

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Conteudista:

Eider Gomes de Azevedo Rocha

Brasília, setembro de 2022.

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Módulo 1

Conceitos Básicos de Hidrologia.

- Clima: conceitos e classificação;
- Hidrologia: conceito e importância;
- Etapas de um estudo hidrológico.

Conforme estabelece O Art. 11 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 03/DNIT SEDE, DE 1º DE ABRIL DE 2022, o servidor que optar por receber a GECC relativa à elaboração de material didático, cede, tacitamente e em caráter irrevogável, a titularidade dos direitos patrimoniais relativos aos materiais produzidos em decorrência dessa percepção. Desta forma, tendo em vista o contido no Processo nº 50600.008060/2022-01, o DNIT poderá revisar o material cedido, adaptá-lo e utilizá-lo livremente em outros eventos que venha a promover, bem como o ceder a outros órgãos e entidades federais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. CLIMA E SUA CLASSIFICAÇÃO	2
3. HIDROLOGIA.....	12
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	13
3.2 PRECIPITAÇÃO.....	15
3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO	18
4. ETAPAS DO ESTUDO HIDROLÓGICO.....	24
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste módulo é apresentar os principais conceitos relacionados à hidrologia, abordando de forma mais particular o ciclo hidrológico e as principais fases de interesse para o desenvolvimento de um estudo voltado à concepção ou projeto de uma rodovia.

Também serão apresentados os principais elementos de projeto necessários à elaboração de um estudo hidrológico e os dados imprescindíveis e que podem ser considerados como pré-requisitos para a elaboração de um projeto de drenagem.

É de fundamental importância que se tenha uma noção clara de que, para o desenvolvimento de um projeto de drenagem, tanto é necessário que o respectivo estudo hidrológico esteja concluído, bem como que seu conteúdo seja o mais consistente possível, de tal modo que o sucesso do projeto em si depende do cuidado e primor que se aplicam durante a elaboração do estudo.

Deve-se ter em mente que o estudo hidrológico deve ser concebido com a finalidade de identificar, quantificar e qualificar as circunstâncias climáticas, pluviométricas e hídricas da área onde se localiza o trecho em estudo, bem como caracterizar as bacias de contribuição interceptadas pelo traçado e calcular as vazões máximas dessas bacias, visando o correto dimensionamento das obras de drenagem.

Como fontes principais de consulta, além do conteúdo apresentado neste material, sugere-se que o aluno leia o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (BRASIL, 2005) e outros livros sobre o tema, com destaque para:

- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Rio Grande do Sul, 4 ed., UFRGS, 2012;

- GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. São Paulo, 2 ed., Blucher, 2016;
- VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**, São Paulo, 1 ed., Mcgraw Hill do Brasil, 1975.

2. CLIMA E SUA CLASSIFICAÇÃO

Pode-se entender por clima o conjunto de fenômenos associados às variações do tempo da atmosfera terrestre em determinado local. Por se tratar de um elemento da atmosfera, ele está em constante interação com os elementos e fenômenos que ocorrem em camadas como a hidrosfera e a biosfera, tanto alterando como sendo alterado por diversos componentes.

O clima é influenciado por diferentes fatores e elementos climáticos, que contribuem para uma grande diversificação climática. Assim, dependendo da região do mundo e dos fatores que a influenciam, a atmosfera terá características totalmente diferentes.

Atualmente, existem diferentes classificações climáticas que definem o clima de acordo com os seus principais elementos, dentre os quais destacamos: radiação, temperatura, pressão atmosférica e umidade. Uma das classificações mais utilizadas é a do geógrafo alemão Wladimir Petter Koppen, proposta em 1900 e aperfeiçoada por outros geógrafos a partir de então.

De acordo com a classificação de Koppen, o planeta possui vários tipos e subtipos de clima, a saber:

- **Clima equatorial:** está presente nas zonas tropicais (Amazônia, África e Indonésia), próximas à linha do Equador. Apresenta temperaturas elevadas, com médias anuais em torno de 25° C, pequena amplitude térmica e muita umidade, com médias pluviométricas superiores a 2.000 milímetros por ano.

- **Clima tropical:** ocorre na maior parte das regiões localizadas entre os trópicos de Capricórnio e de Câncer. Apresenta elevadas temperaturas, com médias anuais em torno de 20 °C e duas estações bem definidas: uma quente e úmida (verão) e outra mais fria e seca (inverno). As médias de pluviosidade variam entre 1.000 mm e 2.000 mm por ano e dependem da região em que se encontram. Em virtude dessa variação de umidade, o clima tropical pode ser dividido em clima tropical úmido ou litorâneo e clima tropical continental ou clima tropical típico.

- **Clima temperado:** está presente em áreas de médias altitudes, correspondendo ao único tipo de clima que possui as quatro estações bem definidas. Possui temperaturas mais amenas, com médias anuais que variam em torno de 8 °C e 15 °C, e umidade que varia de acordo com a sua localização (quanto mais próximo ao litoral, mais úmido). Esse tipo de clima é dividido em clima temperado oceânico e clima temperado continental.

- **Clima subtropical:** está presente em áreas de transição entre o clima tropical e o clima temperado. Apresenta temperaturas mais amenas e grande amplitude térmica anual, com temperaturas negativas no inverno e acima dos 30 °C no verão. As estações do ano, apesar de não serem tão bem definidas como as do clima temperado, já começam a se delinear. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e apresentam maior ocorrência durante o verão.

- **Clima mediterrâneo:** ocorre, principalmente, nas regiões próximas ao Mar Mediterrâneo. Apresenta duas estações bem definidas, sendo uma o verão (quente e seco) e a outra o inverno (chuvoso e menos quente). As médias de temperatura assemelham-se muito às do clima tropical, mas a quantidade de chuvas é ligeiramente menor no clima mediterrâneo.

- **Clima frio ou subpolar:** está presente nas regiões temperadas mais próximas aos polos e apresenta duas estações bem definidas. Um verão fresco,

com temperaturas em torno de 10 °C, e inverno bastante rigoroso, com temperaturas negativas. O índice pluviométrico varia entre 100 mm e 1000 mm, sendo comum a precipitação em forma de flocos de neve durante o inverno.

- **Clima frio de montanha:** este tipo de clima corre em regiões com grandes cadeias de montanhas, como os Andes, o Himalaia, as Montanhas Rochosas e os Alpes. Caracteriza-se pelas baixas altitudes, com uma grande variação de temperatura conforme a altitude (quanto maior a altitude, menor a temperatura) e a presença de neves que nunca derretem.

- **Clima polar ou glacial:** está presente nas zonas polares ou em latitudes muito elevadas, próximas aos polos norte e sul. Apresenta temperaturas baixas durante o ano todo, com médias anuais próximas a -30 °C, uma grande variação na duração do dia e da noite e baixa umidade, com um índice pluviométrico de menos de 200 mm anuais.

- **Clima desértico:** tipo de clima presente tanto em regiões temperadas quanto em regiões tropicais (norte da África, Oriente Médio, oeste dos Estados Unidos, norte do México, litoral do Chile e do Peru, Austrália e noroeste da Índia) e regiões de depressões. Apresenta uma grande amplitude térmica durante o dia (com temperaturas próximas aos 50 °C durante o dia e temperaturas negativas durante a noite), baixa umidade, chuvas escassas e irregulares e índices pluviométricos inferiores a 250 mm por ano.

- **Clima semiárido:** localiza-se nas bordas dos desertos da América do Norte, América do Sul, Austrália, África e na região Nordeste do Brasil, que, embora não esteja próxima a um deserto, também possui esse tipo de clima em virtude da baixa umidade existente na região. O semiárido caracteriza-se pela presença de altas temperaturas, com médias anuais em torno de 27 °C, baixa umidade, chuvas escassas e irregulares, e médias pluviométricas que variam em torno de 300 mm a 800 mm por ano.

Na classificação proposta por Köppen, considera-se que a vegetação natural de cada grande região do planeta é essencialmente uma expressão do clima nela presente. Assim, as fronteiras entre regiões climáticas foram selecionadas para corresponder, tanto quanto possível, às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual a distribuição global dos tipos climáticos e dos biomas apresenta elevada correlação.

Na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger, são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação. Cada grande grupo climático é denotado por um código, constituído por letra maiúsculas e minúsculas, cuja combinação revela os tipos e subtipos considerados. Para fins de ilustração, apresenta-se o mapa mundial com a classificação climática de Köppen-Geiger na figura 2.1 e o mapa brasileiro com a mesma classificação na figura 2.2.

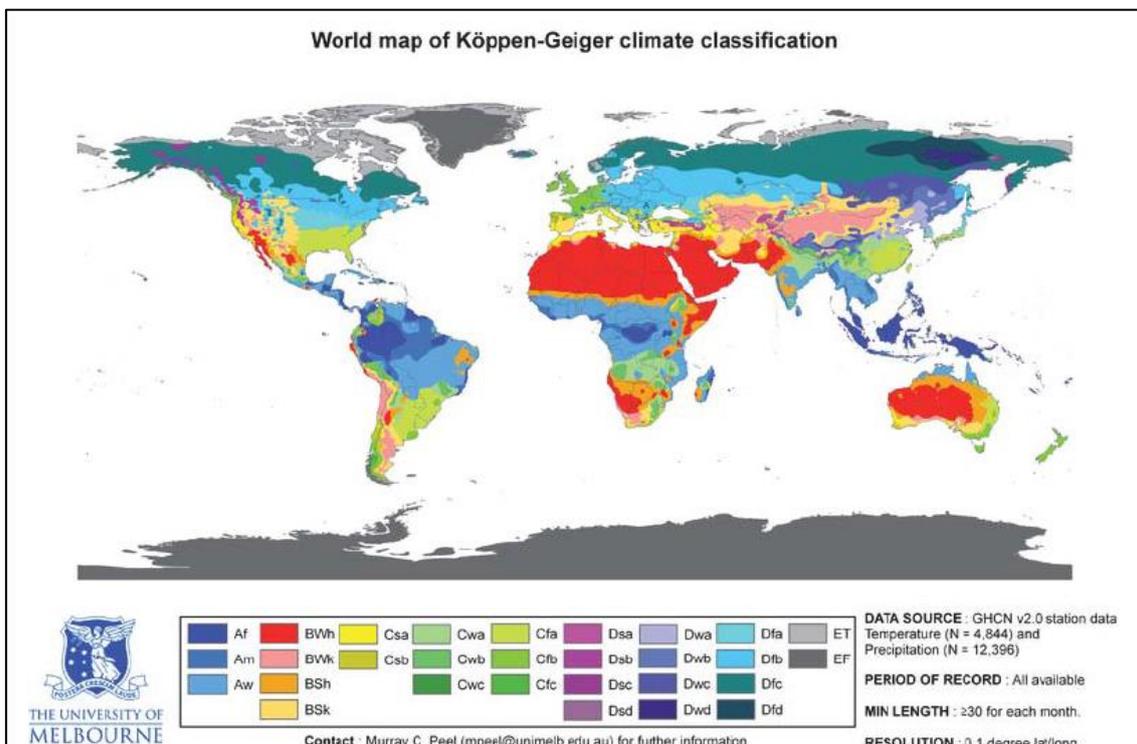


Figura 2.1 – Mapa com a classificação climática de Köppen-Geiger para o mundo.

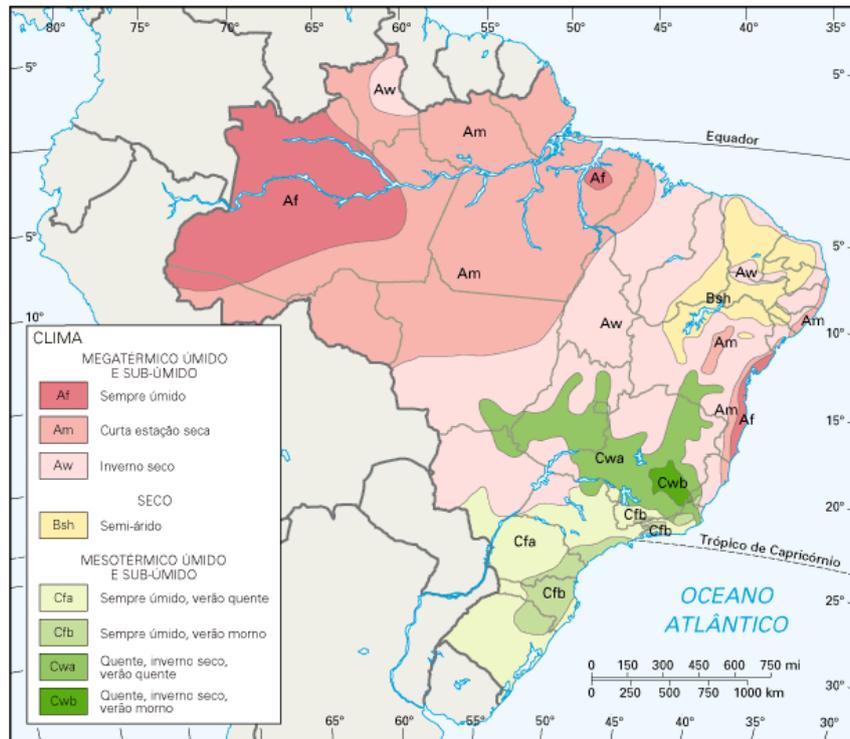


Figura 2.2 – Mapa com a classificação climática de Koppen-Geiger para o Brasil. (Fonte: <https://www.infoescola.com/geografia/classificacao-climatica-de-koppen-geiger/>).

Deve-se revelar, no entanto, que a classificação climática proposta por estes autores não avaliam as diferenças existentes dentro de certos biomas, razão pela qual pode-se sugerir outras classificações para análises de áreas onde ocorre muita heterogeneidade.

Para entender melhor esta classificação será apresentada a estrutura geral utilizada para fins de divisão do clima em grupos e subgrupos.

Koppen e Geiger dividiram o clima em 5 grandes grupos (A, B, C, D e E) e depois em diversos tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto variável de letras (com 2 ou 3 caracteres), seguindo a notação apresentada na sequência:

- 1ª letra: uma maiúscula (A, B, C, D ou E) que denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático. Em linhas gerais, os climas mundiais se graduam de “A” a “E”, partindo do Equador em direção aos polos.

- 2ª letra: uma minúscula, que estabelece o tipo de clima dentro do grupo e denota as particularidades do regime pluviométrico, ou seja, a quantidade e distribuição da precipitação. Nos grupos cuja primeira letra seja “B” ou “E”, a segunda letra será também maiúscula e representará a quantidade de precipitação total anual (no caso, “B”) ou a temperatura média anual do ar (no caso, “E”).

- 3ª letra: minúscula, denotando a temperatura média mensal do ar nos meses mais quentes (nos casos em que a primeira letra seja “C” ou “D”) ou a temperatura média anual do ar (no caso da primeira letra ser “B”).

Para uma melhor compreensão apresenta-se a figura 2.3, contendo um resumo sinóptico da classificação.

Classificação climática de Köppen-Geiger										
		Temperatura do ar			Precipitação					
		T	F	M	S	W	f	m	w	s
A	Tropical	-	-	-	-	-	Equatorial <i>Af</i>	Monções <i>Am</i>	Savana, chuva de Verão <i>Aw</i>	Savana, chuva de Inverno <i>As</i>
B	Árido	-	-	-	Estepário <i>BS</i>	Desértico <i>BW</i>	-	-	-	-
C	Temperado	-	-	-	-	-	Subtropical <i>Cfa, Cfb</i> , Oceânico <i>Cfb</i>	-	Pampeano <i>Cwa, Cwb</i>	Mediterrânico <i>Csa, Csb</i>
D	Continental	-	-	-	-	-	Continental <i>Dfa, Dfb</i> , Subártico <i>Dfc, Dfd</i>	-	Manchuriano <i>Dwa, Dwb</i>	-
E	Glacial	Tundra <i>ET</i>	Polar <i>EF</i>	Alpino <i>EM</i>	-	-	-	-	-	-

Figura 2.3 – Resumo sinóptico da classificação de Köppen-Geiger.

Assim, os tipos e subtipos de climas propostos nessa metodologia ficam estruturados da seguinte forma:

- A – Clima tropical (climas megatérmicos das regiões tropicais e subtropicais)
 - ✓ Af = clima tropical úmido ou clima equatorial;
 - ✓ Am = clima de monção;
 - ✓ Aw = clima tropical com estação seca de inverno;

- ✓ As = clima tropical com estação seca de verão.

- B – Clima árido (climas das regiões áridas e dos desertos das regiões subtropicais e de média latitude)
 - ✓ BS = clima das estepes;
 - BSh = clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude;
 - BSk = clima das estepes frias de média latitude e grande altitude.

 - ✓ BW = clima desértico;
 - BWh = clima das regiões desérticas quentes de baixa latitude e altitude;
 - BWk = clima das regiões desérticas frias das latitudes médias ou de grande altitude.

- C – Clima oceânico (climas das regiões oceânicas e marítimas e das regiões costeiras ocidentais dos continentes)
 - ✓ Cf = clima temperado úmido sem estação seca;
 - Cfa = clima temperado úmido com verão quente;
 - Cfb = clima temperado úmido com verão temperado;
 - Cfc = clima temperado úmido com verão curto e fresco.

 - ✓ Cw = clima temperado úmido com inverno seco;
 - Cwa = clima temperado úmido com inverno seco e verão quente;
 - Cwb = clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado;

- Cwc = clima temperado úmido com inverno seco e verão curto e fresco.

- ✓ Cs = clima temperado úmido com verão seco (clima mediterrâneo);
 - Csa = clima temperado úmido com verão seco e quente;
 - Csb = clima temperado úmido com verão seco e temperado;
 - Csc = clima temperado úmido com verão seco, curto e fresco.

- D – Clima continental ou temperado frio (climas das grandes regiões continentais médias e alta altitude)
 - ✓ Df = clima temperado frio sem estação seca;
 - Dfa = clima temperado frio sem estação seca e com verão quente;
 - Dfb = clima temperado frio sem estação seca e com verão temperado;
 - Dfc = clima temperado frio sem estação seca e com verão curto e fresco;
 - Dfd = clima temperado frio sem estação seca e com inverno muito frio.

 - ✓ Dw = clima temperado frio com inverno seca;
 - Dwa = clima temperado frio com inverno seco e com verão quente;
 - Dwb = clima temperado frio com inverno seco e com verão temperado;
 - Dwc = clima temperado frio com inverno seco e com verão curto e fresco;

- Dwd = clima temperado frio com inverno seco e muito frio.

- E – Clima glacial (climas das regiões circumpolares e das altas montanhas)
 - ✓ ET = clima de trunda;
 - ✓ EF = clima das calotas polares;
 - ✓ EM = clima das altas montanhas.

Restringindo-se à análise do clima para o Brasil, pode-se destacar os seguintes tipos:

- Clima equatorial úmido: é o tipo climático que envolve praticamente toda a faixa da Amazônia localizada no Brasil, sendo basicamente controlado pela massa de ar Equatorial Continental.

Em função da grande quantidade de umidade emitida pela floresta amazônica através do processo de evapotranspiração, as amplitudes térmicas são baixas, haja vista que a maior presença de água no ar ajuda a conservar as temperaturas, com as médias térmicas mensais ao longo do ano variando entre 24 °C e 27 °C. As chuvas são constantes, do tipo de convecção, pois o ar úmido e quente eleva-se e condensa-se diante das temperaturas menores das áreas mais elevadas da atmosfera. As médias pluviométricas permanecem com valores elevados, entre 1500 mm e 2500 mm por ano.

- Clima tropical seco e úmido: ocupa a maior área do país, envolvendo quase toda a região Centro-Oeste, o Centro-Sul do Tocantins, algumas faixas da região Nordeste e também partes do Sudeste brasileiro. É conhecido por apresentar duas estações bem definidas ao longo do ano: um quente e chuvosa e outra fria e seca.

As temperaturas médias variam entre 20 °C e 28 °C, com um índice pluviométrico em torno de 1500 mm por ano.

- **Clima tropical seco:** concentra-se em uma estreita área da região Nordeste do país, mais precisamente no sertão nordestino. Como o próprio nome indica, trata-se de um tipo climático quente e seco, quase árido (por isso a nomenclatura “semiárido”), com médias pluviométricas anuais não maiores do que 1000 mm, concentradas em poucos meses do ano.
- **Clima litorâneo úmido:** está presente ao longo do litoral brasileiro, entre os estados do Rio Grande do Norte e São Paulo. Nessa região há formas de relevo que barram a umidade dos ventos que circulam nos sentidos leste-oeste e norte-sul, provocando a ocorrência de chuvas orográficas e propiciando que o interior do país receba menos umidade ao longo do ano. As médias de pluviosidade variam entre 1500 mm e 2000 mm por ano.
- **Clima subtropical úmido:** abrange a porção sul do país, com um clima úmido e mais frio do que os demais. A massa de ar predominante é a Tropical Atlântica, com influência de massas polares durante o inverno, de modo que o encontro dessa frente polar com frentes quentes provoca as chamadas chuvas frontais. O índice médio de pluviosidade anual gira em torno de 1500 mm e as temperaturas médias variam entre 18 °C e 22 °C.

Alternativamente pode-se visualizar o mapa temático de clima do Brasil elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

TOME NOTA

MAPA TEMÁTICO DE CLIMA DO BRASIL, disponível em

http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf

3. HIDROLOGIA

Segundo Meyer (1948), a Hidrologia é a ciência natural que trata dos fenômenos relativos à água em todos os seus estados, da 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 hidrologia também pode ser conceituada como a ciência que estuda a água nos estados sólido, líquido e gasoso, bem como de sua ocorrência, distribuição e circulação na natureza.

Sua importância é facilmente compreensível quando se considera o papel e a importância da água na vida humana, de tal maneira que seu conhecimento é imprescindível a profissionais das mais variadas áreas de formação, com destaque para o engenheiro, o agrônomo, o ecologista, o geógrafo e o geofísico.

A correlação entre o progresso e o grau de utilização dos recursos hídricos evidencia também o importante papel da hidrologia na complementação dos conhecimentos necessários ao seu melhor aproveitamento. Isso parece ser ainda mais evidente quando se constata que, enquanto algumas regiões do Brasil sofrem com alagamentos, inundações e rupturas de encostas naturais em consequência de intensas e frequentes precipitações, em outras regiões ocorrem secas de nascentes, falta de água para agropecuária ou para o suprimento das necessidades humanas.

Ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o inadequado domínio do homem sobre as leis naturais que regem aqueles fenômenos e a necessidade de se aprofundar o seu conhecimento.

Apesar da abrangência do estudo desta ciência, nos interessa saber mais sobre o ciclo hidrológico e suas fases, o que será abordado na sequência.

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

Entende-se como ciclo hidrológico a circulação contínua da água na atmosfera, nos estados sólido, líquido e gasoso. Esse movimento é mantido pela gravidade, pela energia solar, pelo efeito do vento e pelo próprio potencial de retenção de água do solo.

Quando a água da chuva atinge a superfície terrestre, parte dessa água é infiltrada, parte escorre sobre a superfície para áreas mais baixas e, ainda, pode acumular-se em rios, lagos ou oceanos e evaporar-se.

As raízes das plantas absorvem parte da água infiltrada no solo e a devolvem à atmosfera por meio da transpiração.

Após a evaporação e a transpiração, processo intitulado evapotranspiração, as gotículas de água se condensam e formam as nuvens. Quando essas microgotículas se unem e se tornam maiores e mais pesadas, caem em forma de chuva, neve ou gelo, reiniciando o ciclo hidrológico, conforme pode-se ver na figura 3.1.



Figura 3.1 – Fases do ciclo hidrológico (Fonte: Cartilha Infiltração, UnB, 2010).

Num ciclo hidrológico existe, portanto, um evento cíclico formado por evaporação, condensação, precipitação e escoamento. Dentre estes, pode-se dizer que as duas últimas são as fases de maior interesse para o estudo hidrológico voltado às obras de infraestrutura.

Por questões didáticas, o ciclo hidrológico será tratado aqui por meio das seguintes etapas:

- Precipitações atmosféricas;
- Escoamento superficial; e
- Escoamento subterrâneo.

Da água que precipita sobre a superfície da Terra, parte esco superficialmente e parte se infiltra. A água infiltrada no solo chama-se água subterrânea e pode ser encontrada relativamente livre ou aderida à superfície dos minerais.

Fatores naturais, como clima, porosidade do solo, geomorfologia, cobertura vegetal, e fatores antrópicos, como desmatamento, impermeabilização da superfície do terreno causada pelo processo de urbanização ou construção de edificações, são fatores determinantes na taxa de infiltração do solo.

Fatores climáticos, como temperatura, forma de precipitação (chuva e neve), intensidade e distribuição pluviométrica, interferem diretamente na relação entre o volume de água infiltrado e o que se esco superficialmente.

Logo, a interferência do homem por meio de desmatamentos e impermeabilizações urbanas e rurais terminam por comprometer a capacidade de infiltração.

A água que não se infiltra nem evapora esco superficialmente, causando o aparecimento de erosões, alagamentos e inundações ou sobrecarregando o sistema de drenagem de águas pluviais.

3.2 PRECIPITAÇÃO

De acordo com a enciclopédia livre, em meteorologia, precipitação corresponde a qualquer tipo de fenômeno relacionado à queda de água do céu. Isso inclui neve, chuva e chuva de granizo.

A precipitação é uma parte importante do ciclo hidrológico, sendo responsável por retornar a maior parte da água doce ao planeta, sendo assim a principal fonte de abastecimento dos sistemas hídricos.

A variabilidade temporal e espacial da precipitação influencia o comportamento da disponibilidade hídrica de uma bacia, constituindo como um importante fator nos processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga dos aquíferos, sendo a base da vazão dos cursos de água, entre outros.

As precipitações pluviométricas podem ser classificadas em três tipos:

- **Chuva convectiva:** origina-se de nuvens formadas mediante convecção livre, em que ocorre resfriamento adiabático, formando-se nuvens de grande desenvolvimento vertical, ou seja, quando o ar úmido se aquece na vizinhança do solo, propiciando a formação de camadas de ar ao perder o equilíbrio, ocorre uma brusca ascensão local do ar menos denso que atinge o estado de condensação formando nuvens, e muitas vezes, precipitações, conforme mostrado na figura 3.2.

As chuvas convectivas são características das regiões equatoriais, local de ventos fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, mas também podem ocorrer em regiões temperadas por ocasião do verão (tempestades violentas). No Brasil, essas chuvas ocorrem mais nas regiões tropicais.

Normalmente são chuvas de grande intensidade e de pequena duração, restritas a áreas pequenas e que podem provocar importantes inundações em pequenas bacias.

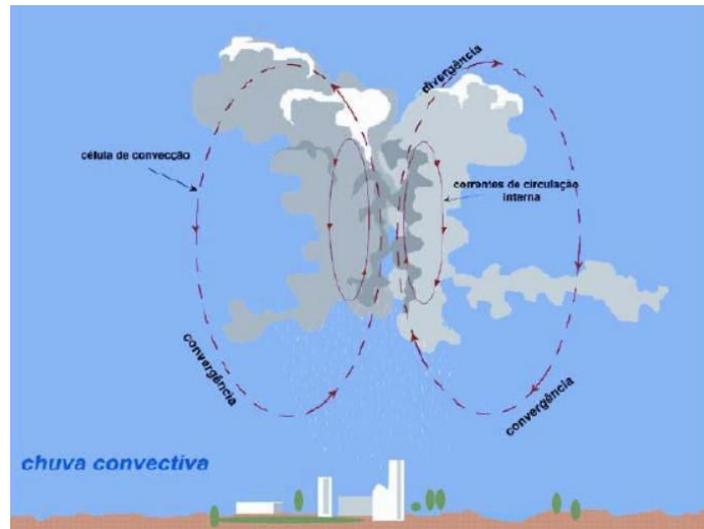


Figura 3.2 – Representação esquemática de uma chuva convectiva.

- **Chuva ciclônica ou frontal:** origina-se a partir do encontro de massas de ar com diferentes características de temperatura e umidade. A massa que avança sobre a outra, faz que ocorra a “convecção forçada”, com a massa de ar quente e úmida se sobrepondo à massa fria e seca. Nas regiões de convergência na atmosfera, o ar quente e úmido é impetuosamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas, conforme pode-se visualizar na figura 3.3.

Estes tipos de chuva normalmente têm grande duração e abrangência, atingindo grandes áreas com intensidade média. Elas podem vir acompanhadas por ventos fortes com circulação ciclônica, além de produzir cheia em grandes bacias. No Brasil, essas chuvas são frequentes na região Sul.

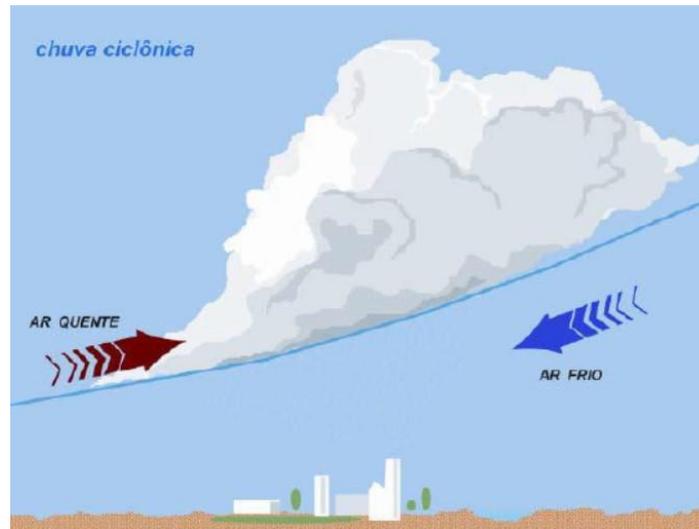


Figura 3.3 – Representação esquemática de uma chuva ciclônica.

- **Chuva orográfica ou de relevo:** ocorre em regiões com barreiras orográficas naturais, ou seja, em regiões com grandes variações de altitude (serra e montanhas), que forçam o ar quente e úmido a elevar-se, provocando convecção forçada, que resulta no resfriamento adiabático e conseqüentemente em chuva em face de barlavento. Suas principais características são a grande intensidade e em períodos intermitentes, abrangendo pequenas áreas. No Brasil, ocorrem frequentemente na Serra do Mar, conforme mostra a figura 3.4.



Figura 3.4 – Representação esquemática de uma chuva orográfica.

Já com relação ao parâmetro intensidade, as chuvas podem ser classificadas, de acordo com a Organização Mundial de Metrologia em:

- Chuva fraca: menos de 2,5 mm/h;
- Chuva moderada: de 2,5 mm/h a 10 mm/h;
- Chuva forte: de 10 mm/h a 50 mm/h;
- Chuva muito forte/extrema: a partir de 50 mm/h.

3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO

Os escoamentos são em geral definidos em: superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais; subsuperficial, que alguns autores definem como o fluxo que se dá junto às raízes da cobertura vegetal e; subterrâneo, que é o fluxo devido à contribuição do aquífero.

Em geral, os escoamentos superficial e subterrâneo correspondem a maior parte do total, ficando o escoamento subsuperficial contabilizado no superficial ou no subterrâneo.

Mesmo sabendo que o escoamento é uma das fases do ciclo hidrológico, quando esta é analisada em separado, podem ser distinguidas três etapas ou fases:

- Fase 01: após um período de estiagem, a vegetação e o solo estão com pouca umidade e os cursos d'água existentes estão sendo alimentados pelo lençol d'água subterrâneo que mantém a vazão de base dos mesmos. Quando uma nova precipitação se inicia, boa parte da água é interceptada pela vegetação e a chuva que chega ao chão se infiltra no solo. Exceto pela parcela de chuva que cai diretamente sobre o curso d'água, não existe nenhuma contribuição para o escoamento nesta fase e parte da água retida pela vegetação é evaporada, como pode-se notar na figura 3.5.

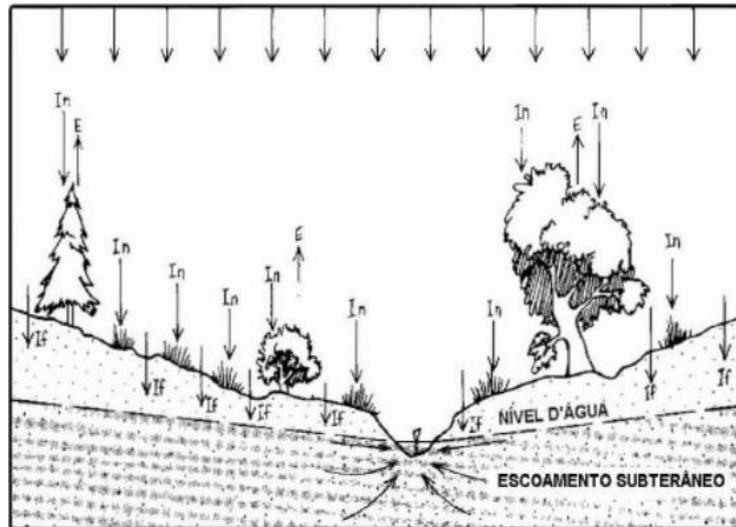


Figura 3.5 – Esquema representativo do escoamento superficial na etapa 01. (Fonte: UFBA – Departamento de Hidráulica e Saneamento).

- Fase 02: Com a continuidade da precipitação, a capacidade de retenção da vegetação é esgotada e a água cai sobre o solo. Se a precipitação persistir, a capacidade de infiltração do solo pode ser excedida e a água começa a se acumular em depressões rasas, que em seguida se unem formando um filme de água sobre o solo, começando, então, a mover-se como escoamento superficial na direção dos pontos mais baixos do terreno. A água infiltrada no solo também começa a percolar na direção dos aquíferos subterrâneos. Se a chuva continuar persistindo, o escoamento superficial ocorrerá de forma contínua para os talwegues e cursos d'água.

Com isso, o nível do lençol freático poderá subir, fornecendo uma contribuição extra de água subterrânea ao escoamento. Na maioria dos casos, a contribuição das águas subterrâneas para o escoamento superficial, devido à recarga pela chuva, ocorre quando a precipitação já cessou, devido à baixa velocidade do escoamento subterrâneo, conforme mostra a figura 3.6.

- Fase 03: Quando a precipitação para, o escoamento superficial rapidamente cessa, embora a evaporação e a infiltração continuem a retirar água da vegetação e de poças na superfície do solo.

O nível do rio está agora mais alto do que no início da precipitação. A água que se infiltrou nas margens do rio é lentamente liberada à medida em que o nível do rio baixa até o nível em que permanece nos períodos secos, conforme pode-se notar na figura 3.7.

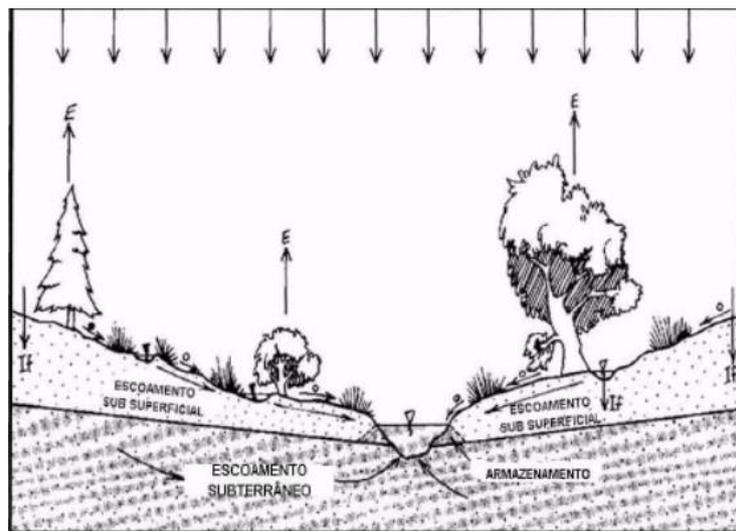


Figura 3.6 – Esquema representativo do escoamento superficial na etapa 02. (Fonte: UFBA – Departamento de Hidráulica e Saneamento).

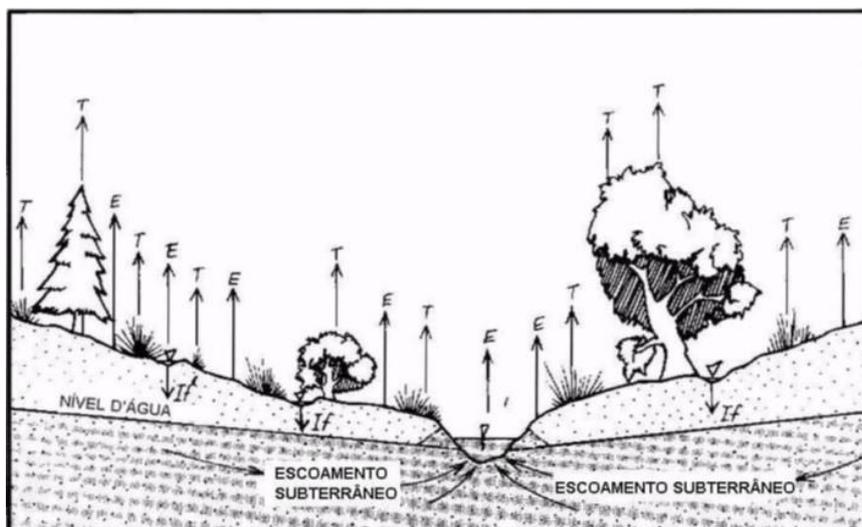


Figura 3.7 – Esquema representativo do escoamento superficial na etapa 03. (Fonte: UFBA – Departamento de Hidráulica e Saneamento).

Das fases do ciclo hidrológico relacionadas no capítulo anterior, talvez a mais importante para o engenheiro seja, de fato, a do escoamento superficial, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

A quantidade de água precipitada que escoar pela superfície é influenciada tanto por fatores de natureza climática como por fatores de natureza fisiográfica.

Dentre os fatores climáticos destacam-se a intensidade e a duração da precipitação. Quanto maior for a intensidade da chuva, mais rápido o solo atingirá a sua capacidade de infiltração, provocando um excesso que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração.

Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento.

Dentre os fatores fisiográficos, os mais importantes são: o tamanho, a forma, o relevo, a permeabilidade e a capacidade de infiltração do solo, além da topografia e da cobertura vegetal da área de contribuição, também conhecida como bacia de contribuição.

A influência da área é clara, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar. De modo geral, desconsiderando a interferência dos demais fatores, quanto maior for a área de uma bacia de contribuição, maior será a descarga produzida.

A forma e o relevo da bacia também produzirão interferências nas descargas produzidas, a ponto de bacias com mesmas áreas, mas com formatos e relevos

distintos, poderem produzir não só descargas com diferentes comportamentos, mais também com picos distintos, mas isto será visto em maiores detalhes no módulo 3.

O tipo de revestimento ou o tipo de cobertura vegetal também interfere sobremaneira no volume de descarga produzido em uma bacia de contribuição. Quanto mais densa for a cobertura vegetal de uma bacia, por exemplo, maior o retardamento produzido no escoamento superficial e maiores as perdas por evapotranspiração. Já nas bacias mais próximas de área urbanas, onde costumam ocorrer antropização e impermeabilização das áreas, tem-se o aumento das vazões geradas.

Já a permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração. Quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação. Por outro lado, quanto menos permeável ele for, menor será a infiltração e maior a parcela que escoará superficialmente. Valores referenciais de permeabilidade podem ser consultadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores típicos de permeabilidade de solos.

Permeabilidade		Tipo de solo	K (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	10^{-3} a 10^{-5}
Solos impermeáveis	Baixa	Siltes e Argilas	10^{-5} a 10^{-7}
	Muito baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

(Fonte: PINTO, 2006)

Outros fatores importantes são as obras hidráulicas construídas nas bacias, tal como uma barragem que, acumulando a água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação.

A influência destes fatores, principalmente os fisiográficos, sobre as descargas de contribuição das bacias serão melhor percebidos quando forem abordados os assuntos sobre tempo de concentração e coeficientes de escoamento

superficial. Embora estes assuntos só estejam contemplados nos módulos futuros, eles serão calculados ou coletados em tabelas a partir de alguns parâmetros de entrada, quer seja o tipo de solo, ou o tipo de cobertura vegetal, que correspondem justamente ao que está sendo tratado neste capítulo.

Deste modo, a fim de permitir a consulta por parte dos alunos, são disponibilizados links para acesso a alguns mapas temáticos de solo, relevo e vegetação do Brasil, que auxiliarão nas escolhas de alguns parâmetros necessários aos cálculos das descargas das bacias.

MAPA TEMÁTICO DE SOLO

(https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf)

MAPA TEMÁTICO DE RELEVO

(https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/brasil/relevo_2006.pdf)

MAPA TEMÁTICO DE VEGETAÇÃO

(https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf)

4. ETAPAS DO ESTUDO HIDROLÓGICO

Embora não se tenha adquirido, até aqui, todos os conhecimentos necessários à elaboração dos estudos hidrológicos voltados para um projeto rodoviário, é importante saber, previamente, quais são estes dados e como eles deverão ser tratados.

Assim, na parte final deste primeiro módulo, serão relacionados os requisitos mínimos exigidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT para a concepção do referido estudo e as formas de apresentação.

Para tal, é necessário consultar a instrução de serviço – IS 203, constante das Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/ Instruções de Serviço (BRASIL, 2006), que rege o tema em questão.

De acordo com tal instrução, é necessário identificar, preliminarmente, em qual fase se encontra o projeto: fase preliminar, ou fase definitiva. Posteriormente, deve-se verificar quais dados devem constar do estudo a ser entregue.

Assim, na fase preliminar, o estudo hidrológico deverá contemplar os seguintes objetivos:

- Coleta de dados hidrológicos;
- Definição das bacias de contribuição.

Dentre os principais dados acerca da hidrologia e das áreas de contribuição esperados nesta fase, destacam-se:

- Coleta de dados hidrológicos junto aos órgãos oficiais, estudos existentes, que permitam a caracterização climática, pluviométrica, fluviométrica e geomorfológica da região, e mais especificamente, da área em que se localiza o trecho em estudo;

- Coleta de elementos que permitam a definição das dimensões e demais características físicas das bacias de contribuição (forma, declividade, tipo de solo, recobrimento vegetal), tais como: levantamentos aerofotogramétricos, cartas geográficas, levantamentos radamétricos, levantamentos fitopedológicos e/ou outras cartas disponíveis;
- Coleta de elementos que permitam a identificação das modificações futuras que ocorrerão nas bacias, tais como projetos, planos diretores e tendências de ocupação.

No tocante aos dados hidrológicos, a coleta de informações deverá contemplar a seguinte sistemática:

- Pluviometria (coleta de dados de chuva)
 - ✓ Mapa da rede hidrográfica básica da área compreendida pelo projeto;
 - ✓ Mapa das bacias de contribuição, numeradas sequencialmente;
 - ✓ Coleta de dados de chuva dos postos ou estações hidrológicas localizadas na área e apresentados em mapa, identificando as entidades responsáveis pela coleta e os respectivos períodos de observação;
 - ✓ Caracterização dos instrumentos medidores tais como: pluviômetros, pluviógrafos, régua linimétrica, e outros;
 - ✓ Escolha criteriosa do posto que caracteriza o regime pluviométrico do trecho, justificando o aspecto hidrológico;
 - ✓ Na ausência absoluta de posto na região, indicação precisa das fontes que forneceram os dados pluviométricos, os mapas isoietas, atlas meteorológico, com os respectivos autores;
 - ✓ Cálculo dos seguintes elementos: média anual de chuvas da região, média mensal, número de dias de chuva por mês, total anual, alturas máximas e mínimas, registro de chuvas e respectivos pluviogramas, precipitação total, indicação do trimestre mais chuvoso e mais seco, precipitação máxima em 24 horas.

- Fluviometria
 - ✓ Coleta de elementos para elaboração dos fluviogramas com as alturas d'água médias, máximas e mínimas mensais, dos principais rios da região;
 - ✓ Registro de cheia máxima dos cursos d'água menores, desprovidos de medidores, o qual deverá ser feito por meio de vestígios e informações locais;
 - ✓ Apresentação de mapa contendo os postos fluviométricos da região de interesse para o projeto, com identificação das entidades que os operam e os calendários de observação;
 - ✓ Fluviogramas das alturas máximas, médias e mínimas mensais e/ou outros necessários;
 - ✓ Curvas de frequência de níveis e curvas de descargas;
 - ✓ Levantamentos topo-hidrológicos nas travessias dos principais cursos d'água, que possibilitem a elaboração de plantas compatíveis para o projeto de implantação de pontes ou bueiros celulares de grandes dimensões.

Já na fase definitiva, o estudo hidrológico deve ser complementado com as seguintes informações:

- Processamento de dados pluviométricos - Os dados pluviométricos deverão ser apresentados de modo a se obter:
 - ✓ Curvas de intensidade – duração – frequência para os tempos de recorrência de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos;
 - ✓ Curvas de altura – duração – frequência para os tempos de recorrência de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos;
 - ✓ Histogramas das precipitações pluviométricas mensais mínimas, médias e máximas;
 - ✓ Histogramas com as distribuições mensais dos números de dias de chuva mínimos, médios e máximos.

- Processamento de dados fluviométricos - Os dados fluviométricos deverão ser apresentados de modo a se obter:
 - ✓ Tabela contendo os valores extremos das vazões médias diárias (m³/s), em caso de disponibilidade de réguas linimétricas nos cursos d'água em local próximo da obra de arte a ser projetada;
 - ✓ Tabela contendo as cotas das máximas cheias observadas na região, no caso de não se dispor de régua linimétrica.

- Análise dos dados processados
 - ✓ Período de recorrência: os tempos de recorrência serão fixados em função do tipo de obras, fatores técnicos-econômicos e de risco a vidas humanas, sendo propostos os valores constantes na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Tempos de recorrência recomendados pelo DNIT

Espécie	Período de recorrência (anos)
Drenagem superficial	5 a 10
Drenagem subsuperficial	10
Bueiros tubulares	15 (como canal)
	25 (como orifício)
Bueiros celulares	25 (como canal)
	50 (como orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

(Fonte: DNIT, 2006).

- ✓ Tempo de concentração: deverá ser avaliado por metodologia e modelos usuais e que apresentem resultados compatíveis e que considerem o maior número de parâmetros fisiográficos das áreas de contribuição, a citar como exemplos, o comprimento e declividade do talvegue principal, a área da bacia, seu recobrimento vegetal e o uso da terra.
 - ✓ Coeficiente de deflúvio: deverão ser fixados só após análise da utilização das áreas de montante, particularmente nos casos de modificação violenta da permeabilidade das bacias.

- Determinação das descargas das bacias

A metodologia a seguir, na determinação das descargas das bacias, dependerá da disponibilidade de dados fluviométricos e do número de anos de observação, bem como do tamanho da bacia e da importância do conhecimento da forma do fluviograma.

Como regra geral, as descargas das bacias de contribuição deverão ser calculadas em função da sua área, devendo-se considerar os seguintes limites:

- ✓ Método Racional: para bacias com área até 4km²;
- ✓ Método Racional corrigido: para bacias com área entre 4km² e 10km²;
- ✓ Método do Hidrograma Unitário Triangular: para bacias com área superior a 10km².

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Rio de Janeiro, IPR, 2 ed., 2005.

BRASIL. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/ Instruções de Serviço**. Rio de Janeiro, IPR, 3 ed, 2006.

CAMAPUM, José. **Cartilha infiltração**. Brasília, 2010. 36 p.: 15 x 22 cm. (Série Geotecnia, UnB; v. 2).

MEYER. A.F. **The elements of hydrology**. Nova Iorque, John Wiley and Sons, 2. Ed., 6. Imp., 1948.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Rio de Janeiro, Oficina de Textos, 3ª ed, 2006.