h)

T = Período de retorno (anos)

t = Duração da precipitação (min)

Os períodos de retorno serão iguais a 2, 5 e 10 anos e as respectivas durações das precipitações serão de 20 minutos.

Vazão e volume afluentes à trincheira

Para o cálculo da vazão afluente à trincheira de infiltração foi utilizado o Método Racional por se tratar de uma bacia pequena (Equação 2). O valor adotado para o coeficiente de escoamento superficial (C) foi igual a 0,70, conforme sugerido por Wilken (1978 *apud* BIDONE e TUCCI, 1995), considerando uma região com ruas e calçadas pavimentadas.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$Q =$ Vazão em m^3/s

$i =$ Intensidade da precipitação em mm/h

$C =$ Coeficiente de run-off

$A =$ Área de contribuição em Km^2

O volume afluyente da trincheira de infiltração foi obtido multiplicando-se a vazão calculada, pelo tempo da precipitação, acrescido de 25%, aproximando o volume obtido pela utilização do Método Racional com as condições reais de operação da trincheira Sjoberg e Martensson (1993 *apud* SOUZA, 2002).

$$V_T = 1,25 \times 3600 \cdot C \cdot \left(\frac{I_T}{1000} \right) \cdot t \cdot A \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$V_T =$ Volume escoado em m^3 para uma chuva de duração igual a t minutos para um período de retorno igual a T anos.

$I_T =$ Intensidade da precipitação para um período de retorno igual a T anos ($l/s/ha$)

$t =$ Duração da precipitação (h)

$A =$ Área de contribuição (ha)

Volume de saída da trincheira

A percolação da água no solo é descrita pela equação de Darcy, obtida por meio de ensaios em solos arenosos totalmente saturados. Darcy concluiu que o fluxo da água percolada é proporcional ao gradiente hidráulico (Equação 4).

$$q = K \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$q =$ Fluxo por unidade de área ($m \cdot s^{-1}$)

$K =$ Condutividade hidráulica ($m \cdot s^{-1}$)

$h =$ Carga hidráulica (m)

$x =$ Profundidade (m)

$\frac{\partial h}{\partial x} =$ Gradiente hidráulico

O fluxo de água total pode ser determinado pela equação 5:

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$Q =$ Vazão ou fluxo de água (m^3/s)

$A =$ Área de percolação/infiltração (m^2)

A condutividade hidráulica adotada foi $K = 7,1$ mm/h , sendo determinada por Souza (2017), por meio do método do infiltrômetro de anéis metálicos. Com a utilização da equação de Darcy para a obtenção do fluxo e considerando que o volume de saída (volume percolado) é igual à média entre a vazão de saída para o enchimento e para o esvaziamento da trincheira, Urbonas e Stahre (1993 *apud*

SOUZA, 2002) obtiveram a Equação 6, utilizada para determinação das curvas dos volumes acumulados de saída da trincheira:

$$V_S = K \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \cdot \frac{A_{Perc}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

V_S = volume percolado (m^3)

A_{Perc} = área de percolação lateral da trincheira (m^2)

t_p = tempo de duração da percolação (h)

K = condutividade hidráulica ($m \cdot s^{-1}$)

Dimensionamento físico das trincheiras

Para o dimensionamento das trincheiras de infiltração foi considerada a máxima diferença entre o volume afluente e o volume de saída da estrutura, que corresponde ao volume infiltrado (Equação 7).

$$V_{Projeto} = \text{Máxima } [V_T - V_S] \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

$V_{Projeto}$ = Volume de projeto (m^3)

V_T = Volume afluente (m^3)

V_S = Volume infiltrado (m^3)

A Equação 8 tem como resultado o volume de dimensionamento ou, físico em função da porosidade do material escolhido, que no presente estudo foi igual a 40%:

$$V_{dim} = \frac{V_{Projeto}}{\phi} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

V_{dim} = Volume de dimensionamento (m^3)

ϕ = Porosidade do material

Considerando que o dimensionamento é voltado unicamente para o comprimento da estrutura, haja vista que a seção transversal foi fixada nos valores de 0,60m x 1,30 m, os volumes resultantes das trincheiras, relativos aos seus comprimentos, foram obtidos por meio de processos iterativos até que volumes compatíveis com os volumes de dimensionamento (V_{dim}) fossem alcançados.

Os comprimentos das trincheiras foram comparados com os comprimentos dos espaços públicos disponíveis nos locais de estudo. Após essa primeira etapa de cálculo, as trincheiras foram novamente avaliadas, desta vez utilizando os comprimentos disponíveis em cada trecho, para que assim fosse possível obter, dentro das limitações observadas, as reais capacidades de amortização das mesmas.

Avaliação da capacidade de amortização

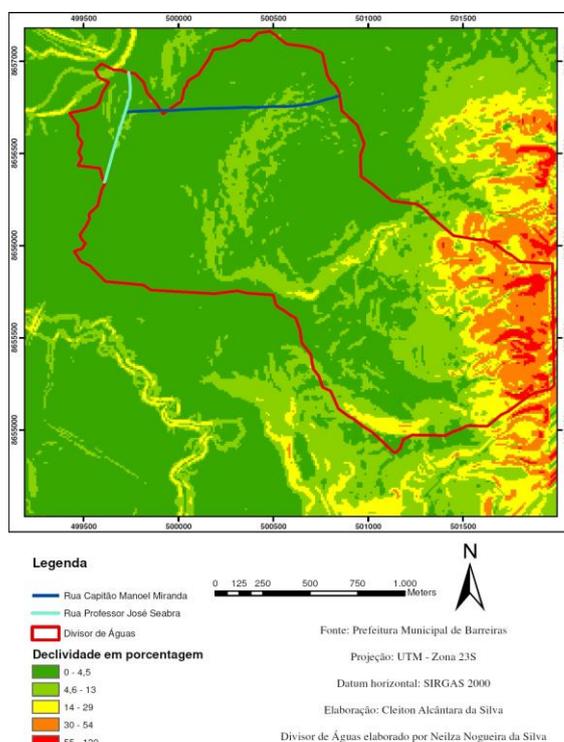
Para o cálculo das capacidades de amortização foram considerados os volumes de armazenamento das trincheiras e as quantidades infiltradas pelas suas áreas laterais no decorrer do tempo. A soma dos volumes de armazenamento com os volumes totais infiltrados, dividida pelo volume total precipitado em cada área de contribuição, é igual ao percentual amortizado para cada trincheira.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliação das Áreas Propensas para Instalação das Trincheiras de Infiltração

A maior parte da microbacia apresenta declividade adequada (inferior a 25%) para implantação das trincheiras de infiltração. As avenidas pré-selecionadas – a Capitão Manoel Miranda e Professor José Seabra – apresentaram valor máximo de 13%, conforme Figura 2.

Figura 2 - Mapa de declividades.



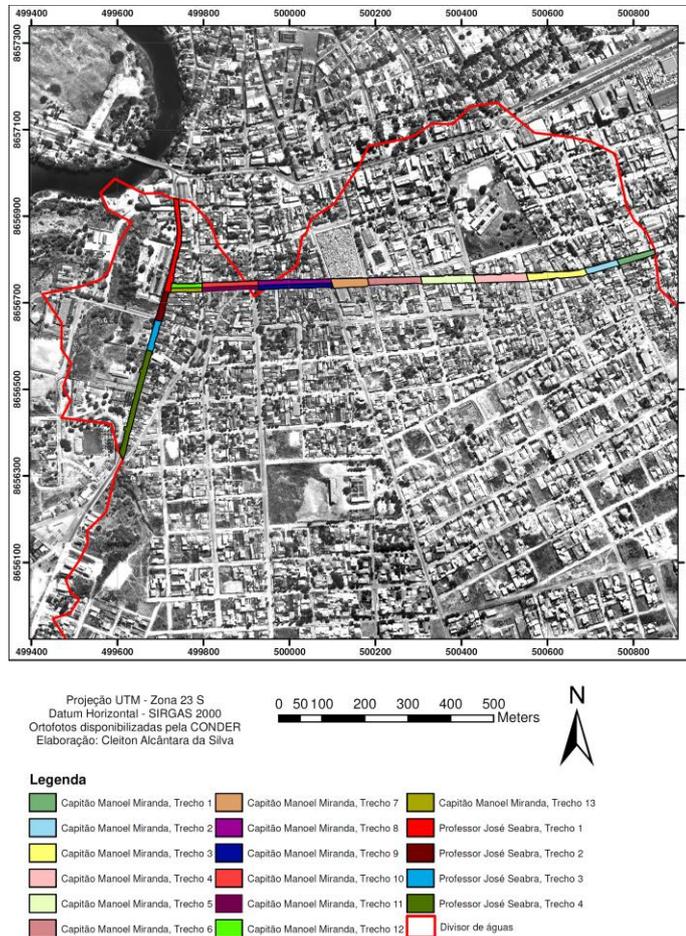
Avaliação dos espaços públicos lineares

As calçadas existentes nas avenidas Capitão Manoel Miranda e Professor José Seabra não dispõem de alinhamento adequado das edificações. Verificou-se ainda que a largura mínima de 2,00 m, conforme Lei municipal, não se aplica a nenhum dos trechos o que resultou na inviabilidade da implantação das trincheiras de infiltração nestes espaços. Assim, nenhuma largura foi igual ou superior ao valor de 2,60m, portanto, os espaços dos passeios foram considerados inapropriados para implantação das trincheiras de infiltração.

Em relação aos canteiros centrais contidos nos trechos 8-9, 10-11 e 12-13 (Figura 3), pertencentes à Avenida Capitão Manoel Miranda, verificou-se que o afastamento mínimo requerido

de 4,00m é ultrapassado, resultando na possibilidade da implantação das trincheiras nestes espaços. No entanto, faz-se a ressalva quanto à existência de mobiliários presentes, tais como postes de iluminação, sinalização vertical e arborização.

Figura 3 - Localização das áreas de estudo.



Capacidade de Amortização do Escoamento Superficial

Os volumes excedentes variaram nos trechos aptos de 17,34 m³ a 42,07 m³ para TR=2 anos, de 20,41 m³ a 49,52 m³ para TR=5 anos e de 23,09 m³ a 56,03 m³ para TR=10 anos. Os volumes infiltrados obtidos representaram em média 1% dos valores computados para os volumes de armazenamento para chuvas com a duração de 20 minutos. Tal observação indica que as trincheiras apresentaram um comportamento semelhante ao dos dispositivos de detenção, funcionando, de certo modo, como caixas de passagem.

Dimensionamento das trincheiras de infiltração para os trechos

A Tabela 1 apresenta os comprimentos disponíveis para cada trecho, bem como aqueles obtidos com a utilização do método “rain-envelope-method” para o dimensionamento.

Tabela 1 - Comprimentos obtidos após o dimensionamento para chuvas com 20 minutos de duração para amortização total do escoamento.

Trecho	Comprimentos dimensionados (m)
--------	--------------------------------

	Comprimento disponível (m)	T=2 anos	T=5 anos	T= 10 anos
8-9	157	135	159	180
10-11	112	104	122	138
12-13	60	56	66	75

Fonte: Autor.

Observou-se que para o Tr de 2 anos os trechos avaliados apresentaram comprimentos maiores do que aqueles necessários para amortizar 100% do volume escoado. Quando avaliados os comprimentos destes trechos para Tr igual a 5 anos, observou-se que os mesmos apresentaram comprimentos que equivalem a cerca de 90% daqueles obtidos com o método de dimensionamento, enquanto que para Tr igual a 10 anos este percentual ainda superior a 80%.

Determinação da capacidade de amortização

As figuras (Figura 4 e Figura 5) apresentam os valores dos volumes precipitados e suas respectivas amortizações proporcionadas pela implantação das trincheiras.

Figura 4 - Volumes precipitados por trecho e período de retorno para uma chuva com 20 minutos de duração.

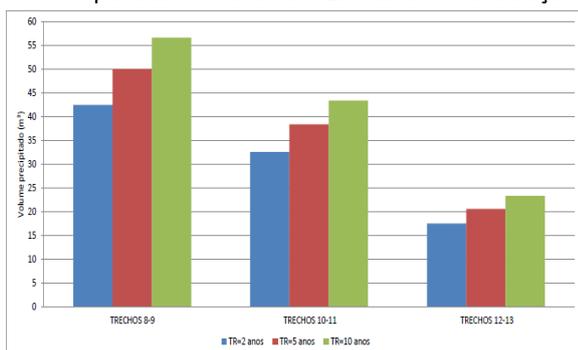
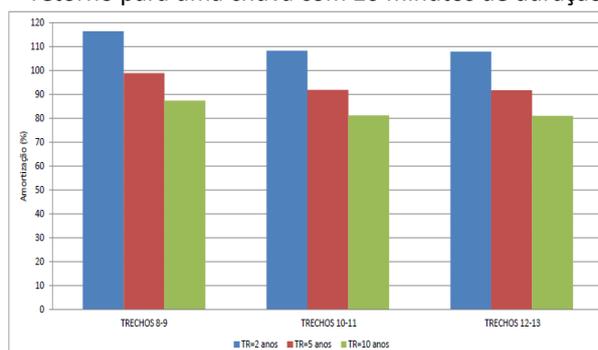


Figura 5 - Amortizações por trecho e período de retorno para uma chuva com 20 minutos de duração.



Assim, pode-se inferir que as trincheiras de infiltração apresentaram valores satisfatórios de amortização dos volumes resultantes das precipitações e escoados pelas áreas impermeabilizadas, acima dos 80% para os tempos de retorno avaliados. Em especial, para o Tr de 2 anos, as estruturas não foram totalmente preenchidas pela água durante a simulação do evento, o que pode ser constatado devido ao valor elevado dos percentuais de amortização, acima dos 100% para todos os trechos considerados no dimensionamento.

Os resultados obtidos foram similares aos encontrados por Moruzzi *et al.* (2011), Caputo (2012) e Souza (2002). Para TR de 2 anos, Moruzzi *et al.* obtiveram amortizações variando de 60% a 100%, enquanto que Caputo (2012) obteve valores entre 21% e 68%. Para TR igual a 5 anos, Trindade (2009), Caputo (2012) e Souza (2002), obtiveram, respectivamente, amortizações de 48% a 100%, 21% a 68% e 100%. Levando-se em consideração um período de retorno de 10 anos, Caputo (2012) obteve amortizações variando de 12% a 49%.

CONCLUSÃO

Na microbacia estudada há poucas áreas disponíveis para implantação de trincheiras de infiltração e estas apresentaram comportamento semelhante de estruturas de detenção, pois os volumes infiltrados foram relativamente baixos se comparados com os volumes armazenados pela estrutura. As áreas disponíveis correspondem aos canteiros centrais existentes na Rua Capitão Manoel Miranda, embora exista mobiliários ali presentes (postes de iluminação, sinalização vertical e arborização).

Para Tr de 2 anos, as trincheiras mostraram-se capazes de armazenar e infiltrar o volume precipitado nas áreas de contribuição analisadas em 100%, para Tr's superiores a este os percentuais de abatimento foram satisfatórios, apresentando resultados superiores a 80% para todos os trechos considerados no dimensionamento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

a) Livro

- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. *Drenagem Urbana: Do Projeto tradicional à sustentabilidade*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

a) Teses e Dissertações

- TOMINAGA, E. N. S. *Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte*. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo - SP, 2013.
- SOUZA, V. C. B. *Estudo experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial*. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2002.
- MOURA, Priscilla Macedo. *Contribuição para avaliação global de sistema de drenagem urbana*. 146f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004.
- SOUZA, Jader Luiz dos Santos. *Medida Compensatória em uma Microbacia Urbana de Barreiras-BA*. 2017. Monografia (Engenharia Civil) – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Universidade Federal do Oeste da Bahia – BA, 2017.

c) Artigo em revista

- MORUZZI, R. B.; Trindade, S.G. “*Subsídios para Implantação de Trincheiras de Infiltração na Área Urbana de Rio Claro- São Paulo*”. Engenharia Ambiental (Online), v. 8, p. 148-170, 2011.
- ANDRADE FILHO, Alceu G. de; SZÉLIGA, Marcos R; ENOMOTO, Carolina F. “*Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas*”. Revista Publicatio UEPG. Ponta Grossa, PR, v.6, n.1, p. 69-90, 2000

d) Artigo em anais de congresso ou simpósio

- SILVA, Neilza Nogueira. CRUZ, Jonathas Alves. AMARAL, Luís Gustavo Henriques (2016). “*Dimensionamento de Reservatórios de Lote para Redução do Volume de Escoamento Superficial na Cidade de Barreiras, BA*”. In XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju, Nov. 2016.