Pré-dimensionamento hidrológico de dispositivos de controle na fonte

Prof. Dr. Hugo Alexandre Soares Guedes

Pelotas, 2019.

Pré-dimensionamento

Método apresentado por Silveira e Goldenfun (2007) – Artigo da RBRH

É um pré-dimensionamento hidrológico que associa uma chuva de projeto a um balanço hídrico simplificado, para cálculo de volumes de armazenamento.

Serve para atribuir valores referenciais para as dimensões mínimas dos dispositivos de controle na fonte.

Método da Curva-Envelope

Método tradicionalmente usado no dimensionamento expedito de bacias de detenção.

Mas pode ser adaptado para qualquer medida de controle com algum volume de armazenamento.

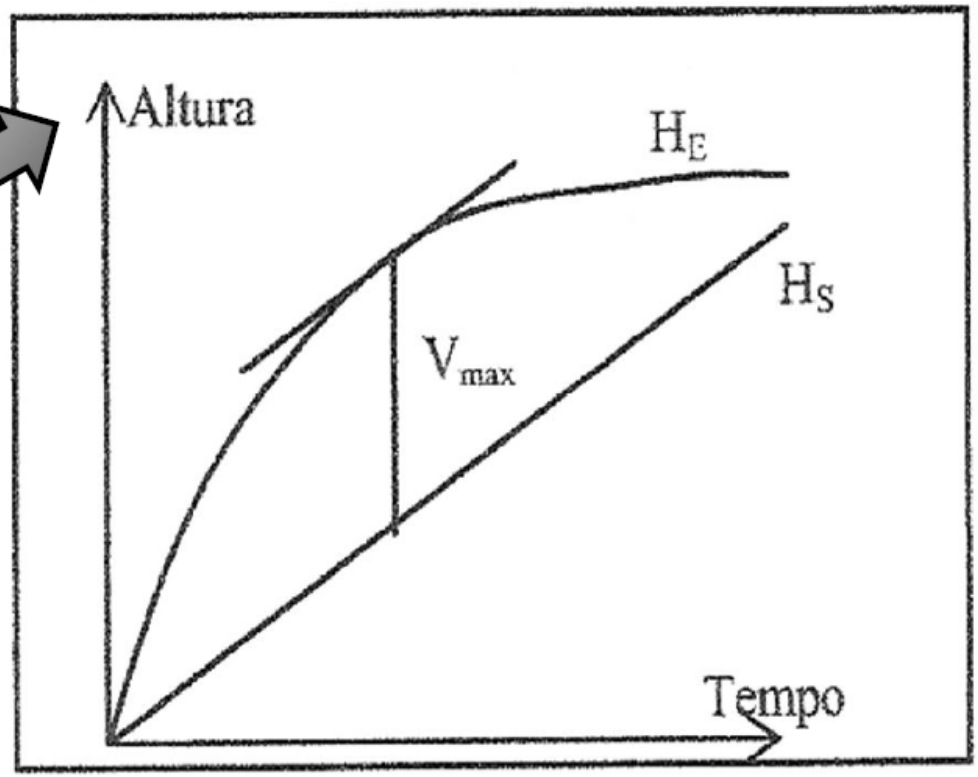
Método da Curva-Envelope

A curva de massa, ao longo do tempo, dos volumes afluentes no dispositivo é comparada com a curva de massa dos volumes efluentes.

A máxima diferença entre as duas curvas é o ***volume de dimensionamento.***

Método da Curva-Envelope

Para efeito de cálculo, os volumes podem ser expressos em lâminas de água equivalentes sobre a área em planta do dispositivo.



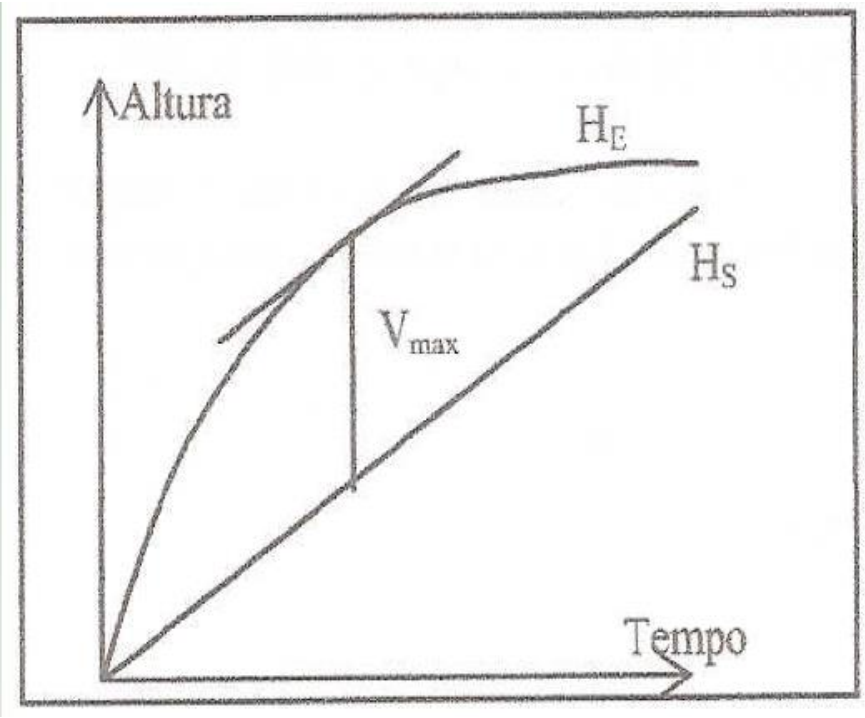
Determinação do volume de armazenamento através da máxima diferença entre a curva de entrada e a de saída da estrutura de controle

Método da Curva-Envelope

- ✓ A curva **afluente** é dada pela HDF (altura-duração-frequência das chuvas), afetada por coeficientes de escoamento e de relação de áreas.

- ✓ A curva **efluente** normalmente é uma reta, pois admite-se, por simplicidade, uma vazão de saída constante no dispositivo ao longo do tempo.

Método da Curva-Envelope



HE = lâmina d'água de entrada acumulada medida sobre a área em planta da MC.

HS = lâmina d'água de saída acumulada, também medida sobre a área em planta da MC.

A função HE é construída pela IDF multiplicada pelo tempo (o que vem a ser uma HDF) e por fatores de escoamento e relação de áreas.

Método da Curva-Envelope

Parte-se de relações IDF com a expressão geral análoga a de Talbot

$$i = \frac{aT^b}{t + c}$$

Onde:

i = intensidade de chuva em mm/h;

T = período de retorno em anos;

t = duração da chuva em minutos;

a, b, c são os parâmetros da equação.

Método da Curva-Envelope

$$i_{max} = \frac{826{,}8 \times Tr^{0{,}143}}{(td + 13{,}3)^{0{,}79}}$$

Posto Aeroporto

$$i_{max} = \frac{1297{,}9 \times Tr^{0{,}171}}{(td + 11{,}6)^{0{,}85}}$$

Posto 8° DISME

$$i_{max} = \frac{509{,}859 \times Tr^{0{,}196}}{(td + 10)^{0{,}72}}$$

Posto IPH

$$i_{max} = \frac{1265{,}67 \times Tr^{0{,}052}}{(td + 12)^{m}}$$

Posto Redenção

$$m = \frac{0{,}88}{Tr^{0{,}05}}$$

Onde:

imáx: intensidade máxima de chuva (mm/h);

Tr: período de retorno (anos);

td: tempo de duração da chuva, que deve ser igual ao tempo de concentração da bacia contribuinte (minutos).

Método da Curva-Envelope

Desta forma, a expressão de HE, em mm, é dado por:

$$H_E = \beta \cdot \frac{aT^b}{(t+c)} \cdot \frac{t}{60}$$

Onde:

β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo.

Método da Curva-Envelope

A função Hs (mm) é obtida pela multiplicação pelo tempo da vazão de saída constante:

$$H_S = \gamma \cdot H \cdot q_s \cdot \frac{t}{60}$$

Onde:

q_s = vazão de saída constante do dispositivo ($mm.h^{-1}$);

γ = razão entre a área de percolação e volume do dispositivo (mm^{-1});

H = profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (mm);

t = duração da chuva (minutos).

Método da Curva-Envelope

Conversão para uma IDF do tipo Talbot

A expressão de Talbot para a IDF não é muito comum no Brasil, onde predomina a seguinte equação:

$$i = \frac{kT^m}{(t+d)^n}$$

$$i = \frac{a.T^b}{t+c}$$

IDF - geral análoga a de Talbot

Método da Curva-Envelope

Conversão para uma IDF do tipo Talbot

A partir de simulações numéricas as seguintes expressões de conversão puderam ser estabelecidas:

$$a = 0,68.k.\exp\left(0,06.n^{-0,26}.d^{1,13}\right)$$

$$b = m$$

$$c = 1,32.n^{-2,28}.d^{0,89}$$

Método da Curva-Envelope

IDF estabelecida por Benfica et al. (2000) para a cidade de Porto Alegre

$$i = \frac{1297{,}9 \times Tr^{0{,}171}}{(t + 11{,}6)^{0{,}85}}$$

Assim os parâmetros Talbot pelas expressões acima são:

a = 2395,4

b = 0,171

c = 16,9

Método da Curva-Envelope

a, b e c valem como uma primeira aproximação para um caso específico, sendo provavelmente necessário aplicar um coeficiente de ajuste adicional ao coeficiente "a".

Exemplo: IDF estabelecida para Porto Alegre (Bemfica *et al.*, 2000):

$$i = \frac{1297{,}9 \times Tr^{0{,}171}}{(t + 11{,}6)^{0{,}85}}$$

a = 2395,4 ; b = 0,171 ; c = 16,9

Comparando-se as intensidades de chuva de ambas IDF, verificou-se, neste caso de Porto Alegre, que o coeficiente "a" deveria ser ainda majorado com 1,09

Assim a versão Talbot final da IDF acima passa a ser:

$$i = \frac{2611 \times Tr^{0{,}171}}{(t + 16{,}9)}$$

Pré-dimensionamento

Método da Curva-Envelope

IDF estabelecida por Dorneles et al. (2019) para a cidade de Pelotas

$$i = \frac{1100 \text{ x } T_r^{0,163}}{(t+16,469)^{0,766}}$$

IDF de Talbot estabelecida por Schierholt (2017), a partir da IDF acima, para a cidade de Pelotas

$$i = \frac{3554,2 \text{ x } T_r^{0,163}}{t + 29,46}$$

Essa equação foi obtida a partir do método de Gauss-Newton

Método da Curva-Envelope

Expressão do Volume Máximo

O volume máximo, ou de dimensionamento (equivalente à lâmina d'água armazenável), é obtido através da maximização da diferença entre He e Hs, ao longo do tempo:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial (H_E - H_S)}{\partial t} = 0$$

Utilizando-se as expressões anteriores de He e Hs, obtém-se:

$$\beta \frac{aT^b}{(t+c)} \left[1 - \frac{t}{t+c}\right] - \gamma . H . q_s = 0$$

Método da Curva-Envelope

Expressão do Volume Máximo

Desenvolvendo-se a equação anterior, tem-se:

$$\beta \frac{c.a.T^b}{(t+c)^2} - \gamma . H . q_s = 0$$

Explicitando a variável tempo na equação, tem-se:

$$t = \sqrt{\frac{\beta . c . a . T^b}{\gamma . H . q_s}} - c$$

Este é o tempo da máxima diferença de volumes, ou seja, o tempo através do qual pode-se calcular o volume de dimensionamento ou volume máximo.

Método da Curva-Envelope

Expressão do Volume Máximo

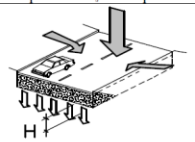
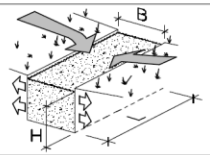
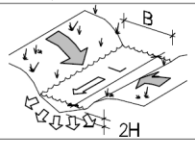
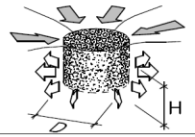
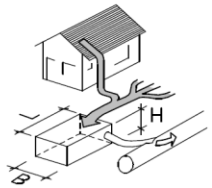
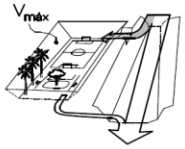
O volume V_{max} (em mm) fica expresso por:

$$V_{máx} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{q_s} \right)^2$$

A partir desta expressão geral, podem-se obter os parâmetros de dimensionamento para diferentes medidas de controle.

Pré-dimensionamento

Método da Curva-Envelope

Dispositivo	Representação esquemática	Fórmulas para pré-dimensionamento
Pavimento permeável		$H = \frac{V_{max}}{\eta}$ $V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{\beta}T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{q_s}\right)^2$
Trincheira de Infiltração		$H = \left[\frac{k_1\left(k_2 - \sqrt{\eta}\right)}{\eta - k_2^2}\right]^2$ $k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{\beta}T^{b/2}$ $k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{\gamma}\sqrt{q_s}$ $\beta = \frac{C..A}{B.L}$ $\gamma = \frac{2.L}{L.B} = \frac{2}{B}$
Vala de Infiltração		$H = V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{\beta}T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{q_s}\right)^2$ $\beta = \frac{C..A}{B.L}$
Poço de Infiltração		$H = \left[\frac{k_1\left(k_2 - \sqrt{\eta}\right)}{\eta - k_2^2}\right]^2$ $k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{\beta}T^{b/2}$ $k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{\gamma}\sqrt{q_s}$ $\gamma = \frac{4}{D}$ $\beta = \frac{4.C..A}{\pi.D^2}$
Micror-reservatório		$V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{\beta}T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{\gamma}\sqrt{H}\sqrt{q_s}\right)^2$ $\beta = \frac{C..A}{B.L}$ Infiltrante: $H = \left[\frac{k_1\left(k_2 - \sqrt{\eta}\right)}{\eta - k_2^2}\right]^2$ $k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{\beta}T^{b/2}$ $k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{\gamma}\sqrt{q_s}$ $\gamma = \frac{2(L+B)}{L.B}$ Estanque: $H = V_{max}$ $\sqrt{\gamma}\sqrt{H} = 1$
Bacia de Detenção		$H = V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}}\sqrt{C}T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}}\sqrt{q_s}\right)^2$ $q_s = q_{pre} + \alpha K_{sat}$ Leito impermeável: $q_s = q_{pre}$; Bacia de infiltração: $q_s = \alpha K_{sat}$

V_{max} = volume de dimensionamento (mm)

T= período de retorno (anos)

a, b, c = parâmetros da equação IDF de Talbot

q_s = vazão de saída constante do dispositivo ($mm.h^{-1}$)

A = área contribuinte ao dispositivo (m^2)

C = coeficiente de escoamento da área de contribuição

L, B, D = dimensões do dispositivo (m)

η = porosidade do material de enchimento do dispositivo

H = profund. média do volume de acumulação do dispositivo (mm)

γ = razão entre área de percolação e volume do dispositivo (mm^{-1})

β = produto do coef. de escoam. pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada do solo (($mm.h^{-1}$)

α = coeficiente redutor devido à colmatação.

q_{pre} = vazão de restrição ou de pré-desenvolvimento ($mm.h^{-1}$)

Método da Curva-Envelope

Exemplo: Considere-se um empreendimento implantado em Porto Alegre sobre uma área total de 12.000m² (1,2 hectares), que vai ocupar 2.000 m² com edificações, reservar 4.000m² para estacionamento pavimentado e preservar 6.000m² como área verde com bosque.

Admita-se que a vazão máxima que este empreendimento pode produzir como escoamento superficial destinado à rede pluvial pública local seja 20,8L/(s.ha). E que a municipalidade exija que se avalie a situação para um período de retorno de 2 (dois) anos.

Considere que tempo de concentração da área total do empreendimento, sem controle na fonte, foi avaliado em 15 minutos. Dimensione um pavimento permeável para esta situação

Método da Curva-Envelope

Exemplo 2: Outro exemplo é o de uma **trincheira de infiltração** para drenar um trecho de rua, com pavimento impermeável com 100 m de comprimento com 10 m de largura de pista, em Porto Alegre. A trincheira é colocada na lateral da rua e, portanto, se comprimento também será de 100 m. Define-se, também, a priori, a largura, resumindo o dimensionamento no cálculo da profundidade do reservatório de brita.

No presente exemplo, optou-se por dimensionar uma trincheira com 0,80 m de largura para um período de retorno de 2 anos.

Método da Curva-Envelope

Exemplo 3: Considere-se um **poço de infiltração** em Porto Alegre para absorver o escoamento em dois anos de período de retorno gerado em uma praça com 500 m^2 e parcela impermeabilizada de 40%.

Exemplo 4: Em uma área de 40 ha em Porto Alegre existe um núcleo urbano que abrange 25 ha e o restante é área coberta com vegetação. Esta área é uma microbacia em cujo talvegue pretende-se construir uma **bacia de detenção** de modo que toda área não produza uma vazão específica maior que 20,8 l/(s.ha), ou seja, um total de 0,83 m^3/s. A municipalidade exige que se avalie a situação considerando um período de retorno de 2 anos.

Pré-dimensionamento hidrológico de dispositivos de controle na fonte

Prof. Dr. Hugo Alexandre Soares Guedes

Pelotas, 2019.