

# HIDROLOGIA BÁSICA

## SUMÁRIO

<b>1. CICLO HIDROLÓGICO.....</b>	<b>04</b>
1.1 Introdução à hidrologia.....	04
1.1.1 História da hidrologia.....	05
1.1.2 Aplicação da Hidrologia.....	06
1.2 Ciclo hidrológico.....	08
1.3 Bacia hidrográfica.....	10
1.3.1 Área de drenagem.....	12
1.3.2 Forma da Bacia Hidrográfica.....	13
1.3.3 Ordem da Bacia.....	14
1.3.4 Tempo de concentração.....	15
1.3.5 Determinação de vazão pelo Método Racional.....	16
1.4 Precipitação.....	18
1.4.1 Tipos de precipitação.....	19
1.4.2 Medidas Pluviométricas.....	22
1.5 Infiltração.....	24
1.5.1 Grandezas características.....	25
1.5.2 Fatores intervenientes.....	26
1.5.3 Determinação da capacidade de infiltração.....	27
1.6 Evaporação.....	27
1.7 Escoamento superficial e regime dos cursos d'água.....	29
1.7.1 Escoamento superficial.....	29
1.7.2 Regime dos cursos d'água.....	30
1.8 Transporte de sedimentos.....	31
1.8.1 Ciclo hidrossedimentológico.....	32
1.9 Balanço hídrico.....	34

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Ciclo Hidrológico
- Figura 2 – Bacia Hidrográfica
- Figura 3 – Divisor de águas
- Figura 4 – Regiões Hidrográficas do Brasil
- Figura 5 – Número de ordem da bacia
- Figura 6 – Precipitações ciclônicas
- Figura 7 – Precipitações orográficas
- Figura 8 – Precipitações convectivas
- Figura 9 – Esquema de funcionamento de um pluviômetro
- Figura 10 – Esquema de funcionamento de um pluviógrafo

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores do coeficiente de deflúvio,  $C$ .
- Tabela 2 – Variáveis de entrada e saída de água do Balanço Hídrico

## 1. CICLO HIDROLÓGICO

### 1.1 Introducción a la hidrología

La hidrología es la ciencia que trata del agua en la Tierra, su incidencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas, y su reacción con el medio ambiente, incluyendo su relación con las formas vivas (Definición recomendada por el *United States Federal Council for Science and Technology*, 1962).

La hidrología es una ciencia interdisciplinaria y ha evolucionado expresivamente debido a los problemas crecientes observados en las cuencas hidrográficas, como la ocupación inadecuada, el aumento significativo de la utilización del agua para diversos fines y, principalmente, frente a los resultados de los impactos sobre el medio ambiente. El estudio del agua era una ciencia básicamente descriptiva y cualitativa, aunque se transformó en un área de conocimiento donde los métodos cuantitativos han sido explorados a través de metodologías matemáticas y estadísticas, mejorando por un lado los resultados y por el otro, aprovechando mejor las informaciones existentes (TUCCI, 1993).

En el pasado el planeamiento de ocupación en las cuencas era mínimo, teniendo en cuenta solamente el menor costo de implantación y el máximo aprovechamiento para los usuarios. En ese contexto, la cuestión de cuidados y la preservación del medio ambiente raramente eran apreciadas. De esta forma, el crecimiento poblacional y la explotación del agua causaron grandes impactos y, subsiguientemente, la degradación de los recursos naturales.

Ante los problemas observados, la población comenzó a preocuparse, estableciendo medidas preventivas que minimizasen los perjuicios causados a la naturaleza. En los años 1970, las acciones se centraban en la cuenca hidrográfica, mientras que actualmente el problema tiene una dimensión global, derivada de los posibles efectos globales de la alteración del clima. La tendencia actual abarca el desarrollo sustentable de la cuenca hidrográfica, que implica el aprovechamiento racional de los recursos con el mínimo daño al medio ambiente.

Según NRC<sup>1</sup> (1991) apud Tucci (1993), se llegó a la conclusión que el desarrollo de la ciencia hidrológica ha sido influido por aspectos específicos del uso del agua y el control de desastres. La comisión menciona la necesidad de instruir a profesionales con formación más amplia, que englobe conocimiento de matemática, física, química, biología y geociencia, para desarrollar una ciencia dentro de un contexto más vasto.

---

1

NRC (National Research Council), 1991. *Opportunities in the hydrologic sciences*. Washington: National Academy Press. 348p.

## 1.1.1 Historia de la hidrología

La hidrología, que es la ciencia que estudia el agua, se encuentra fundamentada en historiales de procesos transcurridos en el medio físico natural. Para analizar la estacionalidad de la incidencia de precipitaciones en un determinado lugar, por ejemplo, son utilizadas observaciones obtenidas en el pasado.

La convivencia con el medio físico natural existe desde el origen de la humanidad. De acuerdo con Tucci (1993), filósofos griegos intentaron erróneamente explicar el ciclo hidrológico, y solo Marcus Vitruvius Pollio (100 a.C.) presentó conceptos cercanos al entendimiento actual del ciclo hidrológico. Se admitía que el mar alimentaba los ríos a través del subsuelo. Hasta el inicio de este siglo aún existían personas que cuestionaban el concepto moderno del ciclo hidrológico.

Aún sin conocer el origen del agua y el funcionamiento de los fenómenos naturales, las civilizaciones antiguas explotaron los recursos hídricos por medio de proyectos de riego, acueductos para el abastecimiento de agua y el control de inundaciones. Asimismo, según Tucci (1993), solamente a partir del siglo XV, con Leonardo da Vinci y Bernard Palissy, el ciclo hidrológico pasó a ser mejor comprendido. El problema era aceptar que la precipitación tenía un volumen mayor que el caudal y que los ríos son mantenidos constantes por el retardo del escurrimiento del subsuelo. Pierre Perrault, en el siglo XVII (1608-1680), evaluó los elementos de la relación precipitación-caudal, a través del análisis de la precipitación, evaporación y capilaridad de la cuenca del río Sena, y comparó estas magnitudes con mediciones de caudal realizadas por Edm, Mariotte, constatando que el caudal era apenas de cerca de 16% de la precipitación.

Las mediciones sistemáticas de precipitación y caudal, así como el desarrollo teórico y experimental de la hidráulica se iniciaron en el siglo XIX. Sin embargo, en Brasil los puntos más antiguos de medición de la precipitación corresponden a fines del siglo pasado, mientras que la recolección de datos de niveles y caudal se inició recién a principios del siglo XX.

Fue en la década de 1930 que surgieron los elementos descriptivos del funcionamiento de los fenómenos naturales y fórmulas empíricas de procesos específicos, tales como las demostradas por Chezy:

Ecuación para movimiento uniforme en canales;

Método racional para cálculo de caudal máximo en pequeñas cuencas.

Esa década también marcó el inicio de la hidrología cuantitativa con algunos trabajos, tales como:

Conceptos del hidrógrafa unitario utilizado para el escurrimiento superficial (Herman, 1932);

Ecuación empírica para el cálculo de la infiltración, permitiendo la determinación de la precipitación efectiva (Cortón, 1933) ;

Teoría para la hidráulica de pozos (Thies, 1935).

En esta misma década otros métodos cuantitativos fueron presentados, lo que posibilitó la ampliación de los conocimientos en esta ciencia. No obstante, aún con este avance, hasta la década de 1950 la hidrología se limitaba a indicadores estadísticos de los procesos involucrados.

Recién con el surgimiento de la computadora se dio el perfeccionamiento y la experimentación de las técnicas numéricas y estadísticas. Algunos aspectos de la hidrología tales como el escurrimiento subterráneo, flujo en ríos, lagos y estuarios se desarrollaron con la observación y cuantificación de las variables involucradas, el perfeccionamiento de técnicas matemáticas y el aumento de la capacidad de la computadora. Fueron creadas en diversos países cuencas representativas y experimentales con miras a la atención y cuantificación de procesos físicos que ocurren en la cuenca, tales como reforestación y deforestación, erosión del suelo y escurrimiento superficial.

Como la hidrología está ligada directamente al uso del agua, al control de la acción de la misma sobre la población y al impacto sobre la cuenca, los estudios realizados apuntan a la

mejor comprensión de estos procesos y a la implantación de un planeamiento adecuado del uso de la cuenca hidrográfica.

## 1.1.2 Aplicación de la hidrología

Según Righetto, 1998, la Hidrología ejerce gran influencia en:

Elección de fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico o industrial;

Proyecto de construcción de obras hidráulicas:

Fijación de las dimensiones hidráulicas de obras tales como: puentes, alcantarillas, etc.;

Proyecto de Represas: localización y elección del tipo de represa, de fundación y de canal de fuga; dimensionamiento;

Establecimiento de método de construcción;

Drenaje:

Estudio de las características de la napa freática;

Examen de las condiciones de alimentación y de escurrimiento natural de la napa: precipitación, cuenca de contribución y nivel de agua en los cursos de agua;

Riego:

Problema de elección del manantial;

Estudio de evaporación e infiltración;

Regularización de cursos de agua y control de inundaciones:

Estudio de las variaciones de caudal; previsión de caudales máximos;

Examen de las oscilaciones de nivel y de las áreas de inundación;

Control de contaminación:

Análisis de la capacidad de recepción de cuerpos receptores de los efluentes de sistemas de desagües: caudal mínimo de cursos de agua, capacidad de aireado y velocidad de escurrimiento;

Control de la erosión:

Análisis de intensidad y frecuencia de las precipitaciones máximas, y determinación de coeficiente de escurrimiento superficial;

Estudio de la acción erosiva de las aguas y de la protección por medio de vegetación y otros recursos;

Navegación: Observación de datos y estudios sobre construcciones y mantenimiento de canales navegables;

Aprovechamiento hidroeléctrico:

Pronóstico de los caudales máximos, mínimos y medios de los cursos de agua para el estudio económico y el dimensionamiento de las instalaciones;

Verificación de la necesidad de embalse de acumulación; determinación de los elementos necesarios para el proyecto y construcción del mismo: cuencas hidrográficas, volúmenes almacenables, pérdidas por evaporación e infiltración;

Operación de sistemas hidráulicos complejos;

60 conteúdo deste material pode ser reproduzido desde que citada a fonte.

Recreación y preservación del medio ambiente; y  
Preservación y desarrollo de la vida acuática.

## 1.2 Ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico al proceso natural de evaporación, condensación, precipitación, detención y escurrimiento superficial, infiltración, penetración del agua en el suelo y en los acuíferos, escurrimientos fluviales e interacciones entre esos componentes. (Righetto, 1998).

Para entender mejor, el ciclo puede ser visualizado como iniciándose con la evaporación del agua de los océanos. El vapor resultante es transportado por el movimiento de las masas de aire. Bajo determinadas condiciones, el vapor es condensado, formando las nubes que, a su vez, pueden resultar en precipitación. Esta precipitación que ocurre sobre la tierra puede ser dispersada de varias formas. La mayor parte queda retenida temporalmente en el suelo cerca de donde cayó, que a su vez, retorna a la atmósfera a través de la evaporación y transpiración de las plantas. Una parte del agua que sobra se escurre sobre la superficie del suelo o hacia los ríos, mientras que la otra parte penetra profundamente en el suelo, abasteciendo a la napa de agua subterránea. La Figura 1 demuestra mejor cómo ocurren estas relaciones entre las fases.

Las principales variables hidrológicas consideradas en el ciclo hidrológico son:

- $E$ : evaporación (mm/d);
- $q$ : humedad específica del aire en gramos de vapor de agua por kilo de aire, o g/kg;
- $P$ : precipitación (mm);
- $i$ : intensidad de lluvia (mm/h);
- $Q$ : flujo superficial o caudal ( $m^3/s$ );
- $f$ : tasa de infiltración (mm/h);
- $ET$ : evapotranspiración (mm/d).

Figura 1 – Ciclo Hidrológico



Fonte: USGS - *United States Geological Survey*

Aunque el ciclo hidrológico pueda parecer un ciclo continuo, con el agua moviéndose de forma permanente y con una tasa constante, es en realidad bastante diferente, ya que el movimiento que el agua hace en cada una de las fases del ciclo ocurre de forma bastante aleatoria, variando tanto en el espacio como en el tiempo.

En determinadas circunstancias, la naturaleza parece trabajar con los excesos. A veces provoca lluvias torrenciales que superan la capacidad de soporte de los cursos de agua, acarreado inundaciones, otras veces parece que todo el ciclo hidrológico se detuvo por completo. Estos extremos de inundación y sequía son los que más interesan a los ingenieros, ya que muchos de los proyectos de Ingeniería Hidráulica son hechos con la finalidad de garantizar protección contra estos mismos extremos, y cuando no previstos pueden acarrear daños.

Cuando trabajamos con proyectos, necesariamente debemos definir nuestro dominio, sea él local o regional. La definición del dominio implica la selección de los componentes más relevantes. Del ciclo hidrológico, por ejemplo, al balance hídrico, son considerados la evapotranspiración, la precipitación, el escurrimiento superficial, la infiltración y la penetración profunda. Ya en los estudios de drenaje es necesario conocer las distribuciones espacio-temporales de la precipitación, de la infiltración y de los caudales en las secciones de interés.

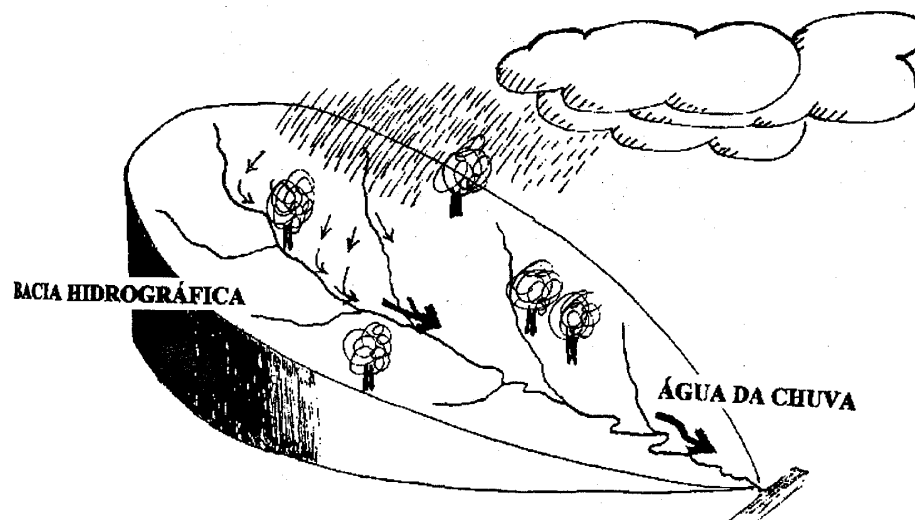
Para cada trabajo que se realizará, un análisis hidrológico debe ser hecho, sea para saber si la precipitación interferirá en el proceso, sea para saber si el drenaje es adecuado para un tipo de emprendimiento.



## 1.3 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica de un curso de agua es un área de captación natural del agua de la precipitación que hace converger los escurrimientos hacia un único punto de salida, su exutorio. Está compuesta básicamente por un conjunto de superficies vertientes de una red de drenaje formada por cursos de agua que confluyen hasta resultar en un lecho único en el exutorio. Cuenca hidrográfica es, por tanto, un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o por un sistema conectado de cursos de agua, de modo tal que todo el caudal efluente es descargado por una simple salida. Se puede considerar un sistema físico donde la entrada es el volumen de agua precipitado y la salida es el volumen de agua escurrido por el exutorio (Figura 2), considerándose como pérdidas intermedias los volúmenes evaporados y transpirados, y también los infiltrados profundamente.

Figura 2 – Bacia Hidrográfica



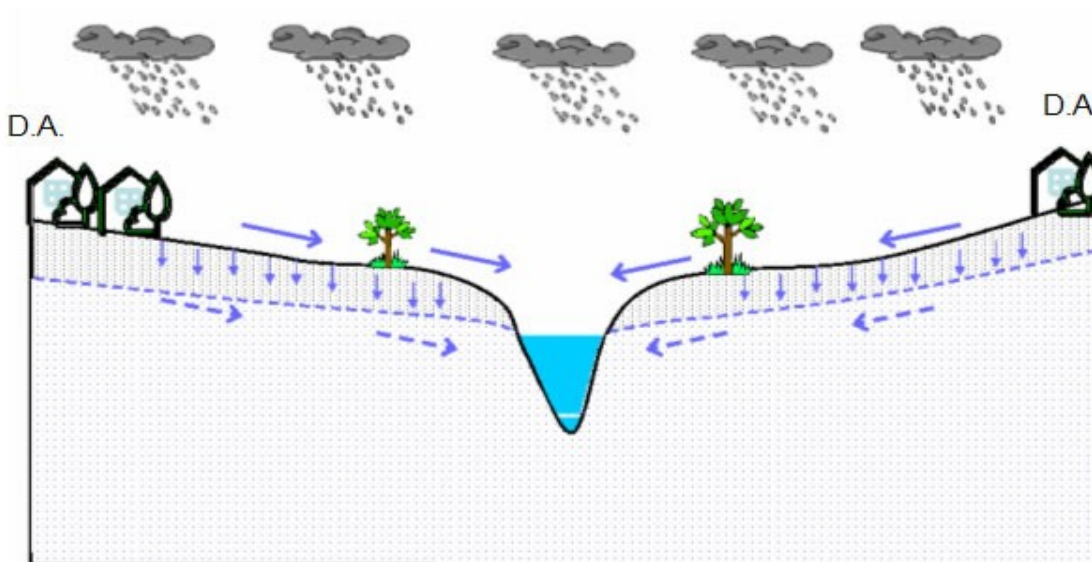
Fonte: Pedrazzi, 2003.

La formación de la cuenca hidrográfica se da a través de los desniveles de los terrenos que direccionan los cursos de agua, siempre de las áreas más altas hacia las más bajas. Es un área geográfica y, como tal, se mide en km<sup>2</sup>.

90 conteúdo deste material pode ser reproduzido desde que citada a fonte.

La cuenca hidrográfica es el elemento fundamental de análisis en el ciclo hidrológico, principalmente en su fase terrestre, que engloba la infiltración y el escurrimiento superficial (SILVEIRA, 1993). Ella puede ser definida como un área limitada por un divisor de aguas (Figura 3), que la separa de las cuencas adyacentes y que sirve de captación natural del agua de precipitación a través de superficies vertientes. La formación de la cuenca hidrográfica se da a través de los desniveles de los terrenos que direccionan los cursos de agua, siempre de las áreas más altas hacia las más bajas. Es un área geográfica y, como tal, se mide en km<sup>2</sup>.

Figura 3 – Divisor de águas



Fonte: Mendiando, 2004.

Actualmente, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, de acuerdo con la Resolución N° 32 del 15 de octubre de 2003, divide a Brasil en 12 regiones hidrográficas. A diferencia de las cuencas hidrográficas, que pueden superar las fronteras nacionales, las regiones hidrográficas están restringidas al espacio territorial perteneciente a Brasil, como muestra la Figura 4.

Figura 4 – Regiões Hidrográficas do Brasil



Fonte: Plano Nacional de Recursos Hídrico (PNRH). Disponível em <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>.

## 1.3.1 Superfície de drenaje

110 conteúdo deste material pode ser reproduzido desde que citada a fonte.

Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre sus divisores topográficos. La superficie o área es el elemento básico para el cálculo de las demás características físicas. La superficie de una cuenca hidrográfica es generalmente expresada en km<sup>2</sup>. En la práctica, se determina la superficie de drenaje con el uso de un aparato denominado planímetro, aunque es posible obtenerla con una buena precisión mediante el uso del “método de los cuadraditos”.

## 1.3.2 Forma da Bacia Hidrográfica

É uma das características da bacia mais difíceis de serem expressas em termos quantitativos. Ela tem efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, como por exemplo, no tempo de concentração ( $T_c$ ).  $T_c$  é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle.

A forma da bacia influencia o escoamento superficial e, conseqüentemente, o hidrograma resultante de uma determinada chuva.

Existem vários índices utilizados para se determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas. Dois índices são mais usados para caracterizar a bacia:

- Índice de compacidade;
- Índice de conformação.

### Índice de Compacidade ( $K_c$ )

Este índice relaciona o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. A equação 1 demonstra essa relação.

Equação 1 – Índice de compacidade

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

Onde:

P = perímetro da bacia (m);

A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

O  $K_c$  é sempre um valor  $> 1$  (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Caso não existam fatores que interfiram, os menores valores de  $k_c$  indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados.

Índice de Conformação (Fator de forma):

É a relação entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial medido ao longo do curso d'água desde a desembocadura até a cabeceira mais distante do divisor de água (Equação 2).

Equação 2 – Índice de conformação

$$I_c = \frac{A}{L^2}$$

Onde:

A = área da bacia (km<sup>2</sup>);

L = comprimento axial (m).

Quanto menor o  $K_f$ , mais comprida é a bacia e portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o  $T_c$  é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.

### 1.3.3 Orden de la cuenca

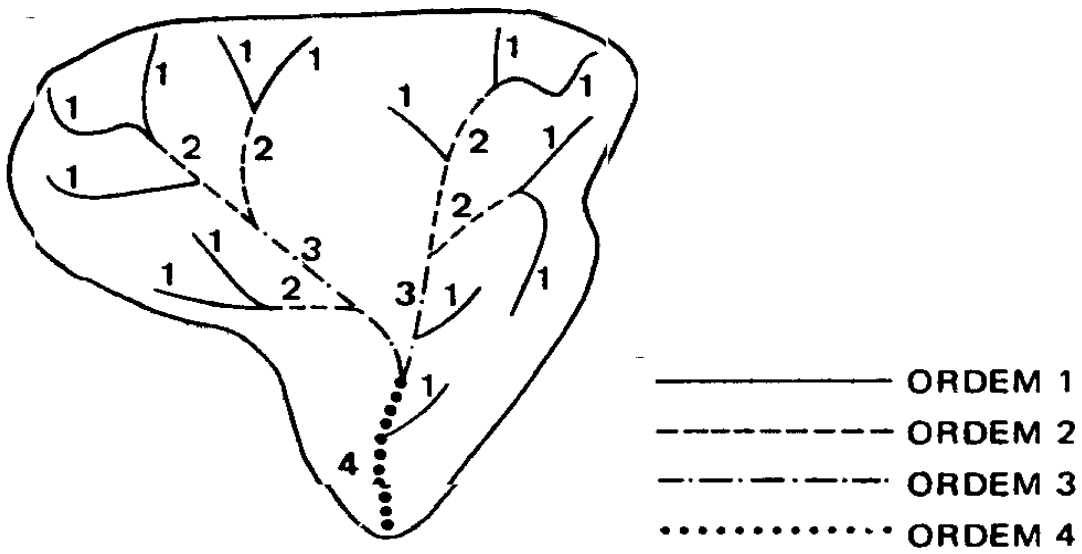
El sistema de drenaje de una cuenca está constituido por el río principal y sus afluentes. La clasificación de los ríos en cuanto al orden refleja el grado de ramificación o bifurcación

dentro de una cuenca. Los cursos de agua mayores cuentan con sus afluentes, que a su vez poseen otros hasta que se llega a los minúsculos cursos de agua de la extremidad. Normalmente, cuanto mayor el número de ramificaciones, más serán los cursos de agua. De esta forma, se pueden clasificar los cursos de agua de acuerdo con el número de bifurcaciones (PEDRAZZI, 2003).

El estudio de las ramificaciones y del desarrollo del sistema es importante, ya que él indica la mayor o menor velocidad con la que el agua abandona la cuenca hidrográfica. El nivel de drenaje de una cuenca depende de la estructura geológica del local, tipo de suelo, topografía y clima. Este nivel también influye sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca. Orden de la cuenca

Como observado na Figura 5, adota-se o seguinte procedimento para classificar a ordem dos rios de uma bacia hidrográfica:

Figura 5 – Número de ordem da bacia



2003.

Fonte: Pedrazzi,

150 conteúdo deste material pode ser reproduzido desde que citada a fonte.

Os rios de primeira ordem (Ordem 1) correspondem às nascentes, onde o volume de água ainda é baixo. Os rios de segunda ordem são a junção de dois rios de primeira ordem e os rios de terceira ordem, a junção de dois de segunda, assim sucessivamente, formando uma hierarquia. A conclusão dessa análise é de que, quanto maior for a ordem do rio principal, maior será a quantidade de rios existentes, e maior será também sua extensão.

## 1.3.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es aquel necesario para que toda el agua precipitada en la cuenca hidrográfica pase a contribuir en la sección considerada. Este tiempo puede ser calculado a través de dos métodos, presentados a continuación.

### Fórmula de Kirpich

Ecuación – Tiempo de concentración

$$t_c = 57 \left( \frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385}$$

Donde:

$I_{eq}$  = declive equivalente en m/km

$L$  = largo del curso de agua en km.

### Fórmula de Picking



Ecuación 4 – Tiempo de concentración

$$t_c = 5,3 \left( \frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

$L$  = largo de la vaguada en km;

$I_{eq}$  = declive equivalente en m/m.

### 1.3.5 Determinação de vazão pelo Método Racional

O método Racional é utilizado para o dimensionamento das redes de drenagem urbana dada sua simplicidade, uma vez que engloba todos os processos em apenas um coeficiente “Coeficiente de Escoamento (C)”. No entanto, não devem ser aplicados em bacias com área superior a 2 km<sup>2</sup>.

Os princípios dessa metodologia são:

Deve-se considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração da bacia. Ao considerar esta igualdade admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta situação ocorra, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade. Em bacias pequenas, as condições mais críticas ocorrem devido às precipitações convectivas que possuem pequena duração e grande intensidade.

Adotar um coeficiente único de perdas (coeficiente de escoamento), estimado com base nas características da bacia.

Não avalia o volume de cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação do método racional é a seguinte:

Equação 5 – Método Racional

$$Q = 0,27 . C . i . A$$

Onde:

$Q$  = vazão máxima ( $m^3/s$ );

0,027 = correção quando usando a área da bacia em  $km^2$ ;

$C$  = coeficiente de escoamento, também conhecido como *run-off* ou deflúvio;

$I$  = intensidade da precipitação ( $mm/h$ );

$A$  = área da bacia ( $km^2$ ).

A tabela abaixo apresenta alguns valores de  $C$  relativo a tipos de ocupação de solo.

Tabela 1 - Valores do coeficiente de deflúvio,  $C$ .

Tipo de Ocupação	Coeficiente C
Áreas com edificação; grau de adensamento	-
• Muito grande	0,70 a 0,95
• Grande	
• Médio	0,40 a 0,60
• Pequeno	0,20 a 0,40
Áreas livres: matas, parques, campos	0,05 a 0,20
Pavimentos	0,70 a 0,95
Solos com vegetação	-
• Arenoso	0,05 a 0,15
• Argiloso	0,15 a 0,35

Fonte: RIGHETTO, 1998.

O coeficiente de escoamento utilizado no método racional depende das seguintes características:

- solo;
- cobertura;
- tipo de ocupação;

- tempo de retorno;
- intensidade da precipitação.

## 1.4 Precipitación

El régimen hidrológico de una región es determinado por sus características físicas, geológicas y topográficas, y por su clima. Los factores climáticos más importantes son la precipitación, principal “input” del balance hidrológico de una región, su distribución y modos de incidencia, y la evaporación, responsable directa por la reducción del escurrimiento superficial.

La precipitación es entendida en hidrología como toda el agua proveniente del medio atmosférico que alcanza la superficie terrestre. Neblina, lluvia, granizo, rocío, heladas y nieve son formas diferentes de precipitaciones. La diferencia entre estas precipitaciones es el estado en que el agua se encuentra (BERTONI & TUCCI, 1993).

La disponibilidad de precipitación en una cuenca durante el año es un factor determinante para cuantificar, entre otros, la necesidad de riego de cultivos y el abastecimiento de agua doméstica e industrial. La determinación de la intensidad de precipitación es importante para el control de inundaciones y de la erosión del suelo. Por su capacidad para producir escurrimiento, la lluvia es el tipo de precipitación más importante para la hidrología (BERTONI & TUCCI, 1993).

Otros factores climáticos de suma importancia son la temperatura, la humedad y el viento, principalmente por la influencia que ejercen sobre la precipitación y la evaporación.

Los fenómenos atmosféricos de precipitación ocurren cuando existe una condensación de vapor de agua formando nubes. Los vientos mueven las partículas de agua de manera que ocurre una aglutinación de gotas, formando masas de agua lo suficientemente grandes para que se precipiten.

Los procesos de crecimiento de las gotas más importantes son los de coalescencia y de difusión del vapor. El proceso de coalescencia es aquel en el cual las pequeñas gotas de las nubes aumentan su tamaño debido al contacto con otras gotas a través de la colisión, provocada por el desplazamiento de las gotas, como consecuencia de movimientos turbulentos del aire, la fuerza eléctrica y al movimiento Browniano<sup>2</sup> partir del momento que las gotas de agua alcanzan un tamaño suficiente para vencer la resistencia del aire, ellas se desplazan en la dirección del suelo. En este movimiento de caída, las gotas mayores caen con mayor velocidad que las menores, lo que hace que las gotas menores sean alcanzadas e incorporadas a las mayores aumentando, por tanto, su tamaño.

El proceso de difusión del vapor es aquel en el cual el aire luego del nivel de condensación continua evolucionando, provocando la difusión del vapor supersaturado y su consecuente condensación en torno de las partículas que aumentan de tamaño.

---

<sup>2</sup> El movimiento Browniano es el movimiento aleatorio de partículas macroscópicas en un fluido como consecuencia de los choques de las moléculas del fluido en las partículas.

## 1.4.1 Tipos de precipitación

El enfriamiento dinámico o adiabático es la principal causa de la condensación y es el responsable por la mayoría de las precipitaciones.

El movimiento vertical de las masas de aire es un requisito importante para la formación de las precipitaciones, que pueden ser clasificadas de acuerdo con las condiciones que producen el movimiento vertical del aire. En este sentido, el rápido enfriamiento de grandes masas de aire puede ser producido de forma ciclónica, orográfica y convectiva. Normalmente cuando ocurre la precipitación, más de uno de esos procesos es activado.

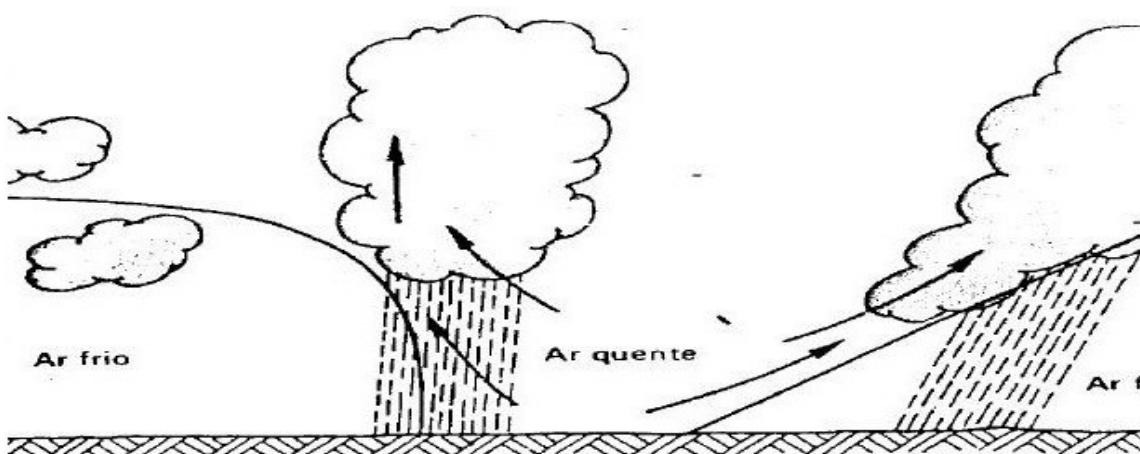
### Precipitaciones frontales o ciclónicas

Están asociadas al movimiento de masas de aire de regiones de alta presión a regiones de baja presión. La diferencia de presión normalmente es causada por el calentamiento desigual de la superficie terrestre.

Las precipitaciones ciclónicas pueden ser clasificadas en frontales y no frontales. La frontal resulta de la ascensión del aire caliente sobre el aire frío en la zona de contacto entre dos masas de aire de características diferentes. Si la masa de aire fría se mueve de tal forma que es substituida por una masa de aire más caliente, el frente es conocido como frente caliente, y si lo contrario acontece, la llamamos frente frío. La ascensión frontal puede ser vista en la figura 5.

Las precipitaciones ciclónicas acostumbran ser de larga duración, presentando intensidad de baja a moderada y esparciéndose por grandes áreas.

Figura 6 – Precipitações ciclônicas

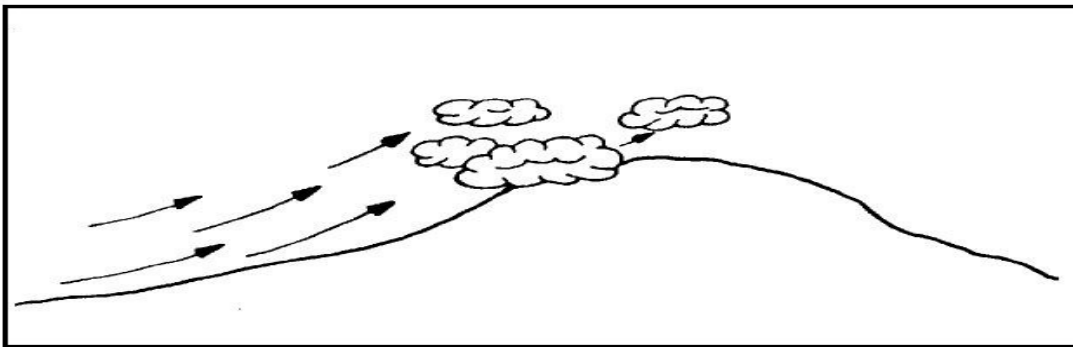


Fonte: Villela & Mattos, 1975.

## Precipitaciones orográficas

Esta precipitación es resultado de ascensión mecánica, acontece cuando una corriente de aire húmedo horizontal es forzada a pasar por una barrera natural, tal como las montañas. Las precipitaciones de la Serra do Mar son ejemplos típicos. La figura 7 muestra cómo esto ocurre.

Figura 7 – Precipitações orográficas

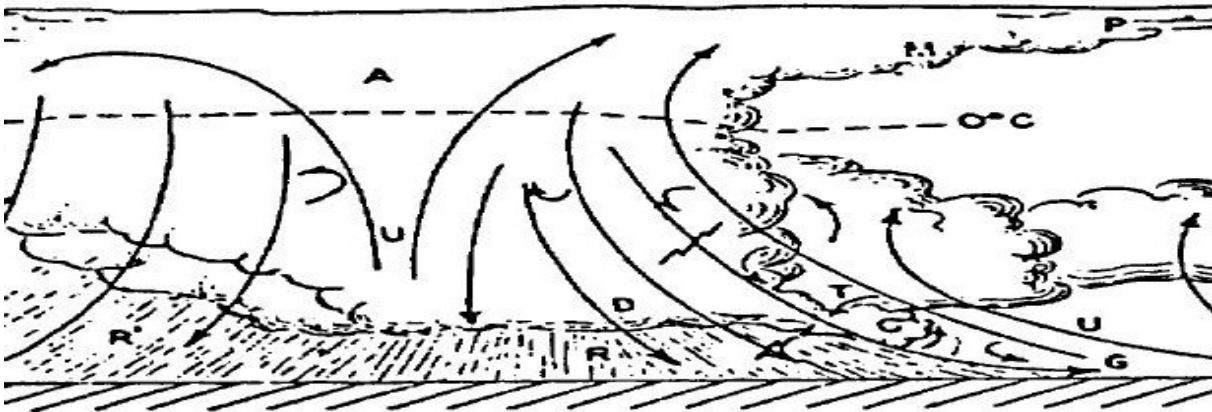


Fonte: Villela & Mattos, 1975.

## Precipitaciones convectivas

Las precipitaciones convectivas son típicas de las regiones tropicales. Cuando se produce un calentamiento desigual de la superficie terrestre, acaba dándose la aparición de capas de aire con densidades diferentes, lo que genera una estratificación térmica de la atmósfera en equilibrio estable. Si este equilibrio, por cualquier motivo (viento, recalentamiento) fuere roto, provocará una ascensión brusca y violenta del aire menos denso, que es capaz de alcanzar grandes alturas. Estas precipitaciones suelen ser de gran intensidad y corta duración, concentradas en pequeñas áreas. La Figura 8 demuestra cómo acontece este fenómeno.

Figura 8 – Precipitações convectivas



Fonte: Villela & Mattos, 1975.

## 1.4.2 Medidas Pluviométricas

A quantidade de chuva (h) é dada pela altura da água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. É medida em postos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos, que nada mais são que simples receptáculos de água precipitada, que registram essas alturas no decorrer do tempo.

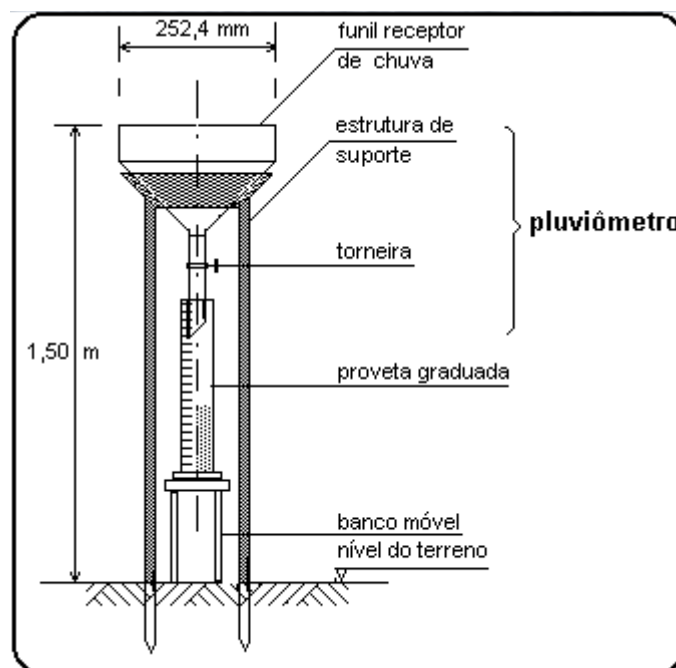
As grandezas características são:

- Altura Pluviométrica:** Medidas realizadas nos pluviômetros e expressas em mm.
- Intensidade da Precipitação:** É a relação entre a altura e a duração da precipitação, expressa, geralmente em mm/h ou mm/min.
- Duração:** Período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação (h ou min.)

O **pluviômetro** é o mais utilizado devido à simplicidade de sua instalação e operação, sendo facilmente encontrado em sedes municipais e áreas rurais. No pluviômetro se lê a altura total da água precipitada em um dado período, ou seja, a lâmina que foi acumulada durante a precipitação, onde seus registros são sempre fornecidos em milímetros por dia ou em

milímetros por chuva. A quantidade de chuva que entra no pluviômetro depende da exposição ao vento, da altura do instrumento e da altura dos objetos vizinhos ao aparelho. A distância mínima dos obstáculos próximos (prédios, árvores, morros, etc.) deve ser igual a quatro vezes a altura desse obstáculo, devendo o local de instalação estar protegido do impacto direto do vento. O pluviômetro deve ser instalado a uma altura padrão de 1,50m do solo (Figura 9).

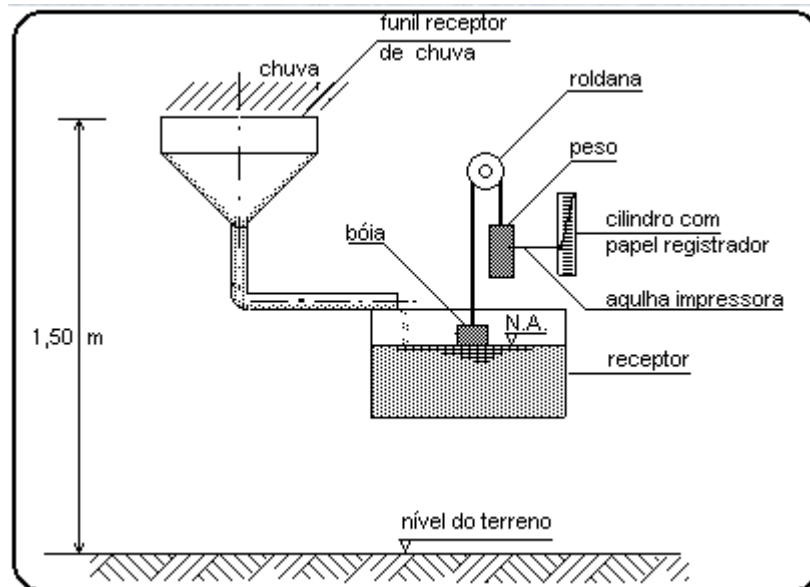
Figura 9 – Esquema de funcionamento de um pluviômetro



Fonte: Unidade acadêmica de Eng. Civil. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/>

O **pluviógrafo** é o mais encontrado nas estações meteorológicas propriamente ditas e registra a intensidade de precipitação, ou seja, a variação da altura de chuva com o tempo. O registro é realizado em uma fita de papel especial, simultaneamente, a quantidade precipitada e sua duração, possibilitando um monitoramento contínuo. A operação é mais complexa e dispendiosa, tornando seu uso restrito, embora seus resultados sejam bem mais importantes hidrologicamente (Figura 10).

Figura 10 – Esquema de funcionamento de um pluviógrafo



Fonte: Unidade acadêmica de Eng. Civil. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/>

## 1.5 Infiltração

A precipitação é o fenômeno de penetração da água nas camadas do solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, que a retém, formando então a água do solo (MARTINS, 1976).

A água de chuva precipitada sobre terreno permeável é geralmente succionada totalmente pelo solo até o instante em que se inicia a formação de um espelho d'água na superfície e, por conseguinte, a ocorrência de deflúvio superficial. Esse fato pode ser observado por qualquer pessoa, porém é regido por leis físicas complexas, cuja quantificação é supostamente conseguida por meio de experimentos, leis empíricas e solução de equações diferenciais que governam o movimento da água no solo (RIGHETTO, 2008).

A infiltração pode ser dividida em três fases essenciais, sendo elas a fase de intercâmbio, de descida e de circulação. Na fase de intercâmbio, a água está próxima à superfície do terreno, sujeita a retornar a atmosfera por uma aspiração capilar, provocada pela ação da evaporação ou absorvida pelas raízes das plantas e em seguida transpirada pelo vegetal.

Quando o deslocamento vertical da água ocasionado pela ação de seu próprio peso supera a adesão e a capilaridade, chamamos de fase de descida. Esse movimento se efetua até atingir uma camada-suporte de solo impermeável.



A fase de circulação ocorre quando há acúmulo de água, onde são constituídos os lençóis subterrâneos, cujo movimento se deve também a ação da gravidade, obedecendo às leis de escoamento subterrâneo.

## 1.5.1 Grandezas características

As principais grandezas características são explicadas por Martins (1976), como mostra os próximos itens.

### Capacidade de infiltração

É a quantidade máxima de água que um solo, sob uma dada condição, pode absorver na unidade de tempo por unidade de área horizontal. A penetração da água no solo, na razão de sua capacidade de infiltração, verifica-se somente quando a intensidade da precipitação excede a capacidade do solo em absorver a água, isto é, quando a precipitação é excedente. A capacidade de infiltração pode ser expressada por milímetros por hora (mm/h), milímetros por dia (mm/dia), metros cúbicos por metro quadrado ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ) ou metros cúbicos por dia ( $\text{m}^3/\text{dia}$ ).

### Distribuição granulométrica

É a distribuição das partículas constituintes do solo em função das suas dimensões.

### Porosidade

É a relação entre o volume de vazios de um solo e o seu volume total, expressa comumente em porcentagem (%).

### Velocidade de infiltração

É a velocidade média de escoamento da água através de um solo saturado, determinada pela relação entre a quantidade de água que atravessa a unidade de área do material do solo e o

250 conteúdo deste material pode ser reproduzido desde que citada a fonte.

tempo. Pode ser expressa por metros por segundo (m/s), metros por dia (m/dia), metros cúbicos por metro quadrado ( $m^3/m^2$ ) ou metros cúbicos por dia ( $m^3/dia$ ).

## 1.5.2 Fatores intervenientes

Os principais fatores intervenientes também são explicados por Martins (1976), apresentados nos itens a seguir.

### Tipo de solo

A capacidade de infiltração varia diretamente com a porosidade, o tamanho das partículas do solo e o estado de fissuração das rochas. As características presentes em pequena camada superficial, com espessura da ordem de 1 cm, têm grande influência sobre a capacidade de infiltração.

### Compactação devida ao homem e aos animais

Em locais onde há tráfego constante de homem ou veículos ou em áreas de utilização intensa por animais (pastagens), a superfície é submetida a uma compactação que a torna relativamente impermeável.

### Ação da precipitação sobre o solo

As águas das chuvas quando se chocam com o solo promovem a compactação da sua superfície, diminuindo a capacidade de infiltração, transportam os materiais finos que, pela sua sedimentação posterior, tenderão a diminuir a porosidade da superfície, umedecem a superfície do solo, saturando as camadas próximas, aumentando a resistência à penetração da água; e atuam sobre as partículas de substâncias coloidais que, ao intumescerem, reduzem as dimensões dos espaços intergranulares.

## 1.5.3 Determinação da capacidade de infiltração

Para a determinação da capacidade de infiltração, podem ser utilizados equipamentos chamados infiltrômetros, que são capazes de realizar uma medição direta. São tubos cilíndricos curtos de chapa metálica, com diâmetros que variam entre 200 e 900 mm. São cravados verticalmente no solo de modo a restar uma pequena altura livre sobre este.

O método de Horner e Lloyd também pode ser utilizado para conhecer a capacidade de infiltração do solo de uma dada área, porém para pequenas bacias hidrográficas. Ele é baseado na medida direta da precipitação e do escoamento superficial resultante, o que possibilita a determinação da curva da capacidade de infiltração em função do tempo.

Já em bacias muito grandes, a intensidade de precipitação não é constante em toda a área e por isso, Horton propôs um método de avaliação da capacidade média de infiltração. Este método indica que a precipitação seja medida por diversos aparelhos por toda a bacia, e um deles deve ser necessariamente um pluviógrafo.

## 1.6 Evaporação

Evaporação é o conjunto dos fenômenos de natureza física que transformam a água líquida ou sólida em vapor de água da superfície do solo e transferida, neste estado, para a atmosfera. Esse processo só ocorre naturalmente se houver ingresso de energia no sistema, proveniente do sol, da atmosfera ou de ambos e, será controlado pela taxa de energia, na forma de vapor de água que se propaga na superfície da Terra (TUCCI & BELTRAME, 1993). A evaporação pode ocorrer em corpos d'água, lagos, reservatórios de acumulação, águas retidas na camada superficial do solo e mares e é influenciada também pela temperatura e umidade relativa do ar, vento e pressão de vapor.

Os métodos mais utilizados para determinar a evaporação são:

- Evaporímetros: instrumento que possibilitam uma medida direta do poder evaporativo da atmosfera, estando sujeitos aos efeitos de radiação, temperatura, vento e umidade. Os mais conhecidos são os atmômetros e os tanques de evaporação;

- Transferência de massa: é baseado na primeira Lei de Dalton, que estabelece a relação entre evaporação e pressão de vapor, expressa da seguinte forma:

Equação 6 – Transferência de massa

$$E = C \cdot (e_s - e)$$

Onde:

E = intensidade da evaporação;

C = coeficiente influenciado por fatores interferentes;

$e_s$  = pressão de saturação do vapor de água à temperatura da água;

e = pressão do vapor d'água presente no ar atmosférico.

- Equações Empíricas: foram estabelecidas com base no ajuste por regressão das variáveis envolvidas, para algumas regiões e condições específicas. Por isso devem ser utilizadas com cautela.
- Balanço hídrico: possibilita a determinação da evaporação com base na equação da continuidade do lago ou reservatório. A referida equação pode ser escrita da seguinte forma:

Equação 7 – Balanço hídrico

$$\frac{dV}{dt} = I - Q - E_0 \cdot A + P \cdot A$$

Onde:

V = volume de água contido no reservatório (hm);

t = tempo (s);

I = vazão total de entrada no reservatório ( $m^3/s$ );

28O conteúdo deste material pode ser reproduzido desde que citada a fonte.

$Q$  = vazão de saída do reservatório ( $m^3/s$ );

$E_0$  = evaporação (mm/mês);

$P$  = precipitação sobre o reservatório (mm/mês);

$A$  = área do reservatório ( $km^2$ ).

## 1.7 Escoamento superficial e regime dos cursos d'água

### 1.7.1 Escoamento superficial

O escoamento superficial talvez seja a fase mais importante do ciclo hidrológico e de maior importância para os engenheiros, pois é a etapa que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra e está diretamente ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento (erosão do solo, inundações, etc.).

Esse tipo de escoamento é presenciado fundamentalmente na ocorrência de precipitações e considera desde o movimento da água de uma pequena chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade, escoar pela sua superfície, formando as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação.

De acordo com Martins (1976), parte da água das chuvas é absorvida pela vegetação e outros obstáculos, a qual é evaporada posteriormente. Da quantidade de água que atinge o solo, parte é retida em depressões do terreno e parte é infiltrada. Após o solo alcançar sua capacidade de absorver a água, ou seja, quando os espaços nas superfícies retentoras tiverem sido preenchidos, ocorre o escoamento superficial da água restante.

No início do escoamento superficial é formada uma película laminar que aumenta de espessura, à medida que a precipitação prossegue, até atingir um estado de equilíbrio.

Dentre os fatores que influenciam o escoamento superficial estão os seguintes:

- Fatores climáticos: ligados à intensidade da chuva, duração da chuva e a chuva antecedente;
- Fatores fisiográficos: ligados à área e forma da bacia, a permeabilidade e capacidade de infiltração e a topografia da bacia;
- Obras hidráulicas: ligadas à construção de barragens, canalização ou retificação e derivação ou transposição.

## 1.7.2 Regime dos cursos d'água

De grande importância no estudo das bacias hidrográficas é o conhecimento do sistema de drenagem, ou seja, que tipo de curso d'água está drenando a região de acordo com seu regime. Segundo Carvalho e Silva (2006), uma maneira utilizada para classificar os cursos d'água é a de tomar como base a constância do escoamento com o que se determinam três tipos:

- a) Perenes: contém água durante todo o tempo. O lençol freático mantém uma alimentação contínua e não desce nunca abaixo do leito do curso d'água, mesmo durante as secas mais severas.
- b) Intermitentes: em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem. Durante as estações chuvosas, transportam todos os tipos de deflúvio, pois o lençol d'água subterrâneo conserva-se acima do leito fluvial e alimentando o curso d'água, o que não ocorre na época de estiagem, quando o lençol freático se encontra em um nível inferior ao do leito.
- c) Efêmeros: existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial. A superfície freática se encontra sempre a um nível inferior ao do leito fluvial, não havendo a possibilidade de escoamento de deflúvio subterrâneo.

Os rios proporcionam a forma mais visível de escoamento da água fazendo parte integrante do ciclo hidrológico e alimentado a partir das águas superficiais e subterrâneas (CHRISTOFOLETTI, 198<sup>3</sup> apud DESTEFANI, 2005). A vazão é uma das principais variáveis que caracteriza um rio, constituindo-se da quantidade de água que passa por uma seção num determinado período de tempo.

As vazões que escoam em um curso d'água são consideradas estocásticas (TUCCI, 2002) sendo variáveis no tempo e no espaço. Essa variabilidade representada pela subida e descida das águas consideradas no decorrer de um ano civil (janeiro a dezembro) ou um ano hidrológico (ciclo de vazante-cheia-vazante) corresponde ao regime fluvial ou regime de cursos d'água ou hidrológico (DESTEFANI, 2005).

Tucci (1993) cita que a variabilidade do regime hidrológico é controlada por alguns elementos que formam a bacia hidrográfica ou fatores que nela ocorrem. Dentre eles estão: as condições

---

<sup>3</sup> CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

climáticas, como a precipitação, evapotranspiração e a radiação solar; a geologia; a geomorfologia; os tipos e uso dos solos; a cobertura vegetal; e as ações antrópicas.

O regime de um curso d'água e constitui na forma em que é alimentado, ou seja, a origem da água que o abastece. Pode ser classificado em pluvial, nival ou misto. O regime pluvial é caracterizado pelos rios que recebem água da chuva, já no regime nival o rio é abastecido pelo derretimento de geleiras. Um exemplo de rio que apresenta regime misto é o rio Amazonas, que suas águas são oriundas de derretimento e de altos níveis pluviométricos.

### **1.8 Transporte de sedimentos**

Quando a água está se movimentando rumo à saída de uma bacia hidrográfica, passa sobre as rochas e os solos que formam ou revestem as vertentes e as calhas da rede de drenagem. Os obstáculos que a água encontra determinam os caminhos que ela vai seguir e a velocidade que se deslocará, propiciando que partículas sejam removidas e transportadas vertente ou rio abaixo, pelo fluxo líquido. Embora eventuais, o deslocamento dos sedimentos carregados pela água podem ocasionar a alteração do ciclo hidrológico, e certamente afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (BORDAS & SEMMELMANN, 1993).

A composição do material do leito e as características geométricas e hidráulicas da seção e do trecho do rio são fatores importantes que influenciam na quantidade de sedimentos transportada. Por essa razão qualquer intervenção que altere o equilíbrio natural do rio pode trazer sérias consequências em termos de erosão e deposição de sedimentos.

Transporte e deposição de sedimentos em leitos de cursos d'água são ações naturais que ocorrem de forma lenta e contínua. Porém, esse processo está sendo acelerado pelo homem quando ocupa de forma desordenada e irresponsável as áreas próximas aos rios. A falta de cuidados, como o corte da vegetação, o manejo inadequado do solo e a urbanização acelerada próxima aos rios, são alguns dos fatores que trazem sérias consequências ao meio ambiente e ao homem. Dentre outras decorrências, podemos citar o assoreamento de reservatórios e rios e, por conseguinte, os alagamentos, redução da qualidade da água para consumo e irrigação, mortandade de espécies aquáticas e impossibilidade de navegação devido a diminuição da lâmina d'água. Os custos para a recuperação de um rio ou reservatório assoreado são extremamente altos, por isso medidas preventivas acompanhadas de um monitoramento sedimentométrico são recomendadas (SCAPIN, 2005).

Righetto (1998) afirma que grande parte do sedimento transportado por um rio, por exemplo, é proveniente da erosão do solo da bacia hidrográfica, retirando significativa quantidade de nutrientes de terras férteis para agricultura. Esse fato pode acontecer por decorrência de chuva em solos desprotegidos, provocando a erosão por um processo físico complexo de desprendimento e transporte de partículas de solo pela ação do impacto das gotas da chuva e pelo arraste do escoamento superficial.

### 1.8.1 Ciclo hidrossedimentológico

Esse ciclo é paralelo, vinculado fortemente e dependente do ciclo hidrológico. É um ciclo aberto que envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia. No entanto, ao contrário das moléculas da água, os sedimentos não terão como voltar ao meio de onde vieram.

A gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradação dos solos, dos leitos dos rios e dos ecossistemas fluviais e estaurinos, ou de contaminação de sedimentos por produtos químicos, fizeram com que se fosse dada mais atenção ao ciclo hidrossedimentológico, pois o custo dos impactos decorrentes da remoção não controlada de sedimentos nas bacias hidrográficas é bastante elevado (BORDAS & SEMMELMANN, 1993).

Os principais fenômenos que compõem o ciclo hidrossedimentológico e que regem o deslocamento de partículas sólidas são a desagregação, separação ou erosão, transporte, decantação ou sedimentação, depósito e consolidação. Esses processos são explicados por Bordas e Semmelmann (1993), como apresentado a seguir:

#### Desagregação

É o desprendimento de partículas sólidas do meio do qual fazem parte, podendo acontecer por reações químicas, flutuações de temperatura, ações mecânicas ou outros fatores naturais. Esses processos deixam uma massa de partículas sólidas exposta à ação do escoamento superficial, que é remanejada pelo movimento pelas águas. Esse estoque de material sólido é composto por elementos de vários tamanhos e feições, distinguidos como: argila, silte, areia, cascalho, seixo e pedras, pedregulhos ou matacão.



## Erosão

Erosão é o processo de deslocamento das partículas sólidas de seu local de origem. Esse deslocamento ocorre quando as forças hidrodinâmicas exercidas pelo escoamento sobre uma partícula ultrapassam a resistência por ela oferecida. A resistência tem sua origem, principalmente, no peso das partículas e nas forças de coesão. A coesão constitui a força de resistência por excelência das partículas mais finas, enquanto o peso da partícula é a principal força resistente para as areias e o material mais graúdo. No primeiro caso, os sedimentos são qualificados de coesivos, no segundo de não-coesivos ou granulares.

## Transporte

O processo de transporte de material erodido pela água pode ocorrer de diversas formas. As partículas mais pesadas deslocam-se sobre o fundo por rolamento, deslizamento ou, em alguns casos, por saltos curtos, e constituem a chamada descarga sólida de fundo ou arraste. As mais leves deslocam-se no seio do escoamento e constituem a descarga sólida em suspensão. Estas podem ser provenientes da bacia vertente, ou do fundo e paredes da calha, enquanto o arraste é exclusivamente constituído de material encontrado no fundo.

## Sedimentação ou Decantação

Neste processo as partículas mais finas transportadas em suspensão, tendem a chegar ao fundo do leito sob ação da gravidade. Pode ainda ocorrer a resistência do meio fluido, impedindo ou reduzindo a queda das partículas para o fundo, principalmente por efeito da turbulência.

## Depósito

Entende-se por depósito a parada total da partícula em suspensão recém decantada sobre o fundo, ou daquela transportada por arraste. Esse processo, por algumas vezes, é confundido

com a decantação. No entanto ele se difere, pois uma partícula recém-decantada pode continuar movimentando-se após entrar em contato com o fundo, de acordo com as forças hidrodinâmicas existentes rente ao fundo.

### Consolidação

A consolidação ocorre após o depósito das partículas e corresponde ao acúmulo de partículas sobre o fundo e a compactação do depósito resultante sob efeito do próprio peso dos sedimentos, da pressão hidrostática ou qualquer outro fenômeno que venha a aumentar a densidade dos depósitos (efeito do esvaziamento de uma represa, por exemplo).

Algumas ações de controle podem ser consideradas para evitar as conseqüências da erosão e o conseqüente transporte de sedimentos. Em pequenas bacias hidrográficas, por exemplo, deve haver o correto manejo do solo na agricultura, considerando o tipo de plantação e respeitando as curvas de nível do terreno. Já nas áreas urbanas, uma das ações é a implantação de um sistema de drenagem eficiente e sua manutenção adequada.

### **1.9 Balanço hídrico**

O balanço hídrico pode ser entendido como o resultado da quantidade de água que entra e sai de um sistema em um determinado intervalo de tempo. Diversas escalas espaciais podem ser analisadas para se contabilizar o balanço hídrico. Em escala global, o “balanço hídrico” é o próprio “ciclo hidrológico”, cujo resultado nos mostrará a quantidade de água disponível no sistema (no solo, rios, lagos, vegetação úmida e oceanos), ou seja, na biosfera, apresentando um ciclo fechado.

A bacia hidrográfica é o melhor espaço de avaliação do comportamento hídrico, pois tem definido o espaço de entrada, a bacia, o local de saída e a seção de rio que define a bacia hidrográfica (TUCCI, 1993).

Dessa forma, em uma escala intermediária, que pode ser representada por uma micro-bacia hidrográfica, o balanço hídrico resulta na vazão de água desse sistema. Para períodos em que a chuva é menor do que a demanda atmosférica por vapor d'água, a vazão diminui, ao passo em que nos períodos em que a chuva supera a demanda, a vazão aumenta.

Na escala local, no caso de uma cultura, o balanço hídrico tem por objetivo estabelecer a variação de armazenamento e, conseqüentemente, a disponibilidade de água no solo. Conhecendo-se qual a umidade do solo ou quanto de água este armazena é possível se determinar se a cultura está sofrendo deficiência hídrica, a qual está intimamente ligada aos níveis de rendimento dessa lavoura.

Conhecendo essas características, podemos aplicar a **equação da continuidade da massa**, que afirma que o volume de água de entrada menos o volume de água de saída, deve igualar a variação dos estoques de água na área em um determinado período de tempo. Essa lei é representada pela Equação 8.

Equação 8 – Continuidade da massa

$$\Delta V = \Sigma I - \Sigma O$$

Sendo:

$\Delta V$  = variação de volume no tempo, que consideraremos de um mês ( $m^3$ );

$\Sigma I$  = somatório dos volumes de água que entram no sistema isolado ( $m^3$ );

$\Sigma O$  = somatória dos volumes de água que saem do sistema isolado ( $m^3$ ).

Dessa forma, as entradas e saídas podem ser determinadas como apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis de entrada e saída de água do Balanço Hídrico

Entrada de água	Saída de água
Chuva	Evapotranspiração
Orvalho	Escoamento Superficial
Escoamento Superficial	Escoamento Sub-superficial
Escoamento Sub-superficial	Drenagem Profunda
Ascensão capilar	

Fonte: Tomaz, 2006.

De acordo com Tucci (2009), o entendimento do balanço hídrico é um dos fundamentos mais importantes para conhecer os efeitos causados pelo homem sobre o meio natural, disponibilidade hídrica e sustentabilidade ambiental. A determinação do balanço hídrico pode ser realizada para uma camada de solo, para um trecho de rio ou por uma bacia hidrográfica. O

conhecimento desses componentes depende de vários fatores como: precipitação, evapotranspiração potencial (aquí embutidas outras variáveis climáticas), condições do solo e uso do solo, geologia subterrânea.

Os principais objetivos de se estudar o balanço hídrico, são: conhecer o regime hídrico; conhecer as disponibilidades hídricas; conhecer as demandas de uso da água e prestar informações para elaboração de projetos, estudos e gerenciamentos. É de suma importância para o planejamento agropecuário, principalmente para saber quais são as épocas propícias para plantio e o controle de pragas, para o planejamento de obras de engenharia, previsão e acompanhamento de enchentes, zoneamento de áreas inundáveis, entre outros.

Numa bacia o balanço hídrico é determinado por (TUCCI, 1993):

Equação 9 – Balanço hídrico

$$S(t+1) = S(t) + (P - E - Q).Dt$$

Onde:

S (t+1) e S(t) = quantidade de água no tempo t+1 e t;

P = precipitação na área da bacia no intervalo;

E = evapotranspiração real no intervalo de tempo na bacia;

**Q =vazão de saída no intervalo de tempo Dt.**