



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## SUBSÍDIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA URBANA DE RIO CLARO- SÃO PAULO

Rodrigo Braga Moruzzi<sup>1</sup>; Samuel Guizeline Trindade<sup>2</sup>

---

### RESUMO

Este trabalho se propôs a estudar o tema "trincheiras de infiltração" em alguns de seus principais aspectos, a fim de subsidiar a implantação dessas estruturas na área urbana de Rio Claro. Para dimensionamento foi utilizado o "rain-envelope method" a partir de dados de caracterização do local de implantação e da curva IDF (intensidade-duração-frequência). Foram investigadas cinco localidades dentro da área urbana de Rio Claro para implantação desses dispositivos, considerando o tipo de solo, condutividade hidráulica de cada área e tamanho mínimo do lote segundo o Plano Diretor de Rio Claro. Além disso, apresentou-se uma estimativa da redução de escoamento superficial em lotes urbanos com o uso de trincheiras de infiltração.

**Palavras-chave:** escoamento superficial; drenagem; trincheiras de infiltração.

### AN APPROUCH FOR INFILTRATION TRENCHES INSTALATION AT URBAN AREA OF RIO CLARO – SÃO PAULO

### ABSTRACT

The purpose of this work is to study the theme "infiltration trenches" in some of its main aspects, in order to subsidize the installation of these structures in the urban area of Rio Claro/SP. For sizing, the "rain-envelope method" was used based on local characterization data and the IDF (intensity-duration-frequency) curve. Five locations were chosen in the urban area of Rio Claro for implementation of these devices, considering the soil type, hydraulic conductivity of each area and minimum lot size according to the Master Plan of Rio Claro. This work also presented an estimated reduction of the runoff in urban lots by using infiltration trenches.

**Key words:** runoff; drainage; infiltration trenches

---

Trabalho recebido em 25/11/2010 e aceito para publicação em 29/06/2011

---

<sup>1</sup> Engenheiro Civil (UFSCar), Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento (EESC-USP). Professor do curso de Engenharia Ambiental da UNESP, Campus de Rio Claro. Rua 10, 2527 Cx.Postal 178 13500-200 Rio Claro, SP. e-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br

<sup>2</sup> Engenheiro ambiental, Consultoria Junior, São Paulo. e-mail: samuel.trindade@gmail.com

## 1 – INTRODUÇÃO

O processo de urbanização da bacia hidrográfica modifica o comportamento das vazões de escoamento superficial, provocando aumento nos volumes de cheias dos rios. O transporte das águas pluviais para os cursos d'água acontece de forma acelerada nas cidades, antecipando os picos de cheia visualizados por meio dos hidrogramas de macrodrenagem. Estas alterações causam sobrecarga nos sistemas clássicos de drenagem urbana (micro e macrodrenagem), os quais muitas vezes se tornam incapazes de veicular a vazão adicional, provocando aumento na frequência e na magnitude das inundações.

Durante muitos anos, tanto no Brasil como em outros países, a drenagem urbana foi abordada como tópico acessório, dentro do contexto do parcelamento do solo para usos urbanos. As obras de micro e macrodrenagem urbana são exemplos da prática convencional, observados pela implantação de galerias e canais de concreto, tamponamento de córregos, retificação de traçados, aumento das declividades dos fundos dos canais (BAPTISTA, 2005).

A partir dos anos 70 o conceito de “tecnologias alternativas” ou “compensatórias” começou a ser abordado, apresentando novas técnicas para complementar os sistemas clássicos de

drenagem urbana. As chamadas soluções compensatórias de drenagem pluvial são consideradas inovações importantes de caráter tecnológico, de planejamento e de gestão dos sistemas de drenagem de águas pluviais, constituído pelo uso de reservatórios, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, dentre outros dispositivos (SCHUELER, 1987; URBONAS & STAHR, 1993). Essas tecnologias buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental.

Os sistemas alternativos permitem a manutenção do desenvolvimento urbano sem gerar custos excessivos, ao contrário do remodelamento do sistema com tecnologias convencionais que se traduz em custos elevados, por vezes proibitivos, para finanças públicas (LIMA, 2009).

Neste contexto, os dispositivos alternativos de controle superficial da drenagem desempenham papel fundamental na gestão da água pluvial no ambiente urbano. Assim, o presente estudo pretende incrementar a discussão sobre o uso de técnicas alternativas na cidade de Rio Claro, mediante a apresentação de tecnologias em sistemas de gerenciamento de drenagem urbana, focando nos dispositivos de controle na fonte, a fim de fornecer alguns subsídios técnicos para a

implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro/SP.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Localização da Área de Estudo

Situado no setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista – zona do Médio-Tietê, o sítio urbano do município de Rio Claro, em sua maioria, localiza-se no interflúvio entre o rio Corumbataí e Ribeirão Claro. Sua expansão, inicialmente, realizou-se de forma longitudinal, já que os vales destes rios, a leste e oeste da área urbana, além da Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade”, atuaram, em um primeiro momento, como barreira física a esta expansão (Figura 1).

Contudo, verifica-se, atualmente, que os terrenos ocupados pela área urbana atingem altitudes de 625 metros no setor norte, pertencente à área de interflúvio Corumbataí-Ribeirão Claro, e 540 metros já no fundo do vale do rio Corumbataí. Assim, neste relevo é possível encontrar elementos que se definem e se individualizam, por suas formas e processos, evidentes através da paisagem natural e da ocupação antrópica.

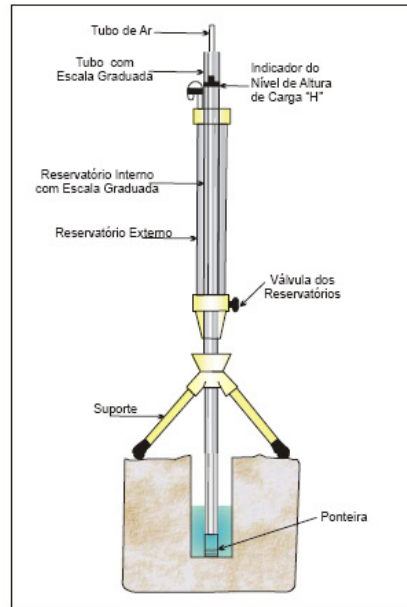
De maneira geral, destaca-se o interflúvio sub-tabuliforme entre o rio Corumbataí e Ribeirão Claro, com altitudes de 600-630 metros, capeados por

sedimentos arenosos. As bordas deste interflúvio caracterizam-se como colinas suavemente convexas, que se desdobram em patamares escalonados até a várzea dos dois rios. Nos fundos dos vales ocorrem depósitos móveis, identificados como antigos assoalhos aluviais, e a planície aluvial atual.

### 2.2 - Ensaios em campo

#### 2.2.1 - Permealibilidade (Método Guelph)

O permeâmetro Guelph, foi utilizado na determinação expedita *in situ* da condutividade hidráulica dos pontos escolhidos para implantação das trincheiras. Este aparelho foi desenvolvido por Reynolds e Elrick em 1983, sendo aperfeiçoado pelos mesmos autores na Universidade de Guelph, no Canadá, em 1985 (SOTO, 1999). O equipamento consiste em um permeâmetro de carga constante, que funciona segundo o Princípio do Sifão de Mariotte. Este princípio permite escoamento a velocidade constante (com a diminuição do nível d'água no aparelho), por meio do equilíbrio entre a pressão externa (pressão atmosférica) e a interna do permeâmetro. O permeâmetro é constituído basicamente por: tubo de ar, indicador do nível de água a ser mantido no furo (H), tubo e reservatório interno com escala graduada, reservatório externo, suporte, válvula do reservatório e ponteira (Figura 2).



**Figura 2.** Desenho esquemático do permeômetro de Guelph.

**Fonte:** (OLIVA, 2006).

O procedimento do ensaio requer, após seleção dos locais a serem analisados, a realização de furos a trado com fundo horizontal plano. Quando se estabelece um nível d'água (carga hidráulica) constante no interior do furo de trado, origina-se um "bulbo" de saturação d'água a partir de sua base. O volume d'água, que infiltra no solo por unidade de tempo (taxa de infiltração), torna-se constante após determinado tempo de estabilização. As características e dimensões deste "bulbo" de saturação d'água, uma vez atingida a condição de estabilidade, variam com as características do solo ensaiado.

O conhecimento do valor da taxa de infiltração, associado às dimensões do furo e da altura da coluna d'água no seu interior,

permite o cálculo da condutividade hidráulica *in situ*, através da seguinte expressão, segundo Soil Moisture Corp (1991), conforme Equações 1 ou 2.

$$K = [(0,0041) (X) (R2) - (0,0054) (X) (R1)] \quad (1)$$

ou

$$K = [(0,0041) (Y) (R2) - (0,0054) (Y) (R1)] \quad (2)$$

Em que:

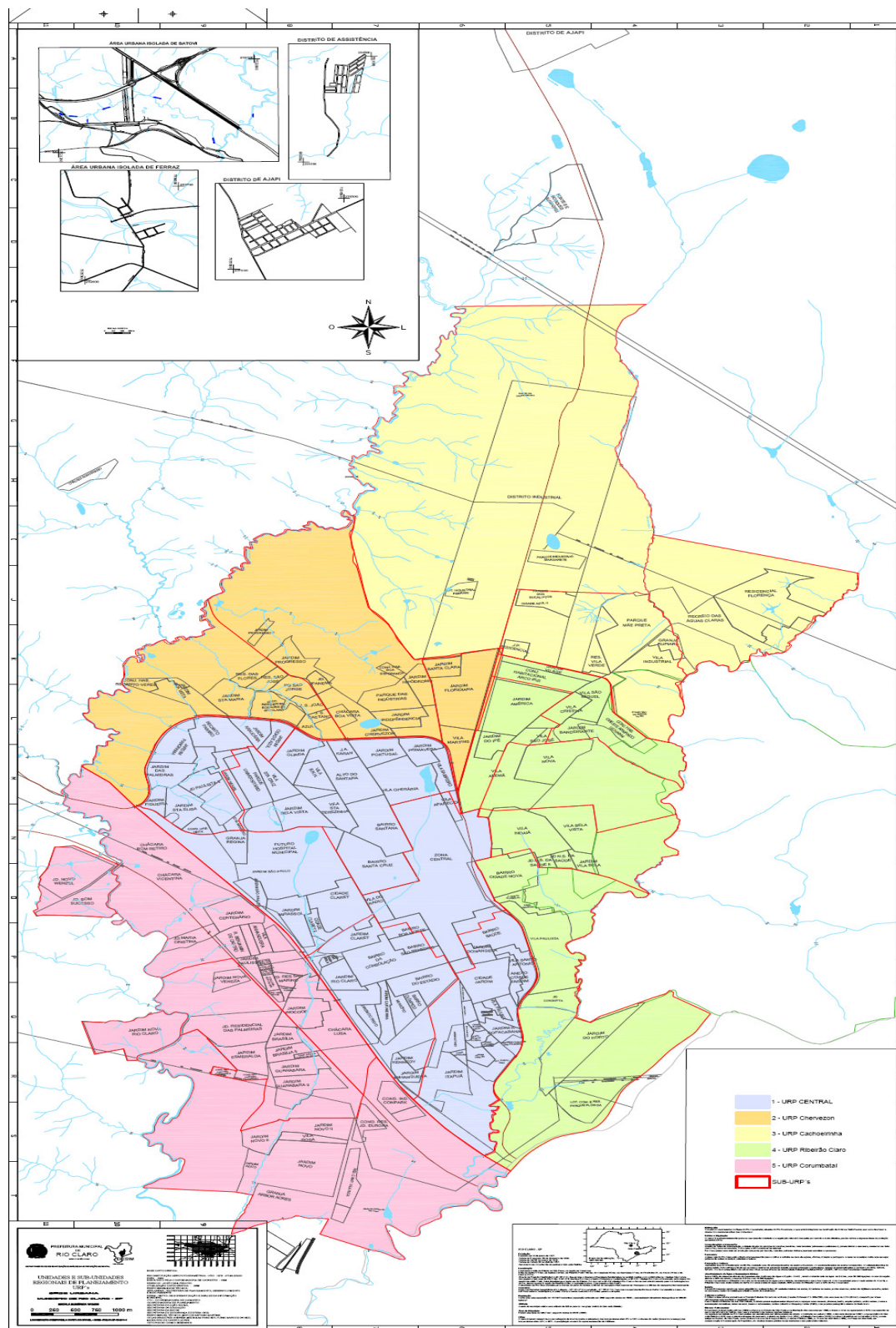
**K** - condutividade hidráulica, em cm/s;

**R1; R2** - taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a H1 e H2 respectivamente, em cm/s;

**X; Y** - constantes correspondentes à área do tubo (reservatório d'água) utilizado, em cm<sup>2</sup> ;

**0,0041 e 0,0054** - valores adimensionais que podem ser obtidos através da equação

4.1



**Figura 3.** Localização da Área urbana de Rio Claro.  
**Fonte:** PLANO DIRETOR DE RIO CLARO (2008)

Este ensaio foi realizado somente em um ponto da área de estudo, localizado na área do campus da Unesp Rio Claro. Para

os demais pontos, foram adotados os resultados dos ensaios do trabalho de Oliva (2006), o qual determinou a

permeabilidade da zona não saturada da formação Rio Claro.

## 2.3 - Ensaios em Laboratório

### 2.3.1 - Análise Granulométrica

Para este solo foi realizada uma análise granulométrica, conforme Norma NBR-6502. O procedimento de ensaio consistiu em submeter amostras representativas das áreas de estudo, a um processo peneiramento, em uma seqüência de peneiras de aberturas conhecidas e decrescentes, normalizadas pela NBR-5734/80. O tempo de peneiramento e a frequência de vibração do agitador mecânico de peneiras são normalizados pela NBR-6502. O acompanhamento do processo consistiu em anotar a massa de amostra retida em cada peneira, obtendo-se a porcentagem da amostra que passa pela peneira. Com objetivo de visualizar os dados do ensaio, plotou-se um gráfico da porcentagem que passa versus diâmetro dos grãos (ou abertura da peneira). Este procedimento foi feito a partir da norma NBR 5734/80.

### 2.3.2 - Índices Físicos do solo

Os índices físicos do solo foram calculados a partir de 3 anéis (amostras em triplicata). Os índices necessários para o trabalho foram: porosidade, índice de vazios e grau de saturação. Estes valores

foram determinados, respectivamente, pelas equações 3, 4 e 5.

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad (3)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (4)$$

$$Sr = \frac{\rho_s \cdot W}{e} \quad (5)$$

Em que  $n$  é a porosidade do solo, adimensional;  $\rho_s$  é a massa específica dos sólidos, g.cm-3;  $\rho_d$  é a massa específica do solo seco, g.cm-3;  $w$  é a umidade do solo, adimensional;  $e$  é o índice de vazios, adimensional; e  $Sr$  é o grau de saturação, adimensional.

## 2.4 - Critérios para seleção das áreas

A seleção das áreas para implantação das trincheiras de infiltração considerou o tipo de solo e as características hidráulicas destes solos. No município de Rio Claro ocorrem os seguintes tipos de solo: Argissolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho em associação com Nitossolos e Neossolos (Figura 3).

A zona urbana de Rio Claro esta situada sobre a Formação Rio Claro, onde ocorrem principalmente latossolos e argissolos. Foram adotadas cinco localidades dentro da área urbana do município de Rio Claro para simular a instalação das trincheiras de infiltração

nestas áreas. Na Tabela 1 estão apresentados os pontos escolhidos, indicando o tipo de solo que ocorre em cada um, juntamente com suas condutividades hidráulicas. Para a classificação dos solos foi utilizado o

mapeamento geológico/geotécnico do município de Rio Claro proposto por Zaine (2000). Na Figura 4 apresentam-se os pontos para análise da implantação de trincheiras de infiltração.

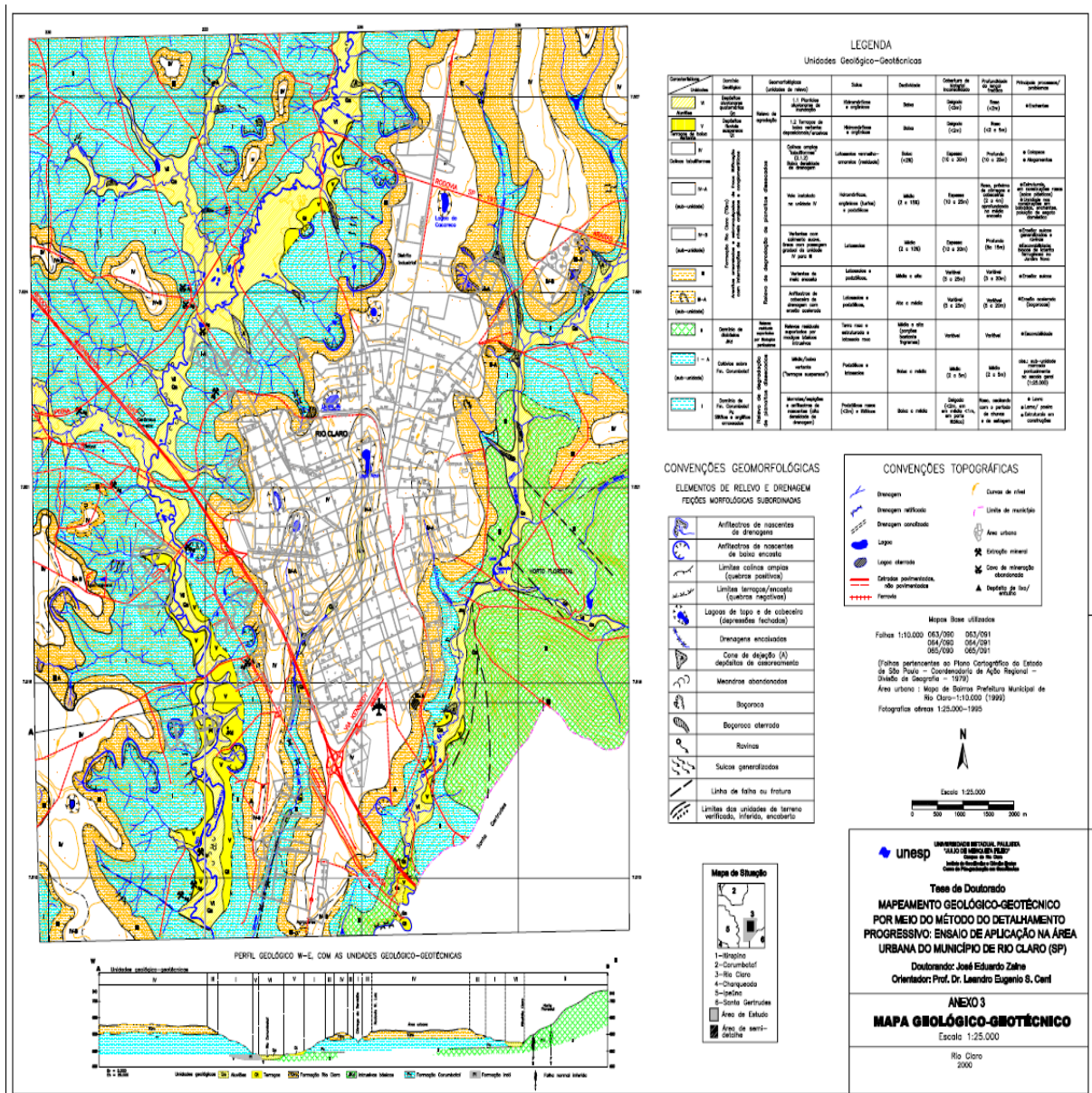


Figura 4. Mapa Geológico-Geotécnico do Município de Rio Claro.

Fonte: ZAINÉ (2000).

## 2.5 - Método de dimensionamento

Foram executados cinco projetos de trincheira, cada um com uma condutividade hidráulica diferente.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o “*rain-envelope method*” apresentado em Baptista et al (2005). Para tal, foram utilizados dados de condutividade hidráulica e da curva IDF (intensidade-duração-frequência).

Para determinação do volume de dimensionamento baseou-se na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída do dispositivo de infiltração (trincheiras). A curva de valores acumulados, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo que é construída com base na curva IDF local, foi comparada com a curva de valores dos volumes dele efluentes determinados com base nas características de infiltração do solo, a máxima diferença entre as duas curvas foi o volume de dimensionamento adotado. Foi adotado o seguinte procedimento para os cálculos iterativos, tal como proposto no Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005):

- se  $V_T \gg V_{dim}$ : reduzem-se as dimensões da trincheira e recomeçar a iteração;
- se  $V_T < V_{dim}$ : aumentam-se as dimensões da trincheira e recomeçar a iteração;
- se  $V_T \geq V_{dim}$ : fim do processo de dimensionamento

Em que:  $V_T$  = volume inicial adotado, e  $V_{dim}$  = volume máximo necessário

Ressalta-se que a porosidade do material de preenchimento deve ser considerada na determinação do volume requerido.

Para a área do lote foi considerado um valor de 160 m<sup>2</sup> e uma taxa de 10% de área permeável. Dessa forma considerou-se para o dimensionamento das trincheiras uma área de lote de 144 m<sup>2</sup>. Estes valores foram baseados no Plano Diretor de Rio Claro 2008, em que o tamanho de lote mínimo para o município é de 160 m<sup>2</sup>. A taxa de ocupação varia conforme zonas estabelecidas neste Plano Diretor, mas adotou-se esta taxa considerando a implantação das trincheiras em zonas residenciais.

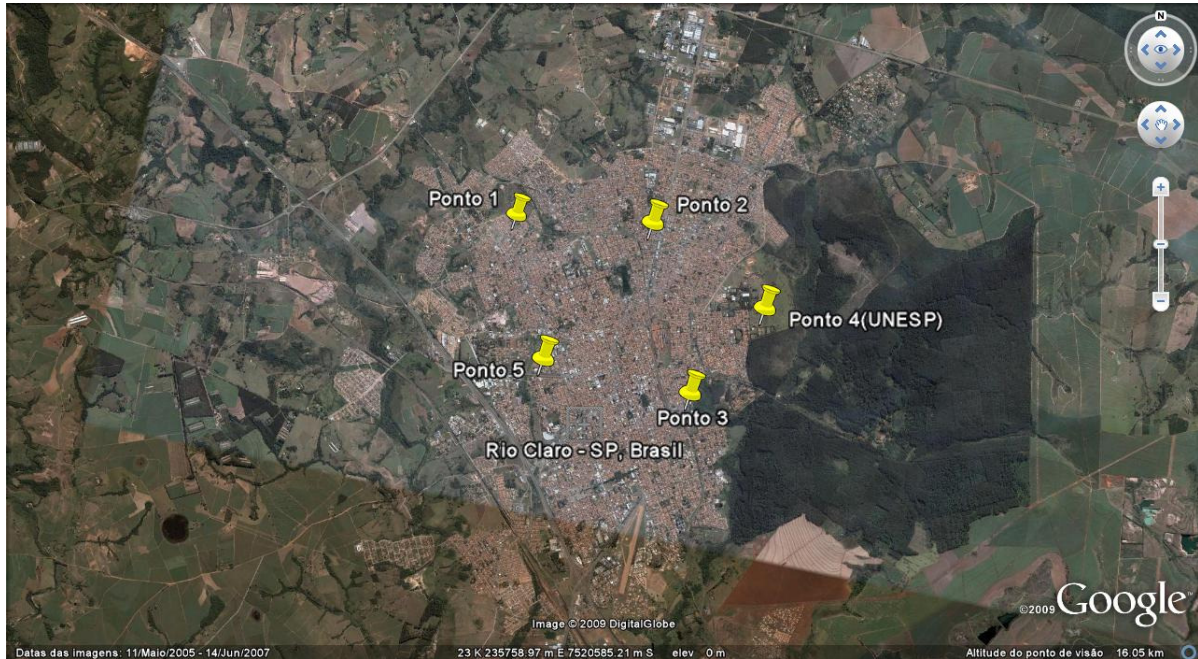
O volume de entrada foi determinado utilizando-se tempo de retorno de 5 anos para a curva IDF ajustada para cidade Rio Claro de acordo com Moruzzi (2009). O coeficiente de escoamento adotado foi de 0,85, escolhido considerando-se o tamanho de área construída de cada lote somando-se suas áreas impermeáveis. Além disso, para escolha desse parâmetro foi considerado a área de instalação dessas trincheiras como sendo residenciais com ocupação densa.

A área de percolação foi estimada considerando que a área superficial da base foi totalmente colmatada. Além disso, é recomendado que a condutividade



hidráulica saturada seja reduzida por um fator de segurança. Recomenda-se que o valor seja reduzido por um coeficiente de segurança 2 ou 3, de acordo com o local onde está inserida a estrutura de percolação. Para o presente trabalho foi utilizado fator 2.

Em relação ao material de preenchimento da trincheira, no caso brita, verificou-se porosidade de 54,6% a partir de ensaios realizados no laboratório de geotécnica do Campus da Unesp - Rio Claro.



**Figura 3.** Localização dos pontos na cidade de Rio Claro onde ocorreu a seleção para implantação das trincheiras.

**Fonte:** Google Earth (2007).

**Tabela 1.** Pontos adotados para estudo de implantação das trincheiras

Pontos	Tipo de Solo		Condutividade Hidráulica (Guelph)	Coordenadas (UTM)	
	Textura	Ordem		Leste	Norte
Ponto 1	Arenoso	Latossolo	1,17.10E-4	238.172	7520.739
Ponto 2	Silto-arenoso	Latossolo amarelo vermelho-	2,81.10E-5	236.411	7522.625
Ponto 3	Argiloso	Argissolo amarelo vermelho-	2,82.10E-6	237.037	7519.891
Ponto 4 (UNESP)	Argiloso	Argissolo amarelo vermelho-	5,73.10E-6	238.172	7520.739
Ponto 5	Argiloso	Argissolo amarelo vermelho-	9,54.10E-7	234.742	7519.891

## 2.6 - Avaliação da redução do hidrograma de cheia de lotes urbanos proporcionada pela utilização de trincheiras de infiltração.

Com o intuito de avaliar a eficiência dessas técnicas alternativas na redução do escoamento superficial em lotes urbanos, foram feitas estimativas da redução do hidrograma de cheia para os pontos estudados, e os resultados são mostrados no capítulo seguinte.

O cálculo estimado da vazão de escoamento máxima de cada lote, para uma dada chuva de projeto, foi realizado utilizando o método racional (Equação 6). O exutório da trincheira foi o solo, todavia na construção das unidades deve-se prever extravasor.

$$Q = 0,278.C.i.A \quad (6)$$

Em que:  $Q$  = vazão de escoamento, m<sup>3</sup>/s;  $C$  = coeficiente de escoamento superficial;  $i$  = intensidade de precipitação, mm/h;  $A$  = Área da bacia, km<sup>2</sup>

O período de retorno considerado foi de 2 e 5 anos.

De acordo com a proposta do método racional, a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Considerando a pequena área do lote, o tempo de

concentração da bacia foi estimado com base nas equações 7 e 8.

$$v = k.S^{0,5} \quad (7)$$

em que:  $v$  = velocidade, em m/s;  $k$  = coeficiente estimado de acordo com os ensaios;  $S$  = declividade da superfície, em %.

O tempo de concentração foi estimado conforme Equação 8.

$$t_c = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (8)$$

em que:  $L_i$  = comprimento do trecho;  $v_i$  = velocidade no trecho

O tempo de concentração calculado para bacias muito pequenas ou para um conjunto de lotes resulta em valores muito pequenos, e, conseqüentemente, intensidades muito altas. Para esses casos, adotou-se um tempo de concentração mínimo de 20 minutos para determinar a intensidade da chuva por meio da curva IDF local.

A estimativa de redução do escoamento superficial, considerando que cada um dos lotes possua uma trincheira de infiltração, foi feita por meio do balanço hídrico no lote, conforme Equação 9.

$$V_e(t) = V_a(t) - V_i(t) \quad (9)$$

em que:  $V_e$  = volume escoado,  $m^3$ ;  $V_a$  = volume afluyente,  $m^3$ ;  $V_i$  = volume infiltrado,  $m^3$ ;  $t$  = tempo adotado para a estimativa ( $t_{min.} = 20$  minutos)

O volume afluyente foi calculado com base na vazão de escoamento empregando o método racional para duração da precipitação.

O volume infiltrado foi estimado com base no modelo de Urbonas e Stahre (1993). Adicionalmente, foi considerado o volume armazenado na trincheira como componente da saída do sistema.

**Tabela 2:** Primeiro conjunto de leituras ( $H_1 = 5$  cm)

n leitura	Temp. (min)	Interv. temp (min)	Nív.d'água (cm)	Var.niv. d'água(cm)	R1 (cm/min)
1	0	2	12,5	-	-
2	2	2	12,9	0,4	0,20
3	4	2	13,3	0,4	0,20
4	6	2	13,8	0,5	0,25
5	8	2	14,2	0,4	0,20
6	10	2	14,7	0,5	0,25
7	12	2	15,1	0,4	0,20
8	14	2	15,6	0,5	0,25
9	16	2	16,0	0,4	0,20
10	18	2	16,5	0,5	0,25
11	20	2	16,9	0,4	0,20
12	22	2	17,3	0,4	0,20
13	24	2	17,8	0,5	0,25
14	26	2	18,2	0,4	0,20
15	28	2	18,6	0,4	0,20
16	30	2	19,0	0,4	0,20

Conforme resultados pode-se determinar: i) para o primeiro conjunto de leituras,  $R_1 = R1/60 = 3,33 \times 10^{-3}$  cm/s; ii)

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do ensaio de permeabilidade “*in situ*” com o permeâmetro de *Guelph*, foi possível determinar a condutividade hidráulica do solo. Foram realizados dois ensaios, um com a coluna d'água de 5 cm e o outro com 10 cm, conforme resultados nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 3:** Segundo conjunto de leituras ( $H_2 = 10$  cm)

Nív.d'água (cm)	Var.niv. d'água(cm)	R1 (cm/min)
25,5	-	-
26,5	1,0	0,5
27,5	1,0	0,5
28,4	0,9	0,45
29,3	0,9	0,45
30,3	1,0	0,5
31,3	1,0	0,5
32,2	0,9	0,45
33,2	1,0	0,5
34,0	0,8	0,4
35,0	1,0	0,5
36,0	1,0	0,5
37,1	1,1	0,55
38,1	1,0	0,5
39,1	1,0	0,5
40,1	1,0	0,5

para o segundo conjunto de leituras,  $R_2 = R2/60 = 8,33 \times 10^{-3}$  cm/s. A partir desses valores foi possível obter o coeficiente de

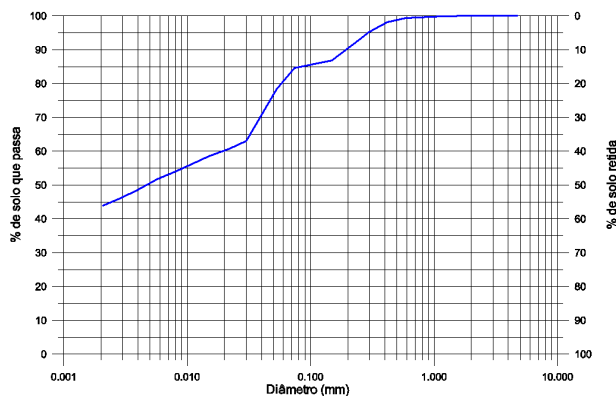
condutividade hidráulica “in situ” K, cujo valor resultou em  $5,73 \times 10^{-4}$  cm/s ou  $5,73 \times 10^{-6}$  m/s. Tais valores serviram de referência para o dimensionamento das trincheiras. Os demais valores de condutividade hidráulica para a zona urbana de Rio Claro, foram extraídos a partir de Oliva (2006), no qual se apresenta a distribuição da condutividade hidráulica na zona não-saturada, para a escala de área urbana do município.

A análise granulométrica, realizada para o solo do ponto 4, mostrou que o Solo contém 45% de argila, 35% de silte e 15% de areia.

De acordo com essa distribuição granulométrica, o solo é classificado como argiloso.

A Figura 4 apresenta a curva granulométrica deste solo e na Tabela 4 apresenta-se a composição granulométrica, bem como os índices físicos do solo.

Nos quadros de 1 a 5 estão apresentadas as planilhas utilizadas para dimensionamento das trincheiras de infiltração nos diferentes cenários simulados, conforme proposição extraída do Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005).





**Figura 4** - Curva Granulométrica do Solo (Ponto 4)



**Tabela 4** - Composição Granulométrica e índices físicos do Solo (Ponto 4)

Composição Granulométrica	Solo	
Argila(%)	45,5	85,5
Silte(%)	40	
Areia Fina(%)	6	15,5
Areia média(%)	9	
Áreia grossa(%)	0,5	
Pedregulho(%)	0,0	
Massa específica do solo $\rho$ (g/cm	1,63	
Massa específica dos sólidos $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,69	
Massa específica aparente seca $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,25	
Índice de vazios(e)	1,15	
Porosidade(%)	53,5	
Grau de Saturação(%)	71,52	



**Quadro 1 – Protocolo de dimensionamento das trincheiras de infiltração (Ponto 1)**

1. Material Porosidade( $\phi$ )	$\phi=54,6$				
2. Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=1,17 \times 10^{-4}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança (fator 2)	Sim				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	Não				
	$K=5,85 \times 10^{-5}$				
3. Coeficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4. Área contribuinte(A)	$A=144 \text{m}^2$				
5. Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=3,1 \text{ m}$				
Largura	$b=1 \text{ m}$				
Altura	$h=1 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}}=2.h.(b+L)$	$A_{\text{perc}} = 8,2 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T=3,1 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura Volume afluente:	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
$V_T(t) = 3600 \cdot C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,05	440,595	1,21	0,12	1,08
Volume de saída:	0,1	373,674	2,05	0,47	1,58
$V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,14	335,725	2,58	0,90	<b>1,68</b>
Volume necessário: $V = \text{máx}(V_e - V_s)$	0,2	293,792	3,23	1,81	1,43
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}} = V/\phi$	0,3	246,586	4,07	4,01	0,05
	0,4	214,835	4,73	7,08	-2,34
Volume(V): $1,68 \text{ m}^3$					
$V_{\text{dim}} = 3,07 \text{ m}^3$					



**Quadro 2 – Protocolo de dimensionamento das trincheiras de infiltração (Ponto 2)**

1. Material Porosidade( $\phi$ )	$\phi=54,6$				
2. Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=2,81 \times 10^{-5}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança(fator 2)	Sim				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	Não				
	$K=1,41 \times 10^{-5}$				
3. Coeficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4. Área contribuinte(A)	$A=144\text{m}^2$				
5. Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=5,0\text{ m}$				
Largura	$b=1,0\text{ m}$				
Altura	$h=1,0\text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}} = 2.h.(b+L)$	$A_{\text{perc}} = 12\text{ m}^3$				
Volume da trincheira	$V_T = 5\text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura Volume afluente:	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
$V_T(t) = 3600 \cdot C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,1	373,67	2,05	0,17	1,89
Volume de saída:	0,2	293,79	3,23	0,63	2,6
$V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,26	263,01	3,76	1,06	<b>2,70</b>
Volume necessário: $V = \text{máx}(V_e - V_s)$	0,3	246,58	4,07	1,41	2,65
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}} = V/\phi$	0,4	214,83	4,73	2,48	2,45
	0,5	191,75	5,28	3,86	1,42
Volume(V): $2,70\text{ m}^3$					
$V_{\text{dim}} = 4,94\text{ m}^3$					

**Quadro 3 – Protocolo de dimensionamento das trincheiras de infiltração (Ponto 3)**



1. Material Porosidade( $\phi$ )	$\phi=54,6$				
2. Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=2,82 \times 10^{-5}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança(fator 2)	Sim				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	Não				
	$K=1,41 \times 10^{-6}$				
3. Coeficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4. Área contribuinte(A)	$A=144 \text{ m}^2$				
5. Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=8,2 \text{ m}$				
Largura	$b=1,0 \text{ m}$				
Altura	$h=1,1 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}} = 2 \cdot h \cdot (b+L)$	$A_{\text{perc}} = 20,24 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T = 9,02 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
Volume afluente:					
$V_T(t) = 3600 \cdot C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,2	3,236	3,23	0,10	3,13
	0,4	4,733	4,73	0,42	4,31
Volume de saída:	0,6	5,752	5,75	0,94	4,81
$V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,74	6,324	6,32	1,42	<b>4,90</b>
Volume necessário: $V = \text{máx}(V_e - V_s)$	0,8	6,545	6,54	1,66	4,88
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}} = V/\phi$	0,9	6,887	6,88	2,10	4,78
Volume(V) $4,9 \text{ m}^3$ :					
$V_{\text{dim}} = 8,97 \text{ m}^3$					

**Quadro 4 – Protocolo de dimensionamento das trincheiras de infiltração (Ponto 4)**

1. Material Porosidade( $\phi$ )	$\phi=54,6$				
2. Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=5,73 \times 10^{-6}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança	Sim				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	Não				
3. Coeficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4. Área contribuinte(A)	$A=144 \text{ m}^2$				
5. Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=8,0 \text{ m}$				
Largura	$b=0,95 \text{ m}$				
Altura	$h=1,0 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}} = 2 \cdot h \cdot (b+L)$	$A_{\text{perc}} = 17,9 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T = 7,6 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura Volume afluente:	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
$V_T(t) = 3600 \cdot C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,2	293,792	3,23	0,19	3,04
Volume de saída:	0,3	246,586	4,07	0,43	3,64
$V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,40	214,835	4,73	0,75	3,97
Volume necessário: $V = \text{máx}(V_e - V_s)$	0,52	187,857	5,38	1,27	<b>4,11</b>
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}} = V/\phi$	0,6	174,077	5,75	1,69	4,06
	0,7	160,025	6,16	2,29	3,87
Volume(V): $4,11 \text{ m}^3$					
$V_{\text{dim}} = 7,52 \text{ m}^3$					



**Quadro 5 – Protocolo de dimensionamento das trincheiras de infiltração (Ponto 5)**

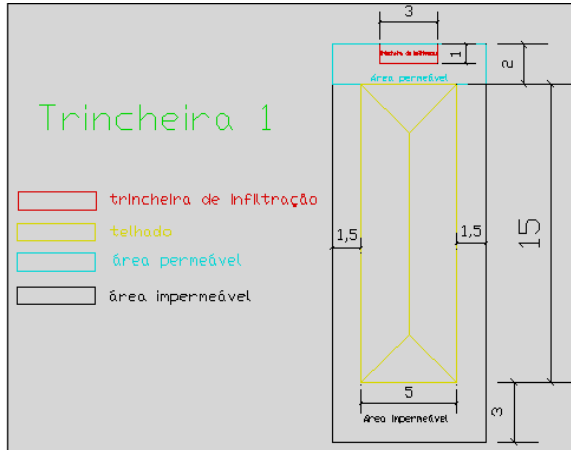
1.Material Porosidade( $\phi$ )	$\phi=54,6$				
2.Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=9,54 \times 10^{-7}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança(fator 2)	Sim				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	Não				
	$K=4,77 \times 10^{-7}$				
3.Coefficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4.Área contribuinte(A)	$A=144 \text{ m}^2$				
5.Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=8,0 \text{ m}$				
Largura	$b=1,31 \text{ m}$				
Altura	$h=1,6 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{perc} = 2 \cdot h \cdot (b+L)$	$A_{perc} = 29,792 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T = 16,768 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura Volume afluente:	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
$V_T(t) = 3600 \cdot C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,5	191,75	5,28	0,32	4,94
Volume de saída:	1,0	130,76	7,20	1,29	5,91
$V_{perc}(t) = k \cdot \frac{A_{perc}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	3,0	67,26	11,11	2,34	8,77
Volume necessário: $V = \text{máx}(V_e - V_s)$	4,2	54,45	12,59	3,49	<b>9,13</b>
Volume dimensionamento: $V_{dim} = V/\phi$	4,8	50,04	13,23	4,15	9,07
	5,0	48,76	13,42	4,41	9,01
Volume(V): 9,13 m <sup>3</sup>					
$V_{dim} = 16,72 \text{ m}^3$					

Os volumes grifados correspondem aos volumes requeridos para cada situação investigada. Pelos resultados apresentados, verificou-se que os volumes das trincheiras variaram de 3,07 m<sup>3</sup>, correspondente a um volume útil de armazenamento de 1,68 m<sup>3</sup>, para solos com alta condutividade hidráulica (1,17.10<sup>-4</sup> m/s), a 16,72 m<sup>3</sup>,

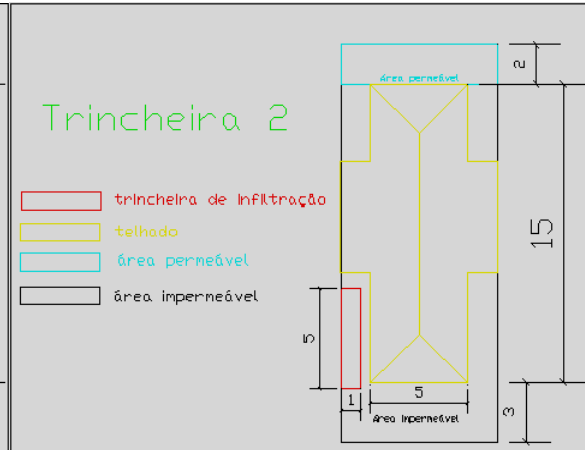
correspondente a um volume útil de armazenamento de 9,13 m<sup>3</sup>, para solos argilosos com baixa condutividade hidráulica. Ainda nesses extremos, verificou-se que a área em planta variou de 3,1 m<sup>2</sup> a 10,5 m<sup>2</sup>, respectivamente. Tais variações podem implicar em restrições de arranjos dentro dos lotes. Assim, para cada

caso foi simulado um possível arranjo das trincheiras de infiltração nos lotes urbanos (Figuras 5 a 9), considerando a situação

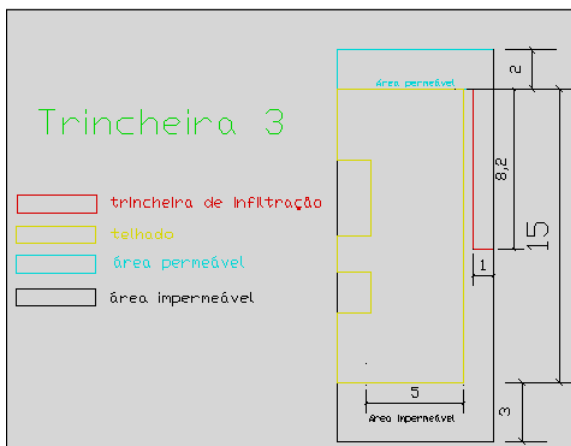
crítica de menor lote previsto no Plano Diretor do Município de Rio Claro (160m<sup>2</sup>).



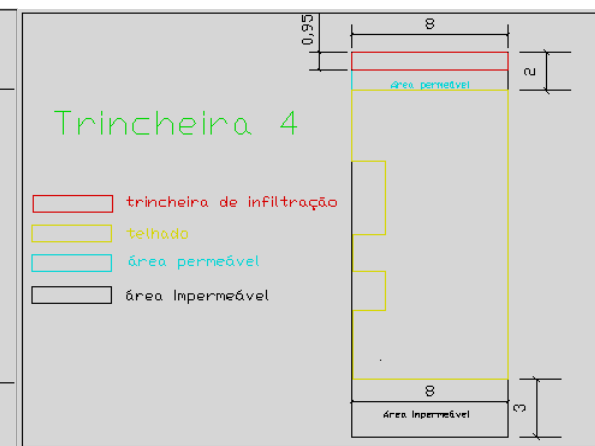
**Figura 5** - Localização da trincheira 1 no lote



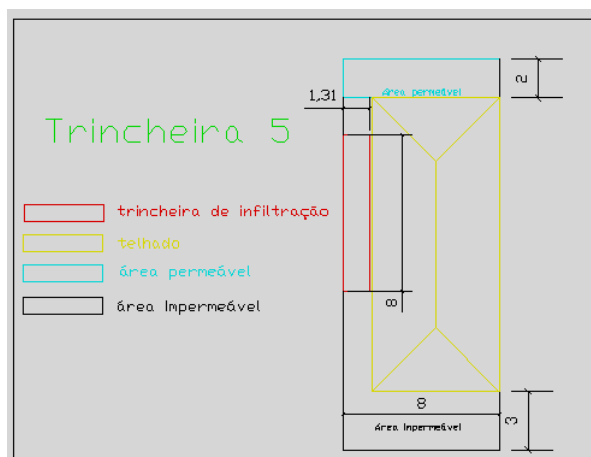
**Figura 6** - Localização da trincheira 2 no lote



**Figura 7** - Localização da trincheira 3 no lote



**Figura 8** - Localização da trincheira 4 no lote



**Figura 9** - Localização da trincheira 5 no lote

Investigando as cinco dimensões encontradas, com base no lote mínimo e nas características dos solos na região urbana de Rio Claro, nota-se que foi possível compatibilizar as dimensões das trincheiras encontradas com as dimensões do lote padrão crítico considerado para o estudo (8,0mx20m).

O efeito do uso de trincheiras de infiltração de águas pluviais no hidrograma de cheia da bacia só pode ser precisamente avaliado considerando-se as propriedades hidráulicas do solo, a função de transformação chuva-vazão da área de drenagem e as condições exatas de operação e manutenção das trincheiras.

No entanto, para fins de prognóstico expedito, pode-se fazer uma avaliação simplificada, utilizando-se o método racional e as condições ideais de operação das instalações de infiltração com base no desempenho global para 20 minutos.

Assim, considerando a duração da precipitação de 20 minutos, têm-se as

intensidades para os seguintes tempos de retorno. Para T=2 anos, a intensidade de precipitação é de 72,91 mm/h e para T=5 anos, a intensidade de precipitação é de 84,50 mm/h. De acordo com o método racional, e considerando que a área de contribuição é de 160m<sup>2</sup> (área mínima dos lotes para município de Rio Claro), o valor do coeficiente de escoamento superficial é de 0,85, tem-se 2,75 l / s para tempo de recorrência de 2 anos e 3,19 l / s para 5 anos.

Para os cinco projetos de trincheira, são apresentados na Tabela 5 os valores dos volumes afluentes e os volumes infiltrados e armazenados, e a partir destes foram obtidas estimativas de redução do escoamento superficial para as cinco diferentes situações.

**Tabela 5** - Estimativa da redução do escoamento superficial nos pontos estudados.

	Dimensões da trincheira	Volume afluente	Volume infiltrado	Volume total (infiltrado+ armazenamento)	Volume escoado total	Estimativa de redução
Ponto 1	L=3,1m b=1.0 m H=1,0 m	Para T=2 anos Va= Q.t= 2,75x10 <sup>-3</sup> .1200 =3,3 m <sup>3</sup>	Vi = 5,85x10 <sup>3</sup> x 4,1x 3600x 0,33= =0,285 m <sup>3</sup>	Vt=0,285m <sup>3</sup> + (3,1x1,0x1,0)x x0,546 =1,977 m <sup>3</sup>	Para T=2 anos Ve= Va-Vt Ve=1,323 m <sup>3</sup>	<b>60%</b> para T=2 anos;

		Para T=2 anos $V_a=Q.t=3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=1,851 \text{ m}^3$	<b>48%</b> para T=5 anos.
Ponto 2	L=5,0 m b=1,0 m H=1,0 m	Para T=2 anos $V_a=Q.t=2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 1,41 \times 10^5 \times 6,0 \times 3600 \times 0,33 = -0,10 \text{ m}^3$	$V_t=0,10 \text{ m}^3 + (5,0 \times 1,0 \times 1,0) \times 0,546 = -2,83 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=0,47 \text{ m}^3$	<b>85%</b> para T=2 anos;
		Para T=2 anos $V_a=Q.t=3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=0,998 \text{ m}^3$	<b>74%</b> para T=5 anos.
Ponto 3	L=8,2 m b=1,0 m H=1,1 m	Para T=2 anos $V_a=Q.t=2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 1,41 \times 10^{-6} \times 10,12 \times 3600 \times 0,33 = -0,016 \text{ m}^3$	$V_t=0,016 \text{ m}^3 + (8,2 \times 1,0 \times 1,1) \times 0,546 = -4,94 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=-1,64 \text{ m}^3$	<b>100%</b> para T=2 anos;
		Para T=2 anos $V_a=Q.t=3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=-1,112 \text{ m}^3$	<b>100%</b> para T=5 anos.
Ponto 4	L=8,0 m b=0,95 m H=1,0 m	Para T=2 anos $V_a=Q.t=2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 2,865 \times 10^{-6} \times 8,95 \times 3600 \times 0,33 = -0,03 \text{ m}^3$	$V_t=0,03 \text{ m}^3 + (8,0 \times 0,95 \times 1,0) \times 0,546 = -4,18 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=-0,88 \text{ m}^3$	<b>100%</b> para T=2 anos;
		Para T=2 anos $V_a=Q.t=3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=-0,352 \text{ m}^3$	<b>100%</b> para T=5 anos.
Ponto 5	L=8,0 m b=1,31 m H=1,6 m	Para T=2 anos $V_a=Q.t=2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 4,77 \times 10^{-7} \times 14,986 \times 3600 \times 0,33 = -0,0085 \text{ m}^3$	$V_t=0,0085 \text{ m}^3 + (8,0 \times 1,31 \times 1,6) \times 0,546 = -9,16 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=-5,86 \text{ m}^3$	<b>100%</b> para T=2 anos;
		Para T=2 anos $V_a=Q.t=3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200=3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e=V_a-V_t$ $V_e=-5,332 \text{ m}^3$	<b>100%</b> para T=5 anos.

Para as condições investigadas verificaram-se reduções de 48 a 100% do volume escoado. Esses resultados apontam para um uso promissor dessa técnica compensatória na área urbana de Rio Claro. A implantação de tais dispositivos poderia reduzir os efeitos das enchentes urbanas freqüentemente relatadas.

Evidentemente, tais técnicas não solucionam em definitivo o problema das enchentes urbanas, mas podem auxiliar na minimização do escoamento e dos riscos associados as enchentes urbanas na cidade de Rio Claro. Destaca-se ainda que estas estimativas expeditas foram realizadas considerando o escoamento superficial nos

lotes urbanos, devido somente ao uso de trincheiras nestes. Técnicas complementares e ou integradas, tais como valas, reservatório, telhados verdes, pavimentos permeáveis etc, podem incrementar a eficiência do sistema de drenagem do loteamento, como um todo.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados obtidos com as simulações aponta que:

A maior parte da zona urbana de Rio Claro está situada na Formação Rio Claro, onde predomina a ocorrência de latossolos, solos com boas condições de infiltração. No entanto, também existe a ocorrência no município de Rio Claro de solos com características menos favoráveis à infiltração, como exemplo argissolos. Isso pressupõe a necessidade de investigações complementares precedentes a instalação das trincheiras de infiltração. Além disso, devem ser observados outros aspectos, tais como profundidade do lençol, cotas do terreno e do arruamento, tipo de fundação das residências, entre outros.

As dimensões das trincheiras simuladas foram calculadas para atender precipitações com período de retorno de dois e cinco anos para o município de Rio Claro. Foi adotado fator de redução da capacidade de infiltração ( $f=2$ ) devido a colmatação do solo no interior dessas

estruturas, em que a área de percolação tem seu valor reduzido devido ao acúmulo de finos nos interstícios do solo.

Verificou-se que a característica linear das trincheiras, estruturas alongadas e com bases estreitas, facilitou sua disposição nos lotes considerados ( $160m^2$ ). Além disso, outro parâmetro fundamental no dimensionamento é a escolha do material de preenchimento. A escolha deu-se pela brita, material usualmente utilizado no preenchimento de trincheiras, com uma porosidade acima de 50%. Esse fator não só facilita o processo de percolação da água na trincheira, mas também faz com que esta tenha a função de reservatório.

O estudo revelou, considerando os cinco tipos de solo estudados no trabalho, reduções da ordem de 60 a 100% no escoamento superficial gerado no lote, para o período de retorno de 2 anos, e de 48 a 100% para o período de retorno de 5 anos.

## 6 – REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) Rochas e Solos. NBR-06502, 1995.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**, Porto Alegre: ABRH, 2005.266p
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.302 p.
- CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo, 467 p. 1979.

- GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Metodologia para o dimensionamento de trincheiras de infiltração para o controle do escoamento superficial na origem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 207-214. 2008
- GRACIOSA, M. C. P. **Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica.** Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 294p. 2005.
- GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. **Avaliação da eficiência de trincheiras de infiltração como dispositivos de controle na origem das águas pluviais urbanas – considerações técnicas de dimensionamento para planos diretores.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 12p. 2005.
- GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Simulação hidráulica de trincheiras de infiltração de águas pluviais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, revisado e aceito para publicação, em preparação. 2008.
- LIMA, J. C de. **Análise experimental e numérica de trincheiras de infiltração em meio não saturado.** Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 177 p. 2009.
- MANUAL de drenagem urbana.** Porto Alegre: DEP, [2005]. 167 p.
- MANUAL técnico de pedologia.** Rio de Janeiro: IBGE, [2005]. 300 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 4).
- MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P. **Stormwater infiltration design based on rainfall statistics and soil hydraulics.** Proc. ASCE International Symposium on Engineering Hydrology, San Francisco, California, p. 653-658. 1993.
- MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P.; FUJITA, S. Infiltration practice for control of urban stormwater. **Journal of Hydraulic Research**, v. 34, n. 6, p. 827-840. 1996.
- MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, S. O. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.13, p.59-68, Maio, 2009
- OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP.** 196 f. (Dissertação de Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 196f. 2006.
- PORTO, R. L. L. **Escoamento superficial direto. In: Drenagem Urbana.** BARROS, M. T. de; PORTO, R. L. L.; TUCCI, C. E. M. (orgs.). Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, p.107- 165. 1995.
- SCHUELLER T. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs, 1987.
- SILVA, J. P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p. 2007.
- SOTO, M.A.A. **Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos não Saturados.** (Dissertação de Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1999.

- SOUZA, V. C. B. **Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental.** (Capítulo em Avaliação e controle da drenagem urbana) – ed. ABRH, 548p. 1999.
- SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle do escoamento superficial** (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** ABRH editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 428p. 1995.
- URBONAS B, STAHR D. Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro –SP.** (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 90f. 1994.
- ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP).** (Dissertação de Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp-Rio Claro, 149 f. 2000.