

Capítulo 6- Vazão excedente

6.1 Introdução

As enchentes causam um grande problema em áreas urbanas conforme se pode ver na Figura (6.1). As obras de boca de lobo e galerias são chamadas de obras de microdrenagem.



Figura 6.1- Enchente em área urbana



Figura 6.2- Medindo a altura de enchente

Haverá ocasião nas cidades em que as águas pluviais escoam superficialmente pelas ruas causando riscos a pessoas, propriedades e ao trânsito conforme Figura (6.2).

A Figura (6.3) mostra a seção transversal e a seção equivalente de uma rua típica.

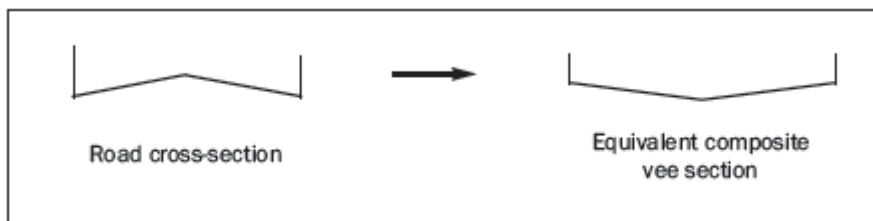


Figura 6.3- Corte transversal de uma rua com a seção original e a seção equivalente

6.2 Vazão excedente

Até hoje é costume se adotar em obras urbanas basicamente dois períodos de retorno: um para obras de microdrenagem e outro para macrodrenagem.

De modo geral para microdrenagem era adotado $Tr=2$ anos a $Tr=10$ anos. Para macrodrenagem era adotado em canais $Tr=25$ anos, $Tr=50$ anos e eventualmente em casos especiais $Tr=100$ anos.

A justificativa antiga era que não haveria problemas de haver uma pequena inundação quando se adotava 5anos para a microdrenagem e 25anos para a macrodrenagem. As ruas seriam inundadas por pouco tempo e não haveria problemas. Ninguém fazia o cálculo do nível de inundação que daria nas ruas e avenidas e os prejuízos por ela causados.

A Figura (6.4) nos dá uma idéia do gráfico de vazões em função tempo, mostrando a separação de vazão das águas pluviais que vão pela galeria e das águas pluviais que vão por cima da rua.

Chamaremos de **vazão excedente** aquela que escoar superficialmente conforme se pode ver na Figura (6.4).

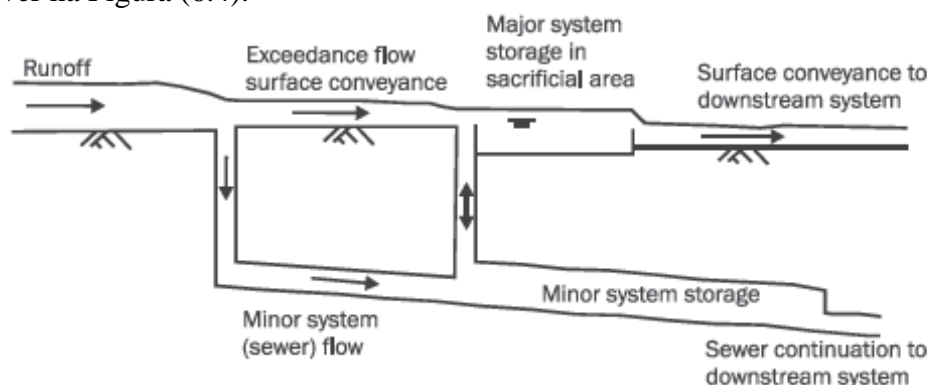
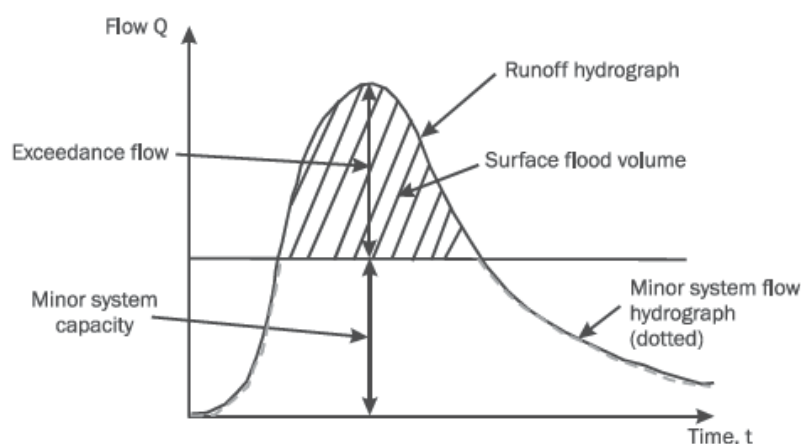


Figura 6.4- Na figura se vê o escoamento em galerias e o escoamento superficial excedente.

Mais tarde houve uma evolução, pois os prejuízos causados por um período de retorno muito pequeno adotado em microdrenagem podem causar falhas graves como prejuízo materiais e humanos.

Fora isto, entrou outra variável nova, que são as mudanças climáticas. Na Inglaterra os estudos das mudanças climáticas já concluíram que o período de retorno deve ser no mínimo **$Tr=30$ anos** e as cidades em foram feitos estudos para Tr menores que 30anos, devem rever seus estudos procurando fazer reservatórios de detenção e outras alternativas para mitigar os prejuízos das enchentes que já estão começando a acontecer.



**Figura 6.5 – Uma parte das águas vai para a galeria e outra corre por cima da rua, isto é, a vazão excedente.
Fonte: CIRIA, 2006**

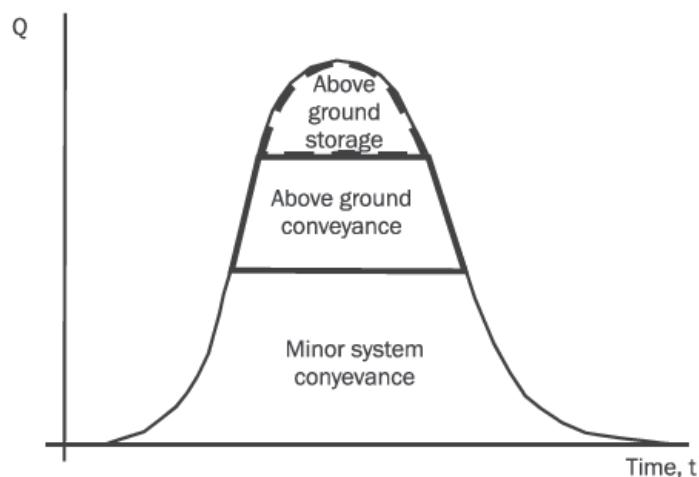


Figura 6.6- Histograma mostrando na parte de baixo o volume encaminhado pela microdrenagem, o volume de escoamento superficial e o volume armazenado em reservatórios

6.3 Velocidade e profundidade de escoamento superficial em vias públicas

Uma das grandes preocupações em centros urbanos é como resolver o problema das águas pluviais que vão por cima das ruas e implantar medidas para mitigar os efeitos deletérios das mesmas, sabendo que alguns destes problemas é quase impossível de ser resolvido.

Vamos nos preocupar agora com o escoamento superficial para examinar os perigos que os mesmos causam em pessoas e bens materiais baseados em trabalhos da CIRIA e do County Clark.

Segundo Nania e Gomes, 2002 in CIRIA, 2006 os projetos de microdrenagem devem ser atendidos o seguinte:

- Deverá ser evitada inundação e minimizar a interrupção de tráfego.

- A profundidade (y) do escoamento superficial numa via pública deve ser no máximo de 0,30m ou 0,20m numa rodovia.
- **O risco dos pedestres serem levados pela enxurrada deve obedecer ao seguinte critério: O produto da profundidade do escoamento superficial (y) multiplicado pela velocidade (v) deve ser menor ou igual a $0,5m^2/s$.**
- **O risco de um pedestre escorregar na enxurrada deve ser obedecido o seguinte critério; o produto da profundidade (y) x velocidade (v) ao quadrado deve ser menor que $1,23m^3/s^2$.**

Exemplo 6.1

Em uma rua foi admitida 0,30m de nível de água de enchente com velocidade de 2,75m/s. Qual o risco de um pedestre ser levado pela enxurrada.

$$V = 2,75m/s$$

$$Y = 0,30m$$

$Y \times V = 0,30 \times 2,75 = 0,83m^2/s$ Como o produto $Y \times V$ é maior que $0,50m^2/s$ então haverá risco de o pedestre ser levado pela enxurrada.

Exemplo 6.2-

Em uma rua foi admitida 0,30m de nível de água de enchente com velocidade de 2,75m/s. Qual o risco de um pedestre escorregar na enxurrada.

$$V = 2,75m/s$$

$$Y = 0,30m$$

$$Y \times V^2 = 0,30 \times 2,75^2 = 2,27m^3/s^2$$

Como o produto $Y \times V^2$ é maior que $1,23m^3/s^2$ então haverá risco de o pedestre escorregar com a enxurrada.

As alturas máximas de inundação County Clark encontram-se na Tabela (6.1).

Tabela 6.1- Máxima altura da água conforme o uso e periodo de retorno

| Uso típico | Máxima altura da água | Periodo de retorno |
|--|--|--------------------|
| Reservatório de detenção ou retenção ou bacia de infiltração | Altura variável | 30anos |
| Estacionamento de carros | 0,20m | 30anos |
| Areas recreacionais | 0,5m em áreas sem seguro 1,0m em áreas com seguro | 30anos |
| Estradas secundárias | 0,10m | 30anos |
| Campos de futebol | 0,5m em áreas sem seguro 1,0m em áreas com seguro | 20anos |
| Parque ecológico | 0,5m em áreas sem seguro 1,0m em áreas com seguro | 30anos |
| Playground de Escolas | 0,30m | 30anos |
| Areas indústrias | 0,50m | 50anos |
| Estradas principais e rodovias | 0,10m | 100anos |

6.5 Probabilidades

As probabilidades segundo CIRIA, 2006 pode ser obtida pela Tabela (6.2):

Tabela 6.2- Probabilidades em função do período de retorno

| Return period (1 in n years) | Probability of being equalled or exceeded in any one year | Suggested probability rating |
|---------------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 1 | Very high |
| 2 | 0.5 | Very high |
| 5 | 0.2 | Very high |
| 10 | 0.1 | High |
| 20 | 0.05 | High |
| 30 | 0.033 | Medium – high |
| 50 | 0.02 | Medium |
| 100 | 0.01 | Medium – low |
| 200 | 0.005 | Low |

6.6 Consequências

As consequências de uma inundação conforme Ciria, 2006 pode ser:

- Danos a propriedade
- Danos devido a profundidade (y)
- Danos devidos a profundidade (y) e a velocidade (v)
- Danos em hospitais, quartéis militares, etc

6.7 Danos a propriedade

Tabela 6.3- Danos a propriedade

| Depth of floodwater | Damage to the building | Damage to services and fittings | Damage to personal possessions |
|--|---|--|---|
| Below ground floor level. | Minimal damage to the main building. Floodwater may enter basements, cellars and voids under floors. Possible erosion beneath foundations. | Damage to electrical equipment and other services in basements and cellars. Fittings in basements and cellars may need to be replaced. | Possessions and furniture in basements and cellars damaged. |
| Up to half a metre above ground level. | Damage to internal finishes, such as wall coverings and plaster linings. Wall coverings and linings may need to be stripped to allow walls to dry out. Floors and walls will become saturated and will require cleaning and drying out. Damp problems may result. Chipboard flooring likely to require replacement. Damage to internal and external doors and skirting boards. | Damage to electricity meter and consumer unit. Damage to gas meters and low-level boilers and telephone services. Carpets and floor coverings may need to be replaced. Chipboard kitchen units are likely to require replacement. Washing machines, free standing cookers, fridges and freezers may need to be replaced. | Damage to sofas, other furniture and electrical goods. Damage to small personal possessions. Food in lower kitchen cupboards may be contaminated. |
| More than half a metre above ground level. | Increased damage to walls, possible structural damage. | Damage to higher units, electrical services and appliances. | Damage to possessions on higher shelves. |

6.8 Danos devido a profundidade (y)

Tabela 6.4- Danos de acordo com o tipo de propriedade e a altura do nível de água

| Property type depth (m) | 1 | 0.0-0.25 | 0.25-0.5 | 0.5-0.75 | 0.75-1.0 | 1.0-1.25 | 1.25-1.5 | 1.5-2.0 | >2.0 |
|----------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|------|
| Farm/parkland | n/a | L | L | L | L | L | L | L | L |
| Bungalow | n/a | L | ML | ML | M | M | M | M | MH |
| Detached | n/a | L | ML | ML | M | M | M | M | MH |
| Semi-detached | n/a | L | ML | ML | ML | M | M | M | MH |
| Terrace** | n/a | L | ML | ML | ML | M | M | M | MH |
| Flat | n/a | L | ML | ML | ML | M | M | M | MH |
| Retail warehouse* | n/a | L | L | ML | ML | ML | ML | M | M |
| High street shop*/** | n/a | L | L | ML | ML | ML | ML | M | M |
| Warehouse* | n/a | L | ML | M | M | MH | MH | MH | MH |
| Office* | n/a | ML | M | MH | H | VH | VH | VH | VH |
| Super/hyperstore* | n/a | ML | MH | H | VH | VH | VH | VH | VH |

For all categories, if the flooding contains foul sewage then increase the consequence rating by two.

* If the duration causes the property to be unoccupied or limits trading then the consequence value will change (see Section 10.5.6)

** Some of these properties may have basements. If these are lived in, then increase the consequence rating by one.

L = Low, ML = Medium low, M = Medium, MH = Medium high, H = High, VH = Very High

6.8 Danos devidos a profundidade (y) e a velocidade (v)

Tabela 6.5- Consequência com relação a velocidade x profundidade

| Existing consequence rating depth only Velocity * depth value | LOW | Medium - low | Medium | Medium - high | High | Very high |
|---|-----|--------------|--------|---------------|------|-----------|
| 0.0-3.0 m ² /s | L | ML | M | MH | H | VH |
| 3.0-5.0 m ² /s | ML | M | MH | H | VH | VH |
| 5.0-7.0 m ² /s | M | MH | H | VH | VH | VH |
| > 7.0 m ² /s | MH | H | VH | VH | VH | VH |

Tabela 6.6- Condições locais com relação a profundidade ou profundidade x velocidade.

| Surrounding conditions Depth or depth+ velocity value | Good conditions | Normal conditions | Poor conditions |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|
| 0.5 m | L | ML | MH |
| 1.0 m | ML | M | H |
| 0.5 m ² /s | M | H | VH |
| 1.0 m ² /s | MH | VH | VH |
| 1.5 m ² /s | H | VH | VH |
| > 1.5 m ² /s | VH | VH | VH |

Tabela 6.7- Danos a carro, adultos e crianças dentro do carro.

| Criteria Depth x velocity range | Damage to car | Adult in a car | Child in a car |
|------------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| | ML | M | H |
| < 0.1 m ² /s | L | L | L |
| 0.1 – 0.3 m ² /s | L | LM | M |
| 0.3 – 0.6 m ² /s | M | M | H |
| > 0.6 m ² /s | H | VH | VH |

6.10 Danos em hospitais, quartéis militares, etc

6.11 Cálculo do risco

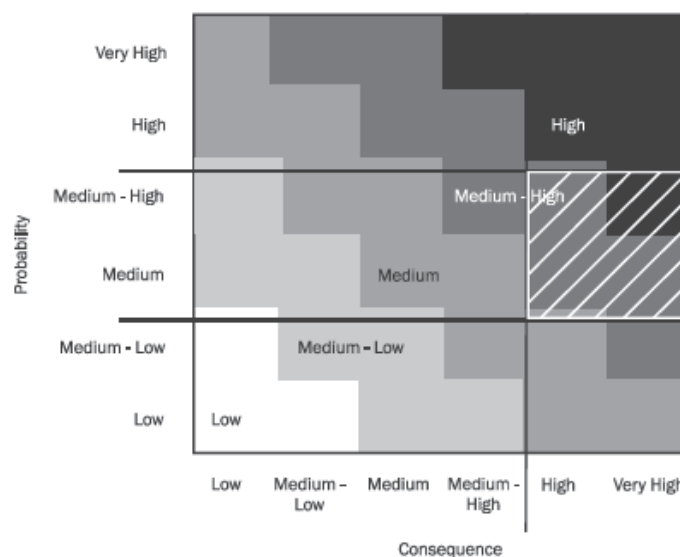


Figura 6.5- Riscos em função das consequências e das probabilidade

6.12 Método Racional

O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado por *Emil Kuichling* em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). É usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo. A chamada fórmula racional é a seguinte:

$$Q = C \cdot I \cdot A / 360$$

Sendo:

Q= vazão de pico (m³/s);

C=coeficiente de escoamento superficial ou de runoff;

I= intensidade média da chuva (mm/h);

A= área da bacia em (km²). 1km²=100ha.

6.13 Manning

A fórmula de Manning para qualquer seção de canal ou tubulação é a seguinte:

$$V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Sendo:

V= velocidade média na seção (m/s);

n= coeficiente de Manning tem as dimensões TL^{-1/3};

R= raio hidráulico (m). O raio hidráulico é o quociente entre a área molhada e o perímetro molhado;

S= declividade (m/m). A inicial “S” vem da palavra inglesa *Slope*.

6.14 Raio Hidráulico

O raio hidráulico é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado.

Área molhada (m²)

$$R = \frac{\text{Área molhada (m}^2\text{)}}{\text{Perímetro molhado (m)}}$$

Que pode ser calculado de Manning, tirando-se o valor de R:

$$R = [V \cdot n / (S^{1/2})]^{3/2}$$

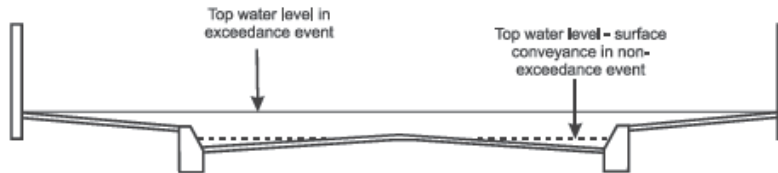


Figura 6.7- Mostra o nível da água em enchentes

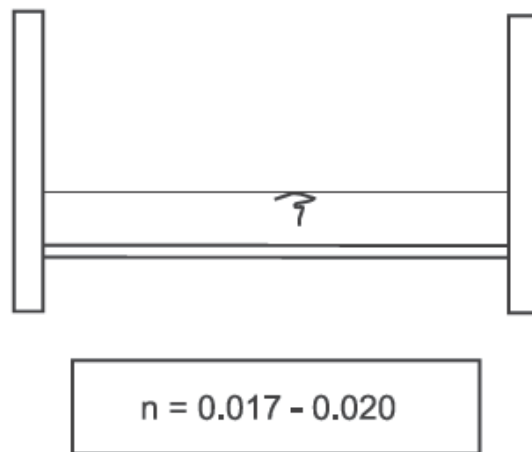


Figura 6.8- Mostra o nível da água em enchentes supondo seção retangular

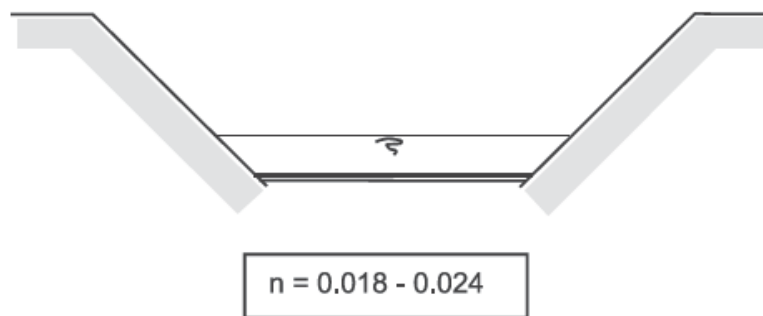


Figura 6.9- Mostra o nível da água em enchentes supondo seção trapezoidal com revestimento laterais

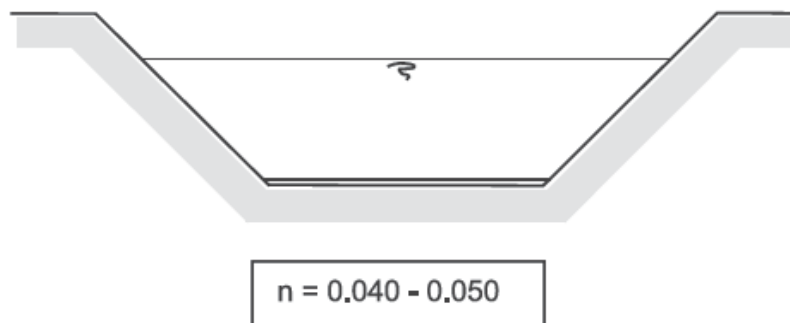


Figura 6.10- Mostra o nível da água em enchentes supondo seção trapezoidal com revestimento total

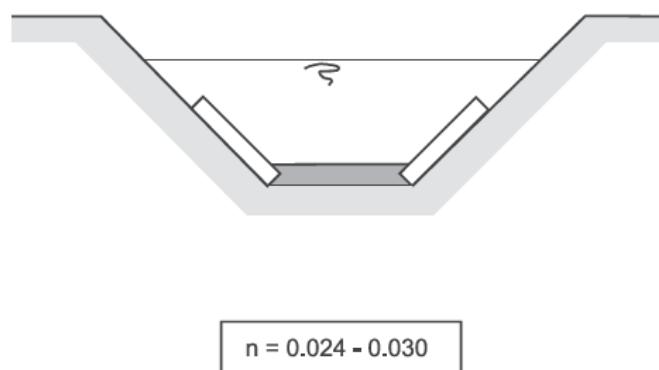


Figura 6.11- Mostra o nível da água em enchentes supondo seção trapezoidal com revestimento parcial lateral.

6.15 Velocidade crítica e altura crítica

- > subcritical flow
- > supercritical flow.

Subcritical flow occurs when the velocity of flow is less than the critical value given by Equation 11.1.

$$V = \sqrt{g \frac{A}{W}} \quad (11.1)$$

where:

- V = critical velocity of flow, m/s
- A = cross-sectional area of flow, m²
- W = width of the water surface, m
- g = gravitational acceleration = 9.81m/s²

Subcritical flow is characterised by tranquil flow with low velocities and larger depths. When a channel carries subcritical flow its slope is said to be mild.

The critical depth d_c is given by:

$$d_c = \left(\frac{Q^2}{gb^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

where:

- d_c = critical (brink) depth, m
- Q = discharge in channel, m^3/s
- b = average width at entry to downstream channel, m
- g = gravitational acceleration = $9.81m/s^2$

6.17 Bibliografia e livros consultados

- CIRIA- *Designing for exceedance in urban drainage- good practice*. CIRIA, C635, London 2006. ISBN 0-86017-635-5 ou 978-0-86017-635-0
- CLARK COUNTY- *Hydrologic criteria and drainage design manual*. 12 agosto, 1999