

## 4. Escoamento Superficial

### 4.1 Introdução

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. É de fundamental importância para o projeto de obras de engenharia, dimensionadas de modo a suportar as vazões máximas decorrentes do escoamento superficial.

Avaliando o ciclo hidrológico, espera-se que uma parte do volume total precipitado seja interceptada pela vegetação, enquanto o restante atinge a superfície do solo provocando o umedecimento dos agregados do solo e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação das chuvas, ocorre a desintegração dos agregados em partículas menores. A quantidade de solo desestruturado aumenta com a intensidade da precipitação, a velocidade e tamanho das gotas. Além de ocasionar a liberação de partículas, que obstruem os poros do solo, o impacto das gotas tende também a compactar esse solo ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de infiltração da água. O empoçamento da água, nas depressões existentes na superfície do solo, começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração, ou, quando a capacidade de acumulação de água no solo for ultrapassada. Esgotada a capacidade de retenção superficial, a água começará a escoar.

Associado ao escoamento superficial, ocorre o transporte de partículas do solo que sofrem deposição somente quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida. Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, também causam poluição dos cursos d'água.

### 4.2 Processo físico associado ao escoamento superficial

Estimativas das vazões máximas de escoamento superficial são freqüentemente necessárias, tanto em bacias hidrográficas com ocupação agrícola, quanto em urbanas (BONTA e RAC, 1992). O dimensionamento de drenos, barragens e obras de proteção contra cheias e erosão hídrica requerem o estudo das precipitações intensas, para obtenção da altura da chuva de projeto, com a qual é definida a vazão a ser utilizada. No projeto de estruturas de controle de erosão e inundação são necessárias, também, informações sobre o escoamento superficial. Quando o objetivo é reter ou armazenar toda água, o conhecimento do volume escoado é suficiente. Por outro lado, se o problema é conduzir o excesso de água de um lugar para outro, a vazão de escoamento superficial é mais importante, particularmente a vazão correspondente a um determinado período de retomo (SCHWAB et al., 1966).

O primeiro passo para determinar a descarga de projeto consiste em calcular a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial. A aplicação de métodos empíricos na predição do escoamento superficial, resultante de uma precipitação, pode ser considerada como uma primeira aproximação que deve ser corrigida posteriormente, com base na avaliação do sistema em operação (BELTRAN et al., 1988). Em bacias desprovidas de instrumentação, a determinação do escoamento superficial é mais difícil e menos precisa do que em bacias instrumentadas. Estudo realizado pelo "Water Resources Council", citado por BONTA e RAO (1992), enfatiza a dificuldade na aplicação dos procedimentos a fim de estimar o escoamento superficial, visto a imprecisão de alguns métodos costumeiramente usados e a grande variabilidade na estimativa, que pode ser obtida por diferentes profissionais ao seguirem um mesmo procedimento.

Nesta abordagem sobre o escoamento superficial será considerada, exclusivamente, a análise relacionada ao escoamento da água sobre a superfície do solo, antes de sua concentração em cursos d'água.

### 4.3 Fatores que influem no escoamento superficial

#### 4.3.1 Agroclimáticos

- Quantidade, intensidade e duração da precipitação
- Cobertura e condições de uso do solo
- Evapotranspiração

#### 4.3.2 Fisiográficos

- Área, forma e declividade da bacia
- Condições de superfície
- Tipo de solo
- Topografia
- Rede de drenagem
- Obras hidráulicas presentes na bacia

### 4.4 Grandezas associadas ao escoamento superficial

- **Vazão:** é definida como o volume de água que atravessa a seção transversal considerada por unidade de tempo. Geralmente é expressa em  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ . A vazão máxima de escoamento superficial representa importante parâmetro para os projetos de sistemas de drenagem, de obras para controle da erosão e cheias.

Para adequado planejamento e manejo integrado de bacias hidrográficas, toma-se fundamental o conhecimento sobre as vazões máxima, média e mínima, para as freqüências de interesse.

- **Coefficiente de escoamento superficial:** representa a relação entre o volume que escoou sobre a superfície do terreno e o volume precipitado. É expresso pela equação:

$$C = \frac{\text{Volume de água escoado superficialmente}}{\text{Volume precipitado}}$$

- **Tempo de concentração ( $t_c$ )** : tempo que a água que cai ponto mais remoto da seção considerada leva para atingir essa seção, ou seja, é o tempo necessário para que toda a bacia contribua com escoamento superficial na seção considerada.

- **Período de retorno (T)**: período de tempo médio, expresso em anos, em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez.

#### 4.5 Estimativa do escoamento superficial

##### 4.5.1. Método Racional

$$Q_{\max} = \frac{C i_m A}{360}$$

em que,

$Q_{\max}$  = vazão máxima de escoamento superficial,  $m^3.s^{-1}$ ;

$C$  = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

$i_m$  = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração,  $mm.h^{-1}$ ; e

$A$  = área da bacia de drenagem, ha.

De acordo com SMEDEMA e RYCROFT (1983), o método racional foi originalmente desenvolvido para estimar vazões máximas de escoamento em pequenas bacias urbanas, cuja proporção de área impermeável é grande (para as quais  $C$  aproxima-se de um). A ampliação do uso do método racional para áreas agrícolas é mais apropriada para bacias que não excedem 100 - 200 ha. Para grandes bacias, com longos tempos de concentração, as condições permanentes e a uniformidade da intensidade de precipitação assumida são irreais, sendo que consideráveis erros deverão ocorrer na estimativa da vazão.

O método racional parte do princípio básico de que a vazão máxima, provocada por uma chuva de intensidade uniforme e constante, ocorre quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente com escoamento na seção de deságüe. O tempo necessário para que isso aconteça, medida a partir do início da chuva, é denominado tempo de concentração. Entretanto, esta consideração ignora a complexidade real do processo de escoamento superficial, desprezando tanto o armazenamento de água na bacia quanto as variações da intensidade de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial durante a precipitação.

O método racional está, portanto, fundamentado nos seguintes princípios básicos:

a) as precipitações deverão ter alta intensidade e curta duração, sendo a vazão máxima de escoamento superficial aquela que ocorre quando a duração da

chuva for igual à  $t_c$ , situação em que toda a área da bacia deverá contribuir com escoamento superficial na seção de deságüe. Ao considerar esta igualdade, admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta situação ocorra. Em pequenas bacias, a condição crítica ocorre devida às precipitações convectivas, que possuem pequena duração e grande intensidade. Portanto, a chuva deve ter duração suficiente para que toda a bacia contribua com escoamento superficial na seção de deságüe. A consideração de precipitações com duração superior a  $t_c$  causaria, também, a redução da vazão máxima, pois, a tendência natural da intensidade da chuva é decrescer com o aumento da duração da precipitação considerada. O método não considera que, num tempo inferior a  $t_c$ , embora nem toda a área esteja contribuindo com escoamento superficial, a intensidade maior da precipitação pode sobrepujar este fato e causar uma vazão de escoamento superficial maior do que aquela com duração igual à  $t_c$ .

b) a precipitação com duração igual à  $t_c$  ocorre, uniformemente, ao longo de toda a bacia.

c) dentro de um curto período de tempo, a variação na taxa de infiltração não deverá ser grande. Geralmente assume-se que, durante o evento extremo, o solo encontra-se saturado e, portanto, com taxa de infiltração da água no solo igual à taxa de infiltração estável, o que corresponde à condição mais desfavorável.

d) adota um coeficiente único de perdas, denominado coeficiente de escoamento superficial, estimado com base nas características da bacia.

e) não permite caracterizar o volume de escoamento superficial produzido e a distribuição temporal das vazões.

Embora a denominação "racional" dê a impressão de segurança, o método deve ser aplicado cuidadosamente, pois, envolve simplificações e o uso de coeficientes de grande subjetividade. A imprecisão do emprego do método será tanto maior quanto maior for a área da bacia, uma vez que as hipóteses anteriores tornam-se cada vez mais improváveis. Dessa forma, a método não deveria ser aplicado para áreas superiores a  $5 \text{ km}^2$ . No entanto, a simplicidade de sua aplicação e a facilidade do conhecimento e controle dos fatores a serem considerados, tomam seu uso bastante difundido em estudos sobre as cheias em pequenas bacias hidrográficas, até mesmo para aquelas com área superior a  $5 \text{ km}^2$ . SMEDEMA e RYCROFT (1983) salientam que a termo racional foi atribuído à equação na época de seu desenvolvimento, para distingui-la das outras equações empíricas amplamente usadas.

A seguir serão analisados, de forma individualizada, cada um dos fatores considerados no método.

#### - **Área drenada (A)**

É o parâmetro determinado mais precisamente.

- **Intensidade máxima média da precipitação ( $i_m$ )**

$$i_m = \frac{K T^a}{(t+b)^c}$$

em que

T = período de retorno, anos;

t = duração da precipitação, min;

K, a, b, e c = parâmetros de ajuste, relativos à estação pluviográfica estudada.

A duração da chuva, a ser considerada na equação anterior, deve ser igual ao tempo de concentração, considerando-se a intensidade de precipitação constante ao longo dessa duração. A chuva crítica, para o projeto de obras hidráulicas, é escolhida com base em critérios econômicos, sendo o período de retorno de 5 a 10 anos normalmente utilizado para a seleção da chuva crítica, com vistas à eliminação do escoamento superficial, no caso de projeto de sistemas de drenagem agrícola de superfície. SCHWAB et al. (1966) recomendam um período de retorno de 10 anos, para projetos de conservação de solos. EUCLYDES (1987) recomenda o período de retorno de 10 anos somente para o dimensionamento de projetos de saneamento agrícola, em que as enchentes não trazem prejuízos muito expressivos como, por exemplo, a recuperação de várzeas para pastagens. Para projetos em áreas urbanas ou de maior importância econômica, recomenda-se utilizar o período de retorno de 50 ou 100 anos.

PORTO et al. (1993) salientam que as dificuldades em estabelecer o período de retorno adequado, para cada situação, fazem com que sua escolha recaia, muitas vezes, em valores recomendados na literatura. Os autores apresentam, no Quadro seguinte, valores de períodos de retorno recomendados por DAEE-CETESB, em 1980, em função do tipo de ocupação da área.

Para o projeto de pequenas barragens, IRYDA (1985) considera que o uso de períodos de retorno de 50 ou 100 anos pode ser considerado suficiente. Entretanto, para casos em que a ruptura da barragem coloca em perigo vidas humanas ou grandes prejuízos econômicos podem ocorrer, o autor aconselha períodos de retorno maiores, ou seja, da ordem de 500 anos. MME-ELETROBRAS-DNAEE (1985) recomenda que, no dimensionamento de vertedores associados a microcentrais hidrelétricas, o período de retorno seja 100 anos, quando não houver riscos potenciais à jusante, e 200 anos, em caso de riscos de danos expressivos à jusante.

Na aplicação do Método Racional, o período de retorno é escolhido admitindo-se que o período de retorno associado à vazão máxima é igual ao da precipitação que a provoca. Isso não é exatamente verdadeiro, pois, a ocorrência de uma grande cheia não depende apenas da ocorrência de uma grande precipitação, mas, também da situação da bacia no que diz respeito às condições que interferem no escoamento superficial. Como, via de regra, o método racional é aplicado sem levar em conta a influência do armazenamento

superficial sobre a vazão máxima, a período de retorno relativo à vazão máxima toma-se igual ao da precipitação.

Períodos de retorno (T) propostos por DAEE-CETESB, em 1980, em função do tipo de ocupação da área

<b>Tipo de obra</b>	<b>Tipo de ocupação da área</b>	<b>T (anos)</b>
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Área com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2 - 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macrodrenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
	Áreas de importância específica	500

Sendo  $q$  a vazão específica (vazão por unidade de área da bacia), pode-se escrever que  $q = C i_m$ , sendo a vazão total ( $Q$ ) igual a ( $q A$ ). A vazão específica será tanto maior quanto maior for  $i_m$ , isto é, quanto menor for a duração da precipitação; porém, a vazão máxima aumentará também com o aumento da área da bacia de contribuição. Entretanto, com o aumento desta, também aumentará o valor da duração da precipitação a ser considerada. Para atender a essas duas condições, que se opõem, fixa-se a duração da chuva em um valor igual ao tempo de concentração.

Pela análise física do processo de escoamento superficial, os fatores que influenciam o valor da duração da precipitação, em que toda a área da bacia considerada passa a contribuir com escoamento na seção de deságüe são: área da bacia, comprimento e declividade do canal mais longo (principal), forma da bacia, declividade média do terreno, declividade e comprimento dos efluentes, rugosidade do canal, tipo de recobrimento vegetal e características da precipitação. Portanto, o tempo de concentração não é constante para uma dada área, variando com outros fatores como o tipo e a condição de cobertura da área e com a altura e distribuição da chuva sobre a bacia. Entretanto, com o aumento do período de retorno considerado, a influência destes fatores diminui.

#### - Tempo de concentração

$$\text{Equação de Kirpich} \rightarrow t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

em que,

$t_c$  = tempo de concentração, min;

$L$  = comprimento do curso d'água principal da bacia, km; e

$H$  = dif. de nível entre o ponto mais remoto e a seção considerada, m.

$$\text{Equação de Giandotti} \rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$$

em que

A = área da bacia, km<sup>2</sup>;

L = comprimento horizontal, desde a saída até o ponto mais afastado da bacia, km; e

H = diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais afastado, m.

#### Equação derivada com base no método da onda cinemática

$$t_c = 6,92 \frac{(Ln)^{0,6}}{i_m^{0,4} l^{0,3}}$$

em que

L = comprimento da bacia, m;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

l = declividade da superfície, m m<sup>-1</sup>;

i<sub>m</sub> = precipitação efetiva, mm h<sup>-1</sup>.

$$\text{SCS - método cinemático} \rightarrow t_c = \frac{1000}{60} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

em que

L<sub>i</sub> = distância percorrida no trecho considerado, km; e

V<sub>i</sub> = velocidade média no trecho considerado, m s<sup>-1</sup>.

Velocidades médias para cálculo de t<sub>c</sub>, m s<sup>-1</sup>

Descrição do esc.	Declividade (%)			
	0 - 3	4 - 7	8 - 11	> 12
<b>Sobre o terreno</b>				
Florestas	0 - 0,5	0,5 - 0,8	0,8 - 1,0	> 1,0
Pastos	0 - 0,8	0,8 - 1,1	1,1 - 1,3	> 1,3
Áreas cultivadas	0 - 0,9	0,9 - 1,4	1,4 - 1,7	> 1,7
Pavimentos	0 - 2,6	2,6 - 4,0	4,0 - 5,2	> 5,2
<b>Em canais</b>				
Mal definidos	0 - 0,6	0,6 - 1,2	1,2 - 2,1	

A análise das equações apresentadas para a cálculo do tempo de concentração permite as seguintes conclusões:

- em geral, as equações têm comportamentos similares até  $L = 10$  km e, a partir daí, passam a divergir. Esse comportamento é esperado, uma vez que os estudos que as originaram, em geral, referem-se a bacias desse porte.
- o método cinemático é o mais correto sob o ponto de vista conceitual, pois, permite levar em consideração as características específicas do escoamento na bacia em estudo. É também o mais trabalhoso, pois exige a divisão dos canais em trechos uniformes e a determinação de suas características hidráulicas para a aplicação da equação de Manning.

De acordo com as equações apresentadas para o cálculo do tempo de concentração, o comprimento e a declividade do curso d'água principal da bacia são as características mais freqüentemente utilizadas para o cálculo do tempo de concentração.

É difícil dizer qual equação dará melhores resultados em uma determinada bacia, pois todas foram obtidas para condições particulares. Dentre estas, entretanto, a de uso mais freqüente é aquela proposta por Kirpich.

É válido ter sempre em mente que o erro na estimativa do tempo de concentração será tanto maior quanto menor for a duração considerada, uma vez que é maior a variação da intensidade de precipitação com o tempo nesta condição. Já para grandes durações, as variações da intensidade com incrementos iguais de tempo são bem menores.

#### - Coeficiente de escoamento (C)

Do volume precipitado sobre a bacia, apenas uma parte atinge a seção de deságüe sob a forma de escoamento superficial, uma vez que parte da água é interceptada, a outra preenche as depressões e outra infiltra-se no solo, umedecendo-o e abastecendo o lençol freático. O volume escoado representa, portanto, apenas uma parcela do volume precipitado, sendo que a relação entre os dois é denominada coeficiente de escoamento e obtida pela equação mostrada anteriormente. As quantidades interceptadas, armazenada na superfície, infiltrada e escoada podem variar consideravelmente de uma precipitação para outra e, conseqüentemente, o coeficiente de escoamento superficial também varia. A percentagem de chuva convertida em escoamento superficial aumenta com a intensidade e duração da precipitação.

Valores de C recomendados pela ASCE

Superfície	C	
	Intervalo	Valor esperado
pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88

calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
<b>Cob.: grama solo arenoso</b>		
Plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08
Médio (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
<b>grama, solo pesado</b>		
plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
declividade alta (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Valores de C adotados pela prefeitura de São Paulo

<b>Zonas</b>	<b>C</b>
<b>Edificação muito densa:</b> Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
<b>Edificações não muito densa:</b> Parte adjacente ao centro, de menos densidade de habit., mas com ruas e calçadas pavim.	0,60 - 0,70
<b>Edificações com poucas superfícies livres:</b> Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 - 0,60
<b>Edificações com muitas superfícies livres:</b> Partes resid. com ruas macadamizadas ou paviment.	0,25 - 0,50
<b>Subúrbios com alguma edificação:</b> Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
<b>Matas, parques e campo de esportes:</b> Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte s/ paviment.	0,05 - 0,20

Valores de C propostos pelo Colorado Highway Department

<b>Características da bacia</b>	<b>C (%)</b>
Superfícies impermeáveis	90 - 95
Terreno estéril montanhoso	80 - 90
Terreno estéril ondulado	60 - 80
Terreno estéril plano	50 - 70
Prados, campinas, terreno ondulado	40 - 65
Matas decíduas, folhagem caduca	35 - 60
Matas coníferas, folhagem permanente	25 - 50
Pomares	15 - 40
Terrenos cultivados em zonas altas	15 - 40
Terrenos cultivados em vales	10 - 30

Valores de C recomendados pelo SCS – USDA

Declividade (%)	Solos arenosos	Solos francos	Solos argilosos
<b>Florestas</b>			
0 – 5	0,10	0,30	0,40
5 – 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
<b>Pastagens</b>			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
<b>Terras cultivadas</b>			
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Para condições em que há variação do coeficiente de escoamento superficial ao longo da área analisada, este poderá ser determinado pela equação:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A}$$

em que C = coeficiente de escoamento superficial para a área de interesse, adimensional; C<sub>i</sub> = coeficiente de escoamento superficial para a subárea i, adimensional; A<sub>i</sub> = subárea considerada, ha; e A = área total considerada, ha.

#### 4.5.2. Método Racional Modificado

$$Q_{\max} = \frac{C i A}{360} \phi$$

em que  $\phi$  = coeficiente de retardamento, adimensional.

O coeficiente de retardamento procura corrigir o fato do escoamento superficial sofrer um retardamento em relação ao início da precipitação. Se este fato fosse considerado no Método Racional, seria escolhida uma chuva mais longa e, conseqüentemente, com intensidade mais baixa. Com a aplicação do coeficiente de retardamento, que varia entre 0 e 1, procura-se uma compensação para este efeito, que não é considerado no Método Racional.

Em trabalho realizado por Euclides e Piccolo, citados por EUCLYDES (1987), na região sul de Minas Gerais, mais precisamente na microregião do circuito das águas, foi ajustada uma equação (com coeficiente de correlação igual a 0,70) que permite estimar o valor de  $\phi$  em função da área da bacia:

$$\phi = 0,278 - 0,00034.S \rightarrow \text{em que } S \text{ é a área da bacia, km}^2.$$

Área da bacia (km <sup>2</sup> )	$\phi$
10 – 30	0,27
30 – 60	0,26
60 – 90	0,25
90 – 120	0,24
120 – 150	0,23

#### 4.5.3. Método do Número da Curva (SCS-USDA)

Permite estimar a volume (lâmina) de escoamento superficial a partir de dados precipitação e de outros parâmetros da bacia. O método foi desenvolvido pelo SOIL CONSERVATION SERVICE (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), a partir de dados de um grande número de bacias experimenta tendo a análise dessas informações permitido evidenciar a relação

$$\frac{I}{S} = \frac{ES}{P_e} \quad (1)$$

em que:

$I$  = infiltração acumulada após o início do ES, mm;

$S$  = infiltração potencial, mm;

$ES$  = escoamento superficial total, mm; e

$P_e$  = escoamento potencial ou excesso de precipitação, mm.

A equação 1 é válida a partir do início do escoamento superficial, sendo

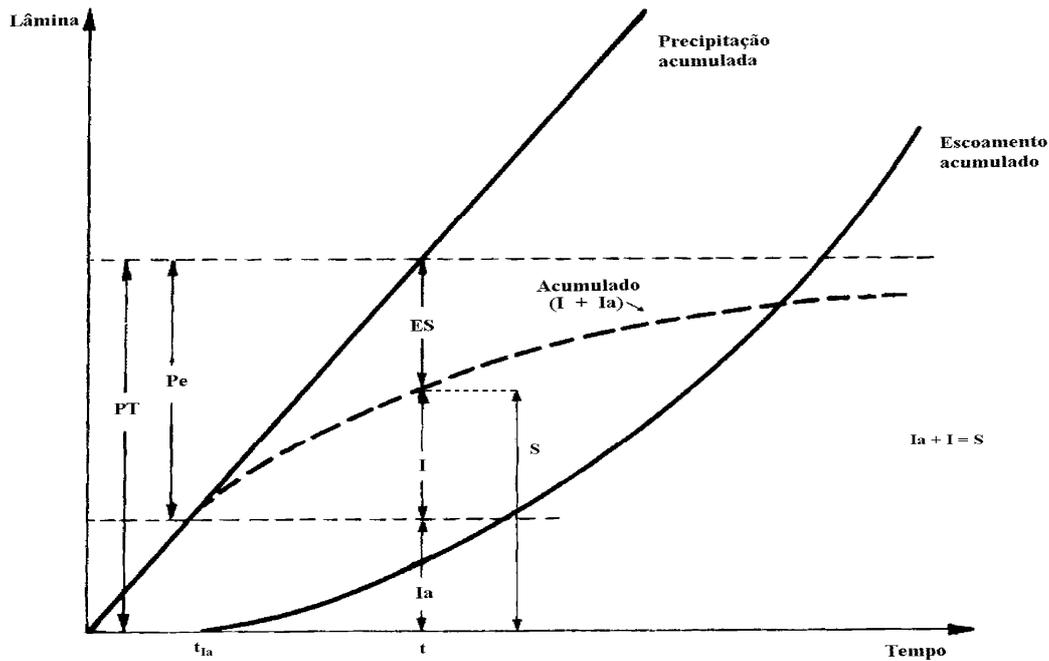
$$P_e = PT - I_a \quad (2)$$

em que:

$PT$  = precipitação total, mm; e

$I_a$  = abstrações iniciais, mm.

A Figura seguinte apresenta as variáveis consideradas no Método do Número da Curva.



Nesta Figura, evidencia-se que a precipitação acumulada varia linearmente com o tempo que corresponde a dizer que a intensidade de precipitação assumida é constante para uma dada duração de precipitação. A precipitação é totalmente convertida em abstrações iniciais até a tempo  $t_{ia}$ , ou seja, até este momento, a precipitação é convertida em interceptações pela cobertura, armazenamento na superfície do solo e infiltração, uma vez que abstrações iniciais correspondem a toda precipitação que ocorre antes do início escoamento superficial englobando, portanto, além da interceptação e do armazenamento superficial, toda a infiltração ocorrida durante esses dois processos. Após a ocorrência das abstrações iniciais, começa o escoamento superficial. A partir deste momento tem-se que

$$P_e = ES + I \tag{3}$$

Pela substituição da equação 3 na 1 e isolando ES, tem-se

$$ES = \frac{P_e^2}{P_e + S} \tag{4}$$

A análise do comportamento verificado nas bacias experimentais estudadas, permitiu ao SCS-USDA evidenciar que:

$$Ia = 0,2 S \tag{5}$$

Pela substituição das equações 2 e 5 na equação 4, tem-se

$$ES = \frac{(PT - 0,2 S)^2}{(PT + 0,8 S)} \tag{6}$$

Isolando S na equação 6, tem-se

$$S = \frac{(P_e)^2}{Q} - P_e \quad (7)$$

O SCS-USDA obteve, a partir da análise de uma série de hidrogramas, a seguinte relação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

em que CN é o número da curva, cujo valor pode variar entre 1 e 100, e depende do uso e manejo da terra, grupo de solo, condição hidrológica e umidade antecedente.

O valor de S é obtido na equação 8 em mm.

Portanto, para a determinação do escoamento superficial pelo Método do Número da Curva, é suficiente que o projetista conheça a precipitação que incide sobre a área, para a duração pretendida, e obtenha, a partir de tabelas, o valor do número da curva que foi obtido para diferentes condições de superfície e tipos de solo. Nos dois Quadros a seguir constam os valores apresentados por TUCCI (1993), para condições de bacias com ocupação agrícola e urbana.

Os tipos de solos, identificados nos referidos quadros, são os seguintes:

- Solo A:** Produz baixo volume de ES e apresenta alta infiltração. Solo arenoso profundo com pouco silte e argila.
- Solo B:** Menos permeável do que o anterior. Solo arenoso menos profundo do que o tipo A e com permeab. superior à média.
- Solo C:** Gera volume de ES acima da média e com capac. de infiltração abaixo da média, contendo % considerável de argila. Pouco profundo.
- Solo D:** Contém argilas expansivas. Pouco profundo, com muito baixa capacidade de infiltração.

Os valores de CN, apresentados nesses Quadros, referem-se a condições médias de umidade antecedente (AMC II). Para situações diferentes da média, a correção do número da curva pode ser feita utilizando-se os Quadros posteriores. O Quadro 1 permite enquadrar a solo na classe de umidade antecedente à precipitação de interesse, a partir da chuva ocorrida nos cinco dias que antecedem à chuva crítica. O Quadro 2 permite a correção do CN para condições iniciais de umidade diferentes da média.

**Valores do CN para bacias com ocupação agrícola (TUCCI, 1993)**

Uso do solo	Superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
Pastagens	Boas	39	61	74	80
	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
Campos permanentes	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
Chácaras	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
	Normais	56	75	86	91
Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

## Valores de CN para bacias com ocupação urbana (TUCCI, 1993)

Utilização ou cobertura do solo	Tipo de solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios → boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas cobertura ruim	45	66	77	83
Florestais cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
lotes de (m <sup>2</sup> )      % média impermeável				
<500                      65	77	85	90	92
1000                     38	61	75	83	87
1300                     30	57	72	81	86
2000                     25	54	70	80	85
4000                     20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
paralelepípedos	76	85	89	91
terra	72	82	87	89

## Classes de umidade antecedente do solo

Classes	Chuva ocorrida nos 5 dias anteriores à de projeto (mm)
AMC I	0 - 35
AMC II	35 - 52,5
AMC III	> 52,5

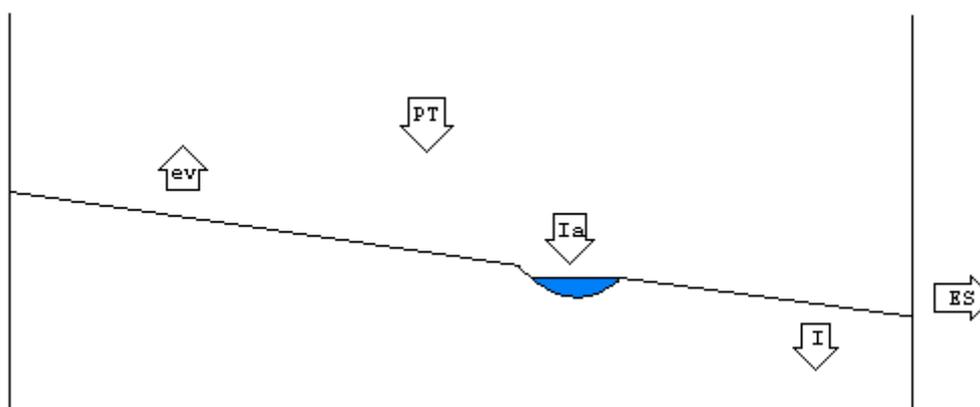
## Correção de CN para umidades diferentes da média (AMC II)

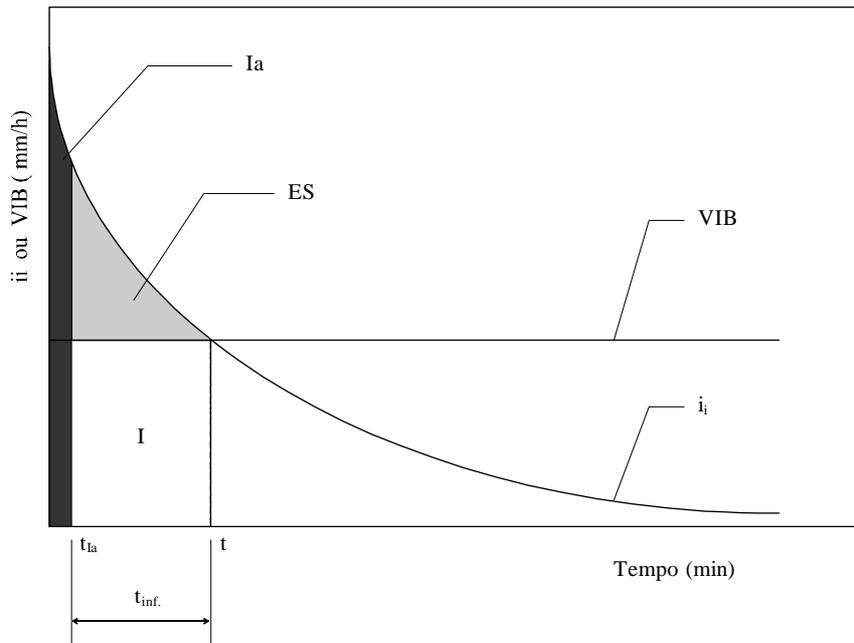
Valores médios (correspondentes a AMC II)	Valores corrigidos AMC I	Valores corrigidos AMC III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

#### 4.5.4 Mét. do Bal. de Água na Sup. do Solo (PRUSKI et al., 1997)

Premissas:

- precipitação uniforme em toda a área analisada;
- $V_I = V_{IB}$ ; e
- evaporação nula.





Representação dos componentes associados ao ES para o Método do Balanço de Água na Sup. do Solo.

O ES é máximo quando  $i_j$  iguala a VIB, ou seja:

$$i_m \left( 1 - \frac{c t}{t + b} \right) - VIB = 0$$

Para obtenção do ES máximo, utiliza-se a equação

$$ES = PT - I_a - I - e_v$$

Precipitação total

$$PT = \frac{i_m t}{60}$$

Abstrações iniciais

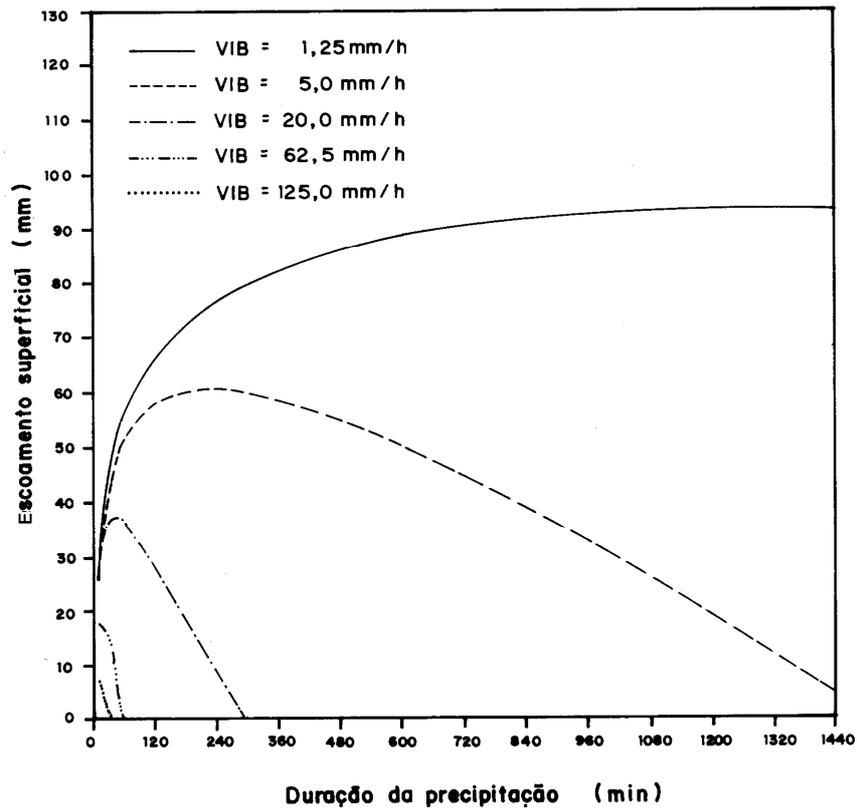
$$I_a = 50,8 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Tempo correspondente a  $I_a$

$$t_{I_a} = \frac{I_a 60}{i_m}$$

Infiltração:

$$I = \frac{VIB t_{inf}}{60}$$



Varição do ES com a duração da precipitação para diferentes tipos de solo (valores de VIB).

Valores de escoamento superficial (mm) obtidos para Uberaba -MG pelos Métodos do Número da Curva (para três durações de precipitação) e do Balanço de Água na Superfície do Solo

VIB (mm h <sup>-1</sup> )	PRUSKI et al. (1997)	CN (6h)	CN (12h)	CN (24h)
1	133,5	123,3	138,3	151,7
3	111,0	123,3	138,3	151,7
10	80,4	120,3	135,3	148,7
20	59,4	120,3	135,3	148,7
30	46,1	120,3	135,3	148,7
40	36,4	120,3	135,3	148,7
50	28,2	111,7	126,6	139,9
75	15,5	111,7	126,6	139,9
100	7,8	111,7	126,6	139,9

