

# HIDROLOGIA I

## SHS - 411

PROF. GABRIEL DIBBERN SACCHI  
GABRIEL.SACCHI@USP.BR

Hidrologia  
Ciclo Hidrológico  
Bacias Hidrográficas  
Balanço Hídrico

AULAS 1 e 2

# Hidrologia

- ▶ Ciência que trata da **água na Terra**, sua ocorrência, **circulação e distribuição**, suas propriedades físicas e químicas e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (U.S.Federal Council for Science and Technology)
- ▶ Ciência natural que trata dos **fenômenos relativos à água** em todos os seus estados, de sua **distribuição** e ocorrência na atmosfera, na **superfície terrestre e no solo**, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem (A.F. MEYER, 1948)

## Chuva forte em São Carlos causa alagamento em diversos pontos; veja fotos

Praça do Mercado Municipal, rotatória do Cristo e diversas ruas do Centro foram atingidas na tarde desta terça-feira (20).

Publicado em 20/03/2018 15:37:32 | Por: G1 São Carlos e Araraquara

[Recommend](#) [Share](#)



A situação em que ficou a cidade na Baixada do Mercado Municipal - EPTV CENTRAL



# Crise hídrica reduz frequência de abastecimento de água no país, aponta IBGE

Disponibilidade diária de água caiu em 15 das 27 UF's em 2017. Dentre as cinco regiões do país, somente a Sudeste registrou aumento na frequência de fornecimento diário de água.

Por Daniel Silveira, G1 Rio  
26/04/2018 10h00 - Atualizado há um ano



Técnico da Casb espera para girar válvula de registro e liberar o fluxo de água — Foto: Luiza Garçon/DI



## 3 maneiras pelas quais as florestas podem ajudar a resolver as crises hídricas no planeta

20/11/2018

Este post foi escrito por **Todd Gartner** e **James Mulligan** e publicado originalmente no **WRI Insights**.



Floresta nas margens de um rio em Portland, nos Estados Unidos (Foto: BLM/Flickr)

Para algumas das questões hídricas mais urgentes do mundo, a resposta está na natureza.

Água limpa e abundante depende de sistemas naturais saudáveis no entorno, como as florestas podem ser.

Boa parte da água do planeta é filtrada através de bacias hidrográficas florestadas, que **melhoram a qualidade da água** e protegem o recurso. Grandes florestas, como a **Amazônia**, ajudam até mesmo a controlar os chamados "rios do céu", que ditam os padrões de chuva a até centenas de quilômetros de distância.



BRASIL

## Nível dos reservatórios de hidrelétricas do Sudeste e Centro-Oeste é o menor desde 2015



Reservatórios de água estão com o menor nível desde 2015 (Crédito: Divulgação / Agência Nacional de Águas)



Solução Em Energia - WWF -> Blog -> Energia Solar -> Baixo Nível De Água, Alto Custo Da Energia. Por Quê?

## Baixo nível de água, alto custo da energia. Por quê?

21 de março de 2017 - Postado por: Cria G1 - Categoria: Energia Solar - Nenhum Comentário

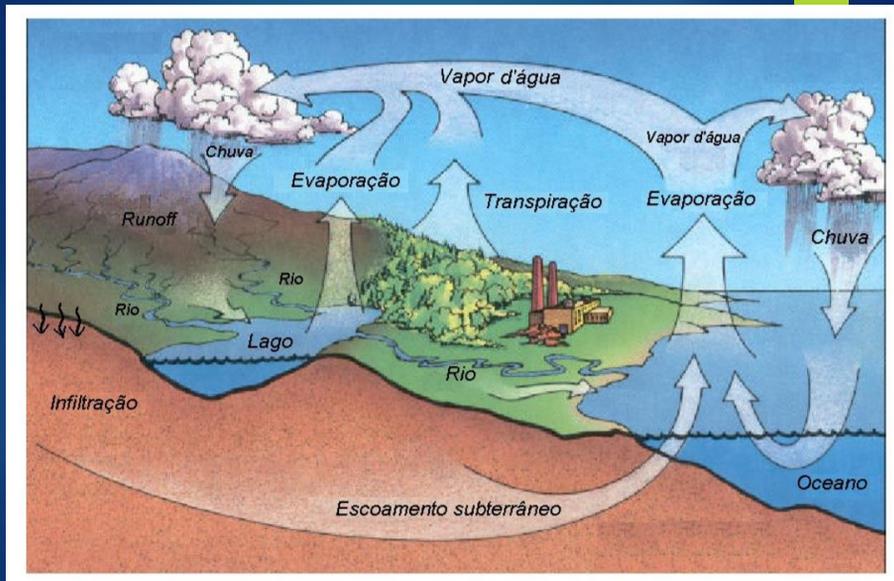


Falta água, sobe a conta. Afinal, o que tem a ver **crise hídrica** com alta na conta de energia? Tudo a ver: água e energia elétrica. Relatório de 2014 da ONU aponta que cerca de 90% da geração de eletricidade no planeta depende de água. Muito se fala e se noticia, mas como é isso mesmo? Vamos por partes.



# Ciclo Hidrológico

- ▶ “Fenômeno **global** de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre” Tucci – 2015
- ▶ Precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve, orvalho)
- ▶ Escoamentos subterrâneos (infiltração, águas subterrâneas)
- ▶ Escoamentos superficiais (torrentes, rios e lagos)
- ▶ Evaporação (na superfície das águas e no solo) e transpiração dos vegetais e animais



# Definições Aplicações Importância Delimitação Caracterização Física

BACIA HIDROGRÁFICA

## Bacia hidrográfica



Área de contribuição superficial do escoamento por gravidade até a seção de um determinado curso d'água

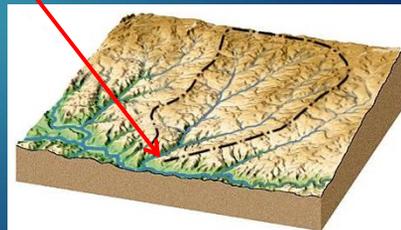


Essa área é definida pela topografia (características do relevo e acidentes naturais do terreno) → respeitada a irrevogável lei da gravidade



A bacia é caracterizada por uma saída de água comum, para a qual todo o escoamento converge

Sinônimos: bacia de captação, bacia hidrológica, bacia de contribuição, bacia de drenagem superficial





## Qual a utilidade do conceito de bacia?

Segundo a Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997, "a **bacia hidrográfica** é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos".

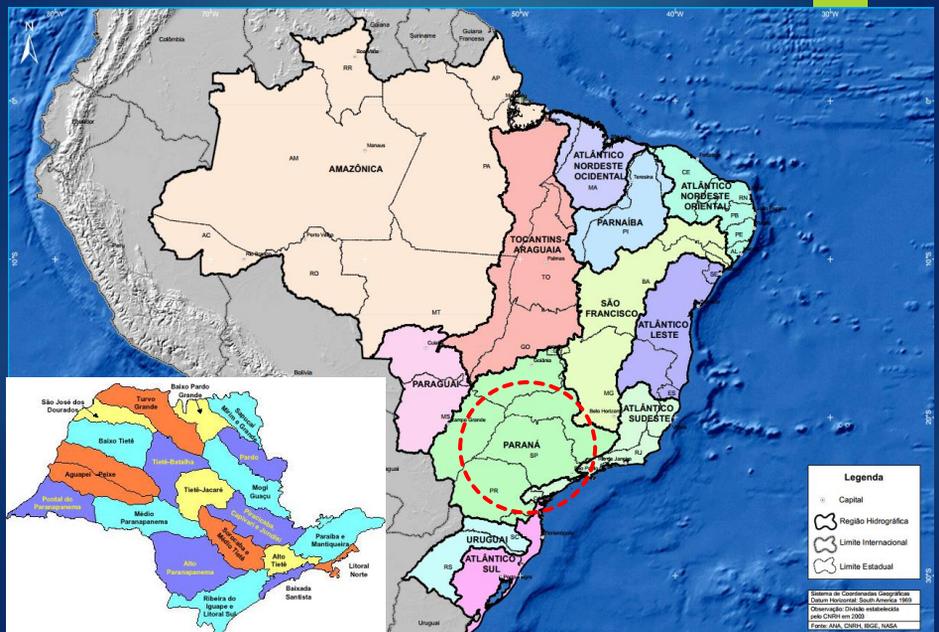
recorte físico-territorial básico

reflete as atividades antrópicas no território e eventuais problemas relacionados à poluição das águas ou escassez hídrica

facilita a elaboração de planos de manejo e gerenciamento de riachos, rios e reservatórios que drenam a bacia ou microbacia

Mas também pode ser um desafio → limites de bacia x limites geopolíticos/administrativos.

## Regiões hidrográficas brasileiras



## Qual a utilidade do conceito de bacia?

O principal interesse em estudar a bacia hidrográfica é que suas características influenciam o processo de transformação de chuva em vazão.



Alteração dos aspectos **qualitativos e quantitativos** dos recursos hídricos



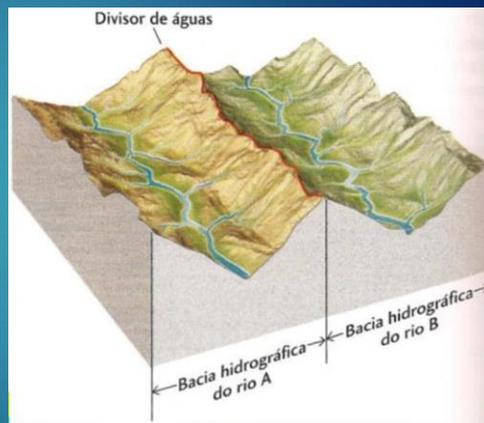
## Como delimitar uma bacia hidrográfica?

Para definir o divisor de águas, o mais comum é considerar unicamente a topografia:

*Linha contínua que passa pelos cumes das formações topográficas em torno da bacia e cruza o curso d'água somente no exutório*

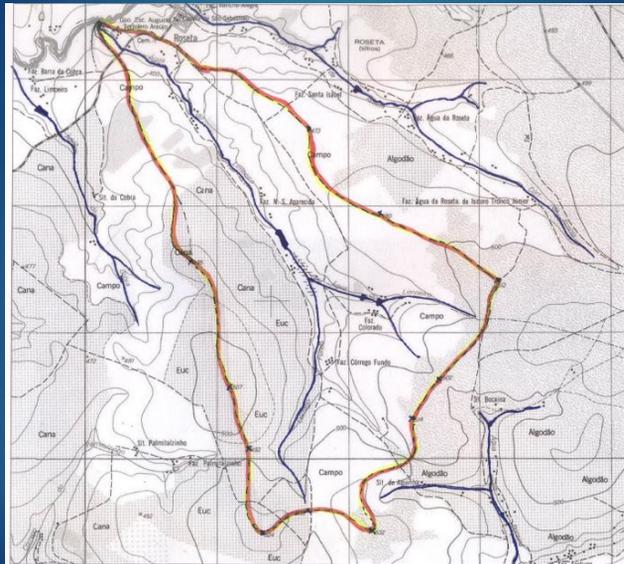
Identificar para onde escoa a água sobre o relevo usando como base as curvas de nível

- A água escoa na direção da maior declividade
- Portanto, as linhas de escoamento são ortogonais às curvas de nível



# Delimitação da bacia

- ▶ Localizar na carta planialtimétrica a seção de saída
- ▶ Salientar a rede fluvial
- ▶ Destacar pontos altos cotados
- ▶ Começar a traçar a linha do divisor de águas a partir da seção de saída, seguindo pela linha de maior declive (cruza as curvas de nível perpendicularmente) até atingir o ponto alto mais próximo e assim sucessivamente



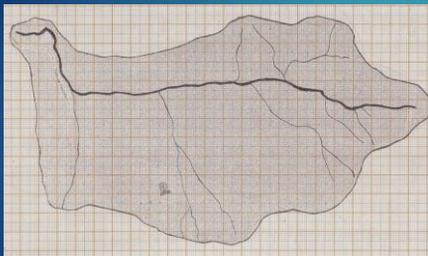
# Classificação dos cursos d'água

- ▶ Perenes → contém água durante todo o tempo
- ▶ Temporário:
  - ▶ Intermitentes → normalmente escoam durante as estações de chuva
  - ▶ Efêmeros → existem apenas nas estações chuvosas, o lençol freático NUNCA corta a calha do rio → alimentado exclusivamente pelo escoamento superficial



# Área de Drenagem

- ▶ É a área plana definida pela projeção horizontal do divisor de águas



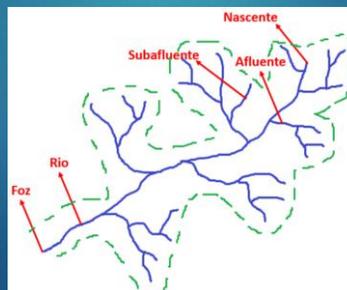
## Perímetro da Bacia

- Medida da extensão da bacia hidrográfica, determinada percorrendo o divisor de águas



## Comprimento do rio principal - L

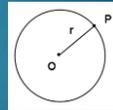
- É um indicador da característica da bacia e indiretamente da área. Para cada bacia existe um rio principal, que pode ser definido como aquele que drena a maior área no interior da bacia.
- Determina-se o "curso d'água principal" agregando-se de jusante para a montante, a cada confluência, o trecho com maior área de drenagem a montante. (Conceito aplicado para Divisão Hidrográfica por Ottocodificação)



# Coeficiente de compacidade – $k_c$

- ▶ “AVALIAR A FORMA DA BACIA”
- ▶ Relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de igual área
- ▶ Quanto mais circular, maior susceptibilidade à enchentes

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

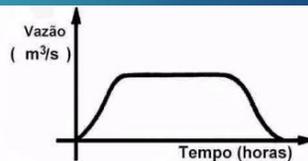
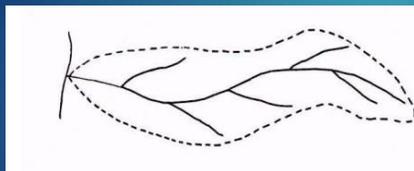
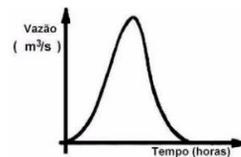
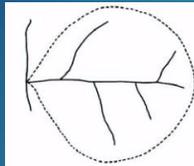


- ▶ Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular.

Índice de circularidade –  $I_c$   
Fator de forma –  $k_f$  (Horton, 1932)

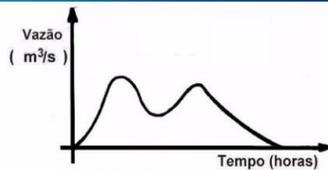
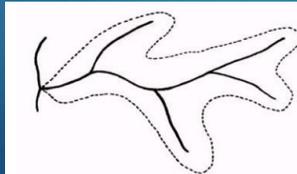
# Forma da Bacia

Bacia Arredondada



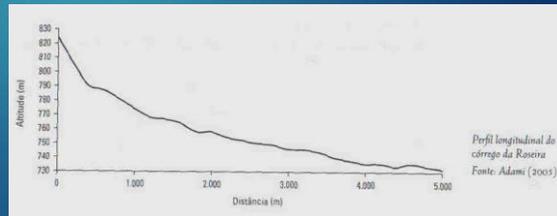
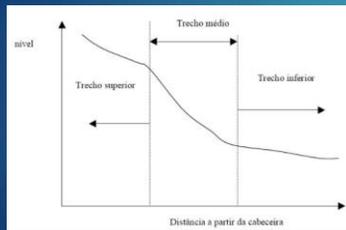
Bacia Elíptica

Bacia Ramificada



# Declividade do curso d'água

- ▶ O perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso d'água. Em geral as declividades são maiores mais próximos as nascentes.

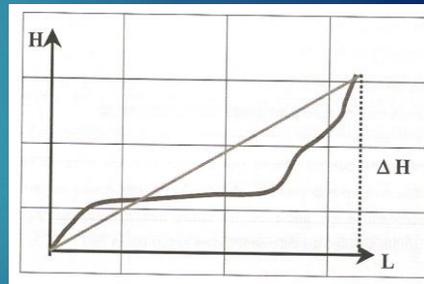


# Declividade do curso d'água

## Formas de medir a declividade do curso de água

### Tipo S1 (declividade simples ou baseada nos extremos)

$$S_1 = \frac{\Delta H}{L}$$



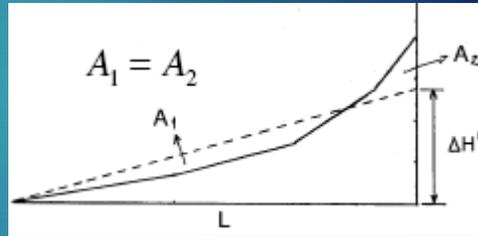
ΔH: variação da cota entre 02 pontos extremos

L: comprimento em planta do rio

# Declividade do curso d'água

## Tipo S2 (declividade racional ou ponderada)

$$S_2 = \frac{\Delta H'}{L} = \frac{2xA_{bp}}{L^2}$$



$A_{bp}$ : área abaixo do perfil

L: comprimento em planta do rio

# Declividade do curso d'água

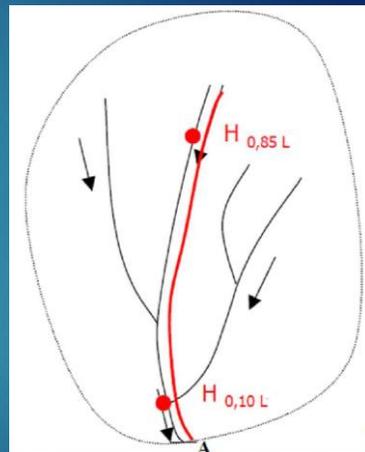
## Tipo S<sub>10-85</sub>

$$S_{10-85} = \frac{H_{0,85L} - H_{0,10L}}{0,75L}$$

L: comprimento em planta do rio

$H_{0,85L}$ : cota de fundo na seção a 85% distante da foz

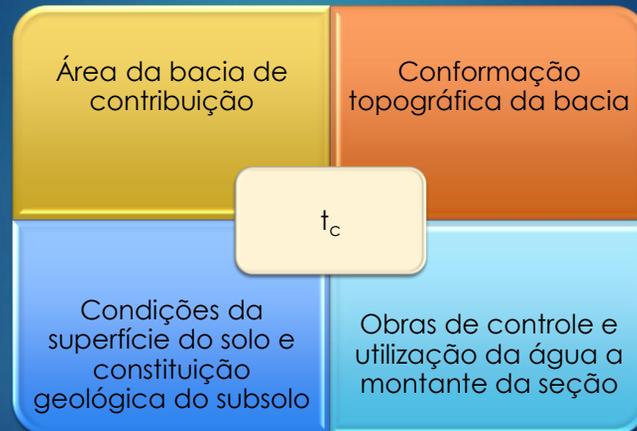
$H_{0,10L}$ : cota de fundo na seção a 10% distante da foz



**O método desconta as tendenciosidades das partes extremas (inicial e final) do perfil longitudinal de um rio**

# Tempo de concentração

- ▶ É o tempo medido do início da precipitação, a partir do qual toda a área da bacia contribui para o escoamento na seção



- ▶ É o tempo de viagem da gota de água de chuva que atinge a região mais remota da bacia, desde o início de seu escoamento, até o momento que atinge o exutório

# Tempo de concentração

- ▶ Diversas equações são apresentadas na literatura, e podem ser utilizadas para o cálculo
- ▶ Equação do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA

$$t_c = 11,46 \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}}$$

$t_c$  = tempo de concentração (min)

$L$  = comprimento do curso d'água principal (km)

$S$  = declividade do curso d'água principal

Bons resultados para bacias rurais

# Tempo de concentração

## ► Equação de Watt e Chow

$$t_c = 7,68 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79}$$

$t_c$  = tempo de concentração (min)

$L$  = comprimento do curso d'água principal (km)

$S$  = declividade do curso d'água principal

Bons resultados para bacias de até 5840 km<sup>2</sup>

# Tempo de concentração

## ► Fórmula Kirpich (1940)

$$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$$

$t_c$  = tempo de concentração (min)

$L$  = comprimento do curso d'água principal (km)

$S$  = declividade do curso d'água principal

Desenvolvida com dados de 7 pequenas bacias rurais do Tennessee, com declividade de 3 a 10% e área máxima de 0,5 km<sup>2</sup>; Retrata o escoamento em superfícies e canais; Quando  $L > 10$ km,  $t_c$  pode ser subestimada

**ANEXO DO CAPÍTULO 6.**

**Tabela 6.42 – Fórmulas práticas de cálculo do tempo de concentração,  $t_c$ , em minutos**

Fórmula	Tempo de concentração, $t_c$ (min)
<p><b>1. Equação de Kirpich (1933)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em 7 bacias rurais norte-americanas (Tennessee) com declividades fortes e canais bem definidos;</li> <li>L = comprimento do canal, da cabeceira à saída da bacia (km);</li> <li><math>\Delta z</math> = diferença de cotas entre os pontos extremos do mais longo comprimento hidráulico (m)</li> </ul>	$t_c = 57 \left( \frac{L^2}{\Delta z} \right)^{0,385}$
<p><b>2. Equação do SCS – Método do Número de Curva CN</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- desenvolvida pelo Soil Conservation Service (atual <i>Natural Resources Conservation Service</i>) que utiliza o parâmetro CN (<i>curve number</i>)</li> <li>L = comprimento do curso d'água mais extenso (km);</li> <li>S = declividade média da bacia (%);</li> <li>CN = curve number do SCS (Tabelas 6.24, 6.25 e 6.26).</li> </ul>	$t_c = 34,4 \times L^{0,8} \times \frac{(1000 \text{ CN} - 9)^{0,7}}{\sqrt{S}}$
<p><b>3. Equação de Kerby (1959)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em microbacia onde o <i>overland flow</i> era dominante; recomendável a aplicação para comprimentos hidráulicos de até 0,3km.</li> <li>L = comprimento do canal, da cabeceira à saída da bacia (km);</li> <li>S = declividade média do canal (m/m);</li> <li>n = coeficiente de rugosidade de Manning.</li> </ul>	$t_c = 17,8 \left( \frac{n L}{\sqrt{S}} \right)^{0,324}$
<p><b>4. Equação do SCS baseada na área de drenagem (Texas)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em pequenas bacias hidrográficas norte-americanas do estado do Texas.</li> <li>A = área de drenagem (km<sup>2</sup>).</li> </ul>	$t_c = 81,4 \times A^{0,6}$
<p><b>5. Equação do SCS baseada na área de drenagem (Ohio)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em pequenas bacias hidrográficas norte-americanas do estado de Ohio.</li> <li>A = área de drenagem (km<sup>2</sup>).</li> </ul>	$t_c = 30,5 \times A^{0,6}$
<p><b>6. Equação simplificada de Simas (1996)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dados analisados de 116 pequenas bacias agrícolas norte-americanas para obtenção do tempo de retardamento (<math>t_c = t_p/0,6</math>).</li> <li>A = área de drenagem (km<sup>2</sup>).</li> </ul>	$t_c = 17,2 \times A^{0,324}$
<p><b>7. Equação geral de Simas (1996)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- equação com melhor coeficiente de correlação.</li> <li>W = largura média da bacia (km);</li> <li>S = declividade da bacia (m/m);</li> <li><math>S_{10} = (1000 \text{ CN}) - 10</math> = coeficiente de armazenamento;</li> <li>CN = curve number do SCS (Tabelas 6.24, 6.25 e 6.26).</li> </ul>	$t_c = 62,4 \times S_{10}^{0,333} \times \frac{W^{0,5977}}{S^{0,3305}}$
<p><b>8. Equação de Sheridan (1994)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em 9 bacias planas dos estados da Geórgia e da Flórida, de áreas de drenagem entre 2,02 e 334,34km<sup>2</sup>.</li> <li>L = comprimento do canal principal (km).</li> </ul>	$t_c = 132 \times L^{0,52}$
<p><b>9. Equação de Falmar &amp; Miller (2008)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos para a obtenção do tempo de retardamento, <math>t_p</math> (<math>t_c = t_p/0,6</math>), baseados em 52 bacias agrícolas de diferentes regiões dos Estados Unidos, de áreas entre 12ha e 53km<sup>2</sup>, aproximadamente.</li> <li>L = comprimento do percurso hidráulico (km).</li> </ul>	$t_c = 64,1 \times L^{0,45}$



**Tabela 6.29 – Fórmulas práticas de cálculo do tempo de concentração,  $t_c$ , em minutos (cont.)**

Fórmula	Tempo de concentração, $t_c$ (min)
<p><b>10. Equação de Papadakis &amp; Kazan (1986)</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em 84 pequenas bacias de diferentes regiões dos Estados Unidos, de áreas inferiores a 500 acres (&lt;2km<sup>2</sup>);</li> <li>L = comprimento do curso d'água principal (km);</li> <li>S = declividade do caminho hidráulico (m/m);</li> <li>n = coeficiente de rugosidade de Manning para o canal;</li> <li>i = intensidade da chuva efetiva crítica (mm/h).</li> </ul>	$t_c = 129,2 \times \frac{n^{0,33} \times \sqrt{L}}{i^{0,33} \times S^{0,33}}$
<p><b>11. Equação do DNOCS</b><sup>10</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- estudos em pequenas bacias hidrográficas norte-americanas do estado do Texas.</li> <li>L = comprimento do percurso hidráulico (km);</li> <li>A = área de drenagem (km<sup>2</sup>);</li> <li>S = declividade do percurso hidráulico (%)</li> <li>K = coeficiente que depende das características do terreno da bacia:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- arenoso-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção: K=2,0</li> <li>- comum, coberto de vegetação, absorção apreciável: K=3,0</li> <li>- argiloso, coberto de vegetação, absorção média: K=4,0</li> <li>- argiloso de vegetação média, pouca absorção: K=4,5</li> <li>- terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção: K=5,0</li> <li>- terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção: K=5,5</li> </ul> </li> </ul>	$t_c = \frac{158,5}{K} \times \frac{L^{0,2} \times A^{0,3}}{S^{0,4}}$

Fontes:  
<sup>10</sup> *Natural Resources Conservation Service (NRCS). National Engineering Handbook. Part 650 Hydrology - Chapter 15 Time of Concentration. United States Department of Agriculture (2000).*  
<sup>11</sup> SILVEIRA, A. L. L. *Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.1 Jan-Mar 2003, 3-23.*

# Referências Bibliográficas

TUCCI, C.E.M. (organizador) – Hidrologia, Ciência e Aplicação, 4ª ed., Editora UFRGS/ABRH, 2015: 943 p.

Teodoro, WLI; Teixeira, D; Costa, DJC; Fuller, BB. 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Págs 137-143

BARBOSA Jr., A.R. – Elementos de Hidrologia Aplicada, Apostila.

COLLISCHONN W. e DORNELLES F. – Hidrologia para engenharia e ciências ambientais, 2ª ed., Editora ABRH, 2015: 336p.



# Próxima Aula

- ▶ Software qGis – versão 2.6.1
  - ▶ 32 bits: <https://qgis.org/downloads/QGIS-OSGeo4W-2.6.1-1-Setup-x86.exe/>
  - ▶ 64 bits: [https://qgis.org/downloads/QGIS-OSGeo4W-2.6.1-1-Setup-x86\\_64.exe](https://qgis.org/downloads/QGIS-OSGeo4W-2.6.1-1-Setup-x86_64.exe)
- ▶ Plugin TauDEM
  - ▶ Versão 5.1.2: <http://bit.ly/1MQGItR>
  - ▶ Passo a passo: <http://processamentodigital.com.br/2015/03/20/instalacao-do-taudem-512-para-delimitacao-de-bacias-no-qgis/>

# Exercício

