

TRANSPORTES 1

Aula 7

Drenagem de Rodovias

Hidrologia – Ciclo

Pluviometria - medições

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Introdução

A Hidrologia é uma ciência que atualmente e de forma crescente tem uma grande importância para a sociedade, pois através de seu estudo pode-se controlar e utilizar os recursos hídricos de forma adequada.

A Hidrologia é hoje uma ciência básica cujo conhecimento é imprescindível ao engenheiro, ao agrônomo, ao ecologista, ao geógrafo, ao geofísico e a muitos outros profissionais. A. Meyer define a Hidrologia como: "ciência natural que trata dos fenômenos relativos a 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".

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

É influenciada pela fisiografia regional:

- Posição relativamente aos oceanos,
- Presença de montanhas que possam influenciar a precipitação,
- Fortes declividades de terrenos possibilitando rápidos escoamentos superficiais,
- Depressões,
- Lagos ou baixadas capazes de retardar ou armazenar o deflúvio.

O homem está longe de ter o domínio das leis naturais, podendo ser facilmente comprovado pelos efeitos catastróficos das grandes cheias e grandes estiagens. Portanto faz-se necessário e de forma urgente que se aprofundem os conhecimentos nos fenômenos hidrológicos

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

A correlação entre o progresso e o grau de utilização dos recursos hidráulicos evidencia também o importante papel da Hidrologia na complementação dos conhecimentos necessários ao seu melhor aproveitamento

O que é HIDROLOGIA ?

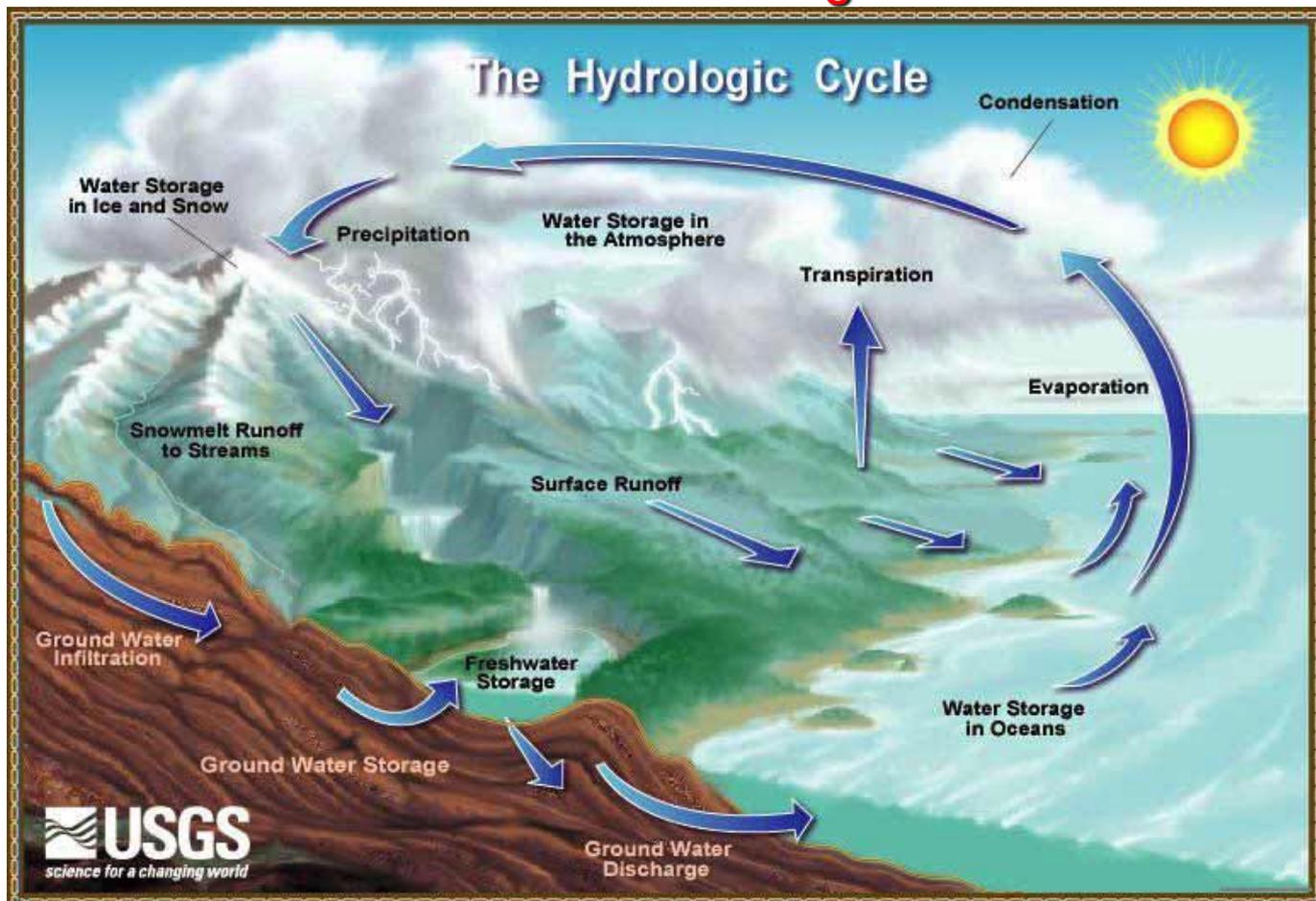
É uma “ciência da Terra”.

- **Estuda :**
 - a água no planeta;
 - sua ocorrência;
 - circulação e distribuição;
 - suas propriedades físicas e químicas;
 - e sua relação com os seres vivos.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

O Ciclo Hidrológico



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

A maior parte da água cai sobre a terra, encontra o seu caminho para o mar. Uma parte evapora durante a precipitação, outra evapora da superfície da terra e outra é absorvida pela transpiração pelas plantas. Da que encontra o seu caminho para as correntes fluviais e para o mar, uma fração se escoia pela superfície imediatamente, indo para os fundos de vales e por eles atinge estagnações ou cursos d'água. A outra fração, cuja proporção depende da permeabilidade do solo, se infiltra no terreno e, por percolação ou por drenagem, atinge também estagnações ou cursos d'água.

Existe, pois, um ciclo completo de evaporação, condensação, precipitação e escoamento, que constitui o que denomina ***ciclo hidrológico***.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Com finalidade didática e tendo em vista as aplicações à Engenharia Hidráulica, apresenta-se o ciclo hidrológico como compreendendo quatro etapas principais:

- Precipitações atmosféricas: chuva, granizo, neve, orvalho.
- Escoamentos Subterrâneos: infiltração, águas subterrâneas.
- Escoamentos Superficiais: torrentes, rio e lagos.
- Evaporação: na superfície das águas e no solo transpiração.

O ciclo hidrológico, embora possa parecer um mecanismo contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, é na realidade bastante diferente, pois o movimento da água em cada uma das fases do ciclo é feito de um modo bastante aleatório, variando tanto no espaço como no tempo.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

O engenheiro projetista de Drenagem Urbana e Drenagem de Rodovias interessa apenas as duas últimas fases do ciclo.

O ciclo hidrológico pode ser considerado como composto de duas fases principais,

- uma atmosférica e
- outra terrestre.

Cada uma dessas fases inclui:

- a) armazenamento temporário de água;
- b) transporte;
- c) mudança de estado

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Exemplos de aplicações da Hidrologia à Engenharia

A) - Estimativa dos recursos hídricos de uma região

Análise da capacidade de mananciais, previsão e interpretação de variações na quantidade e qualidade das águas naturais.

B) - Projeto e Construção de Obras Hidráulicas.

Fixação de seções de vazão em pontes, bueiros, galerias, dimensionamento de condutos e sistemas de recalque, projeto e construção de barragens, dimensionamento de extravasores.

C) - Drenagem

D) - Irrigação

E) - Controle de Poluição

F) - Controle de erosão

G) - Navegação

H) - Aproveitamento Hidroelétrico.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Perguntas Típicas

- [1] Qual é a vazão máxima provável em um local proposto para uma rodovia ?
- [2] Qual é a disponibilidade de água de um rio e como ela poderá variar entre estações e de um ano a outro ?
- [3] Qual é a relação entre a quantidade de água superficial e a água subterrânea ?
- [4] Qual é a vazão mínima de um rio que é igualada ou superada 90 % do tempo ?

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

- [5] Qual é o volume de um dreno necessário para garantir uma determinada vazão a jusante ?
- [6] Qual é o tamanho adequado de um sistema de drenagem para limitar as inundações a jusante a um nível pré-estabelecido ?
- [7] Qual deve ser a capacidade de uma canaleta ou de um bueiro para evitar inundações na rodovia ?

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Para responder a essas e outras perguntas a Hidrologia se utiliza de:

- Informações hidrológicas (dados obtidos por medições)
- Análise especializadas
- Conceitos e conhecimentos científicos

A resposta de um problema hidrológico em geral é o valor de uma grandeza hidrológica associada a uma probabilidade de que essa grandeza seja igualada ou excedida.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Terra – Planeta Azul



Terra – Planeta Agua

Transportes

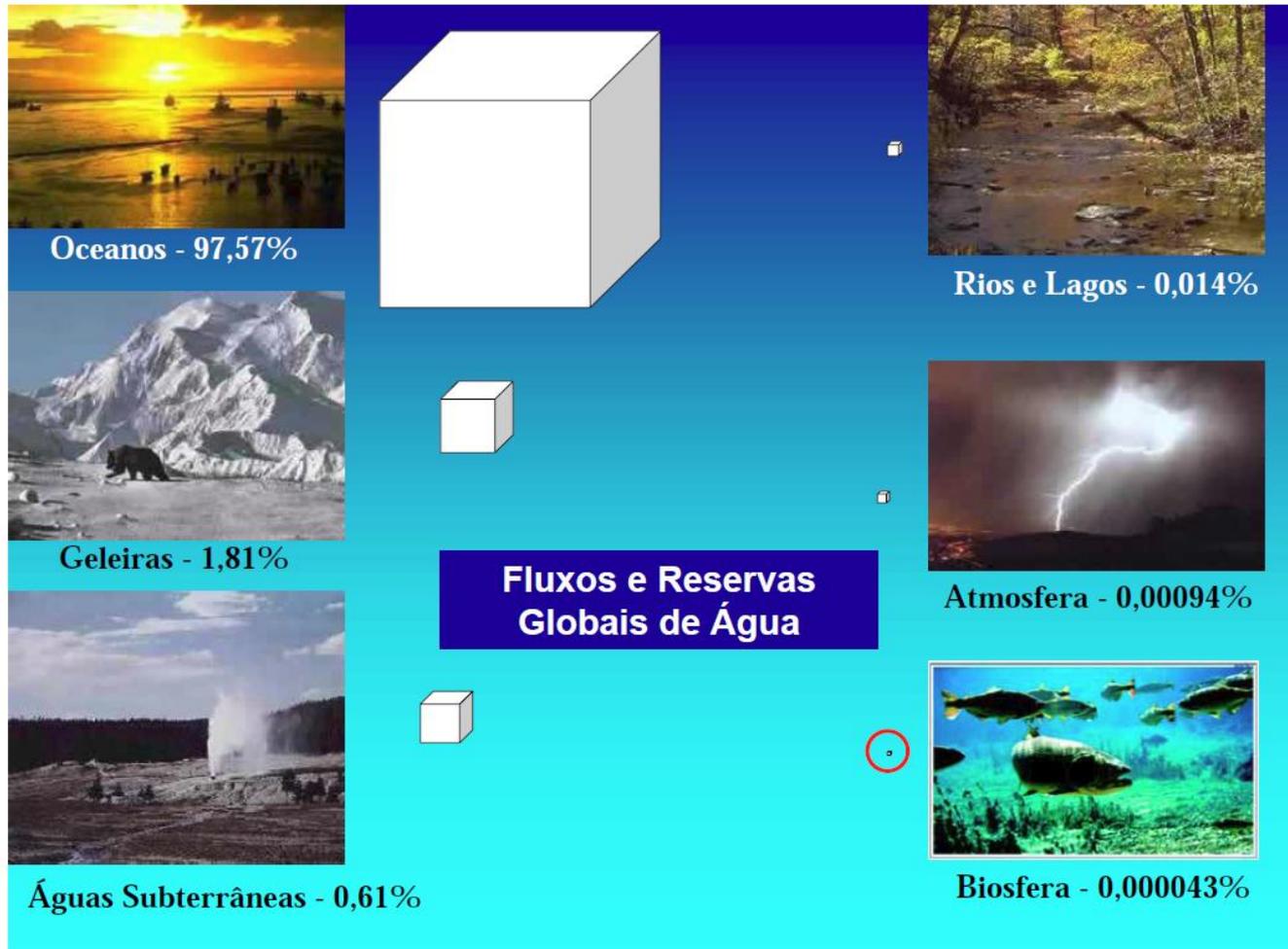
DRENAGEM DE RODOVIAS

Fluxos e Reservas Globais de Água

Reservas Globais		
	10^{15} m ³	% do Total
Oceanos	1350	97.57
Geleiras	25	1.81
Água Subterrânea	8.4	0.61
Rios e Lagos	0.2	0.014
Atmosfera	0.013	9.40E-04
Biosfera	0.0006	4.30E-05

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



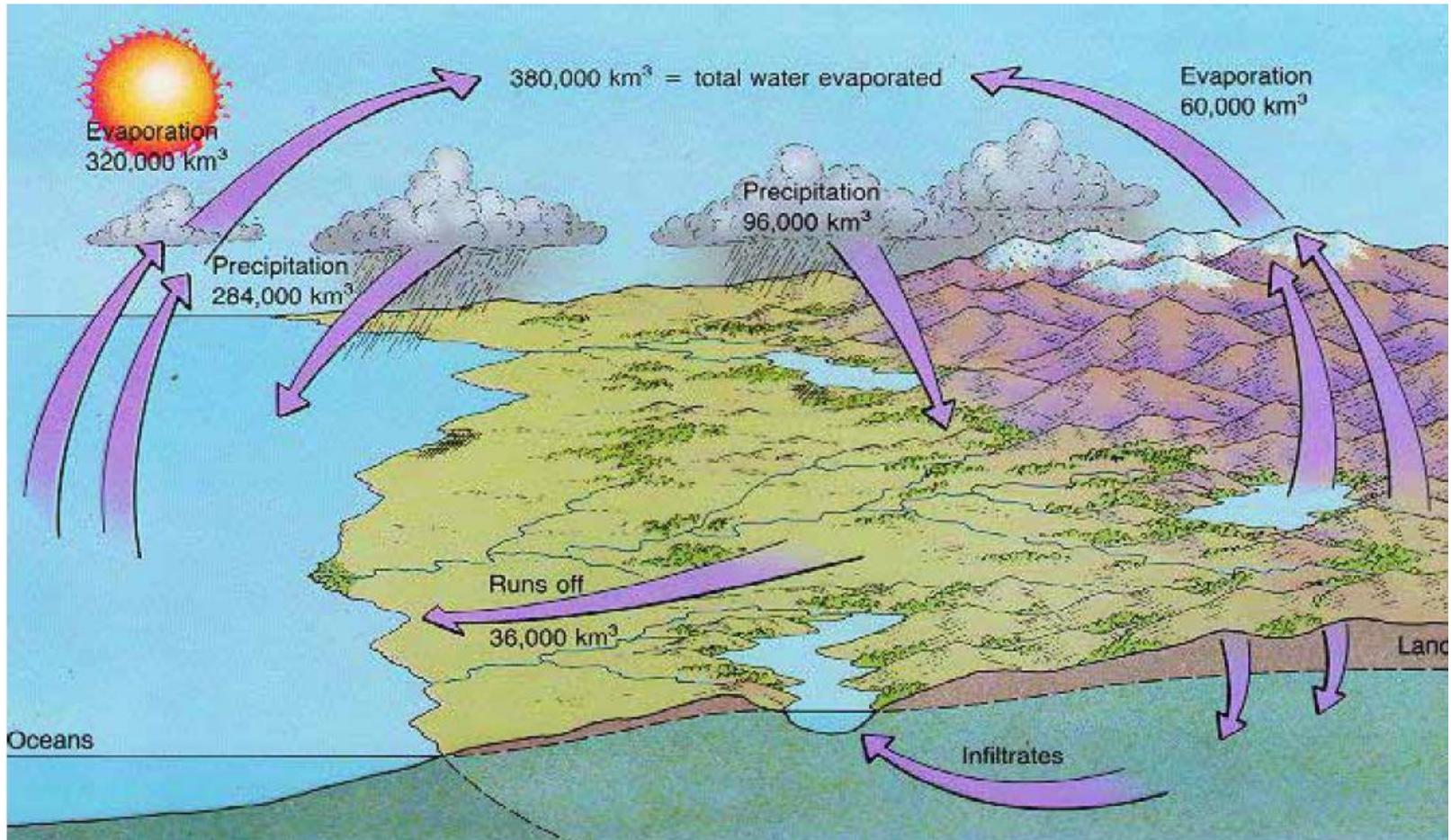
Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Fluxos			
		10 ¹²	%
		m ³ /ano	
Precipitação	Continente	99	23.4
	Oceano	324	76.6
Evaporação	Continente	62	14.7
	Oceano	361	85.3

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Produção Hídrica de Superfície Mundial



Transportes

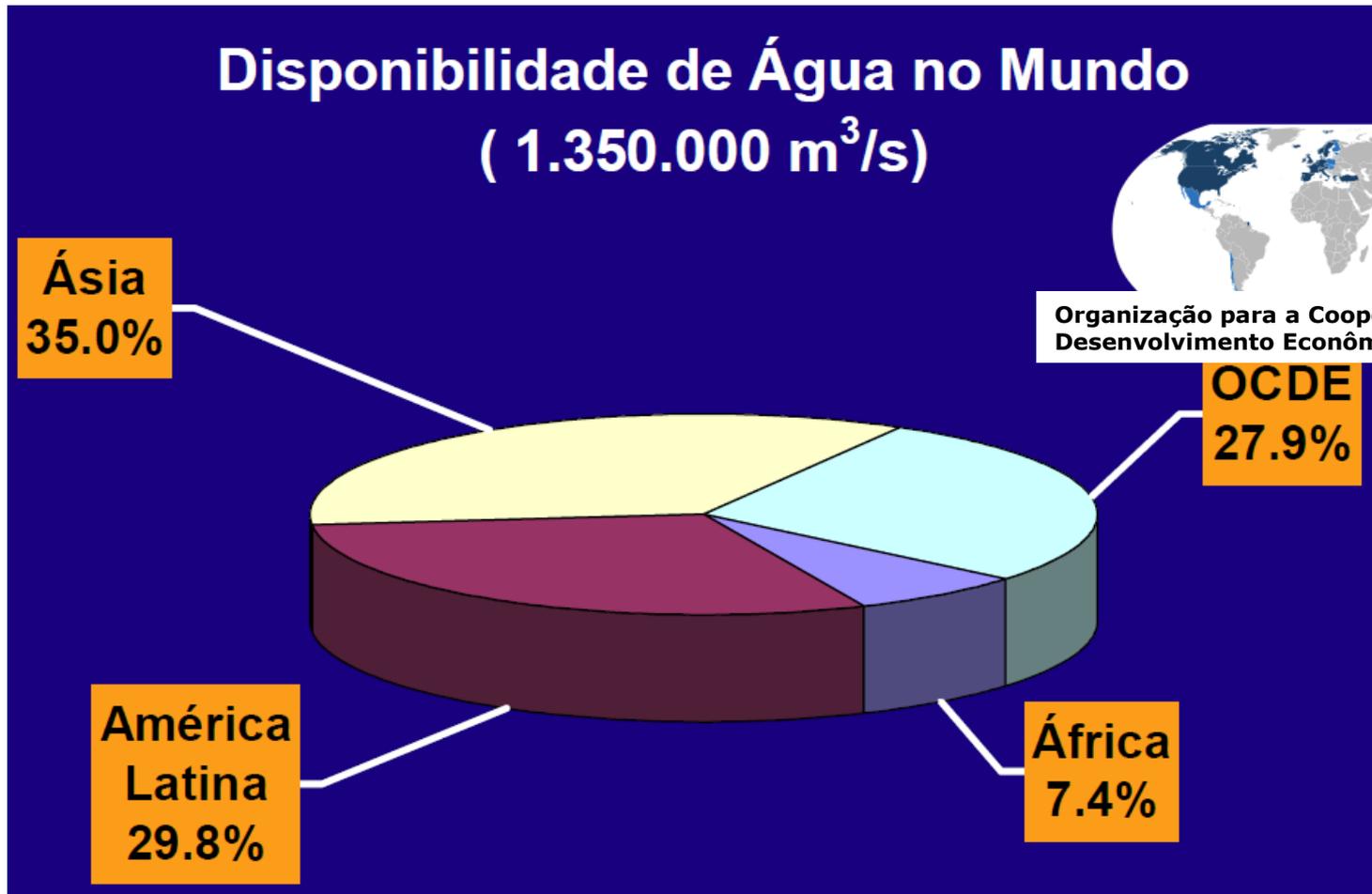
DRENAGEM DE RODOVIAS

Região	Vazão Média (m ³ /s)	Participação (%)
América do Sul	334000	23.1
América do Norte	260000	18.0
África	145000	10.0
Europa	102000	7.0
Antártida	73000	5.0
Oceania	65000	5.5
Austrália/Tasmânia	11000	0.8
Ásia	458000	31.6
BRASIL	177900	12.3
Total	1448000	100.0

Fonte : Carta da disponibilidade Hídrica do Brasil- DNAEE-DCRH-1984

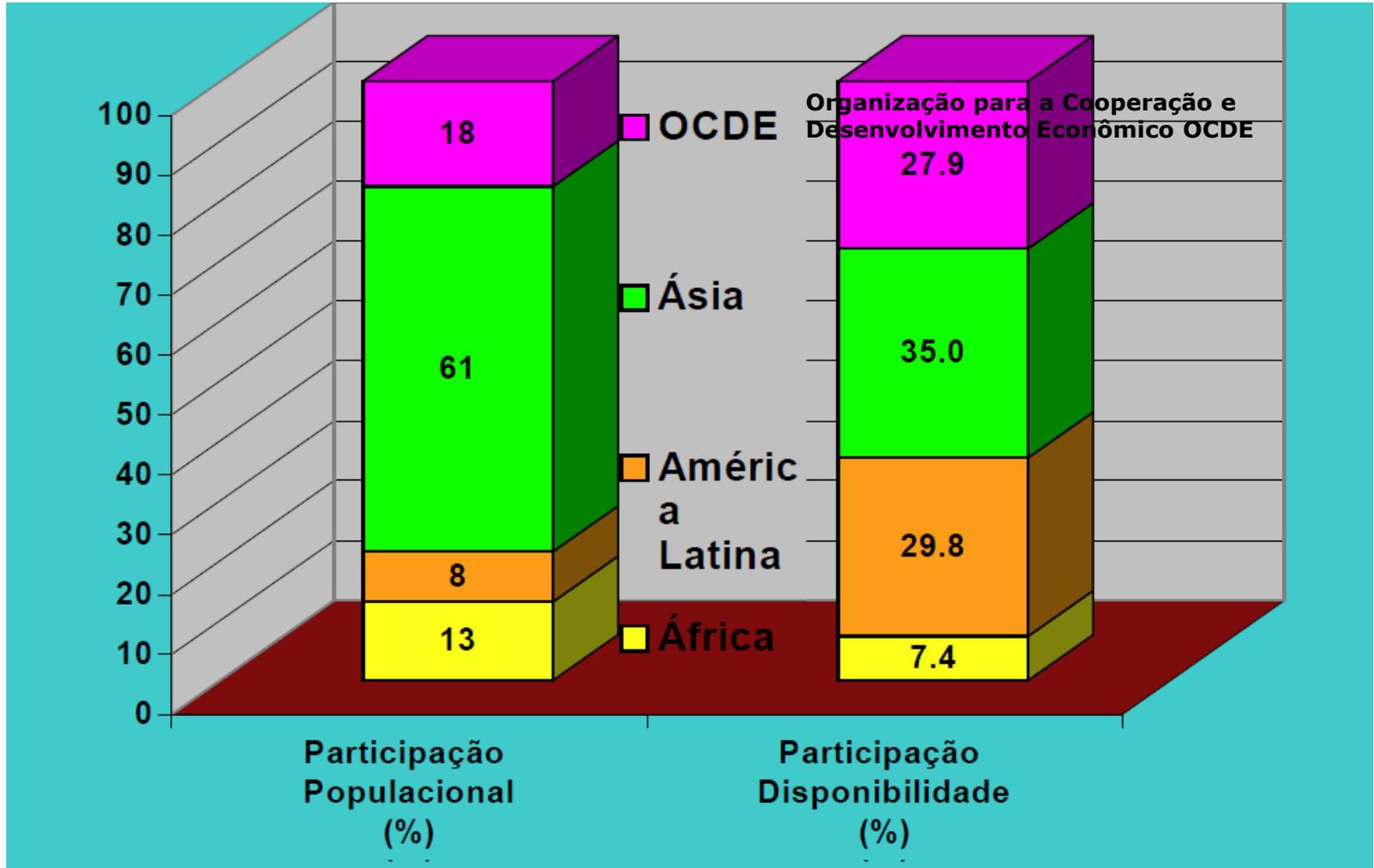
Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



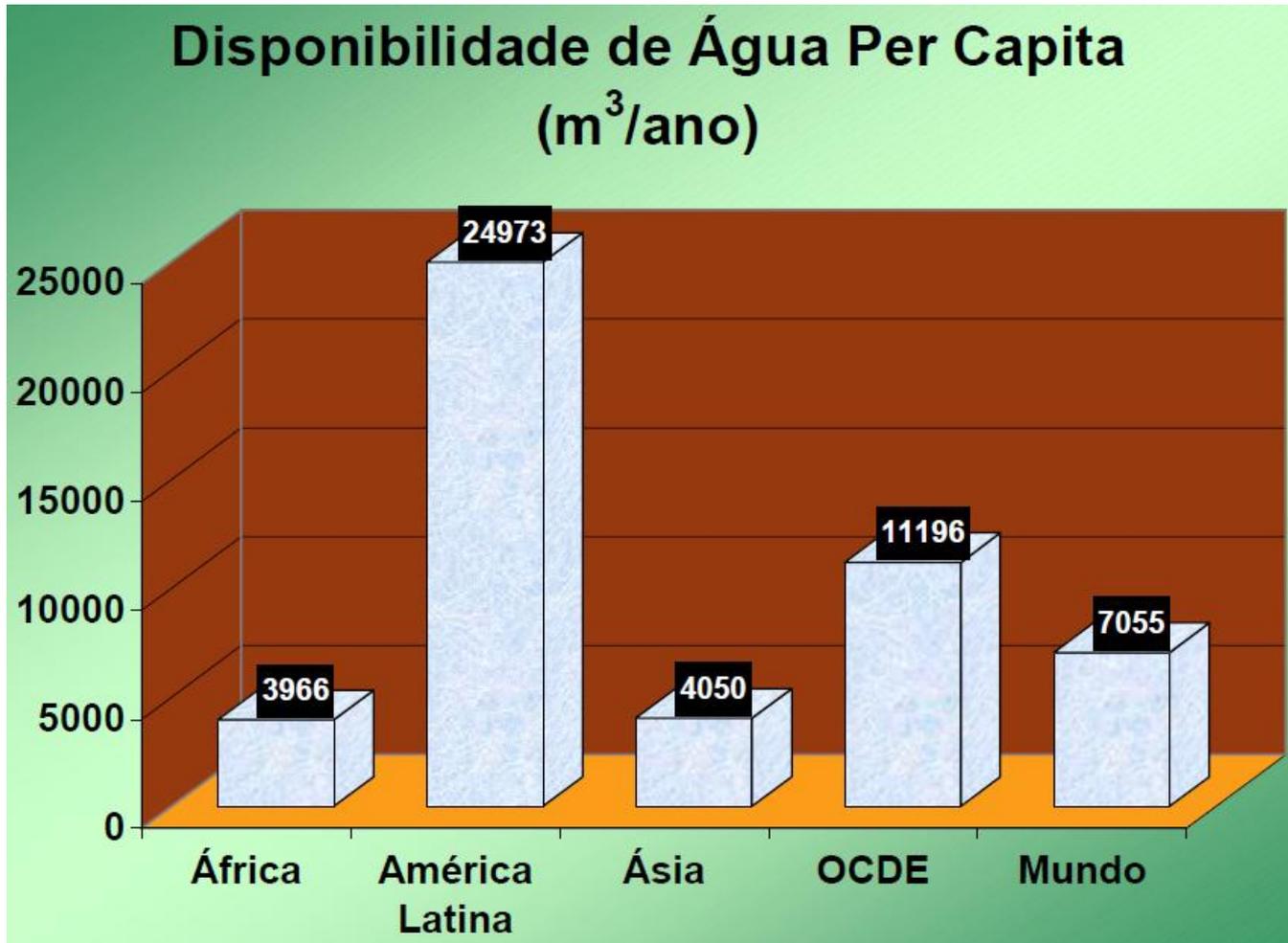
Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Recursos Hídricos no Brasil



O Brasil detém 11,6% da água doce superficial do mundo.



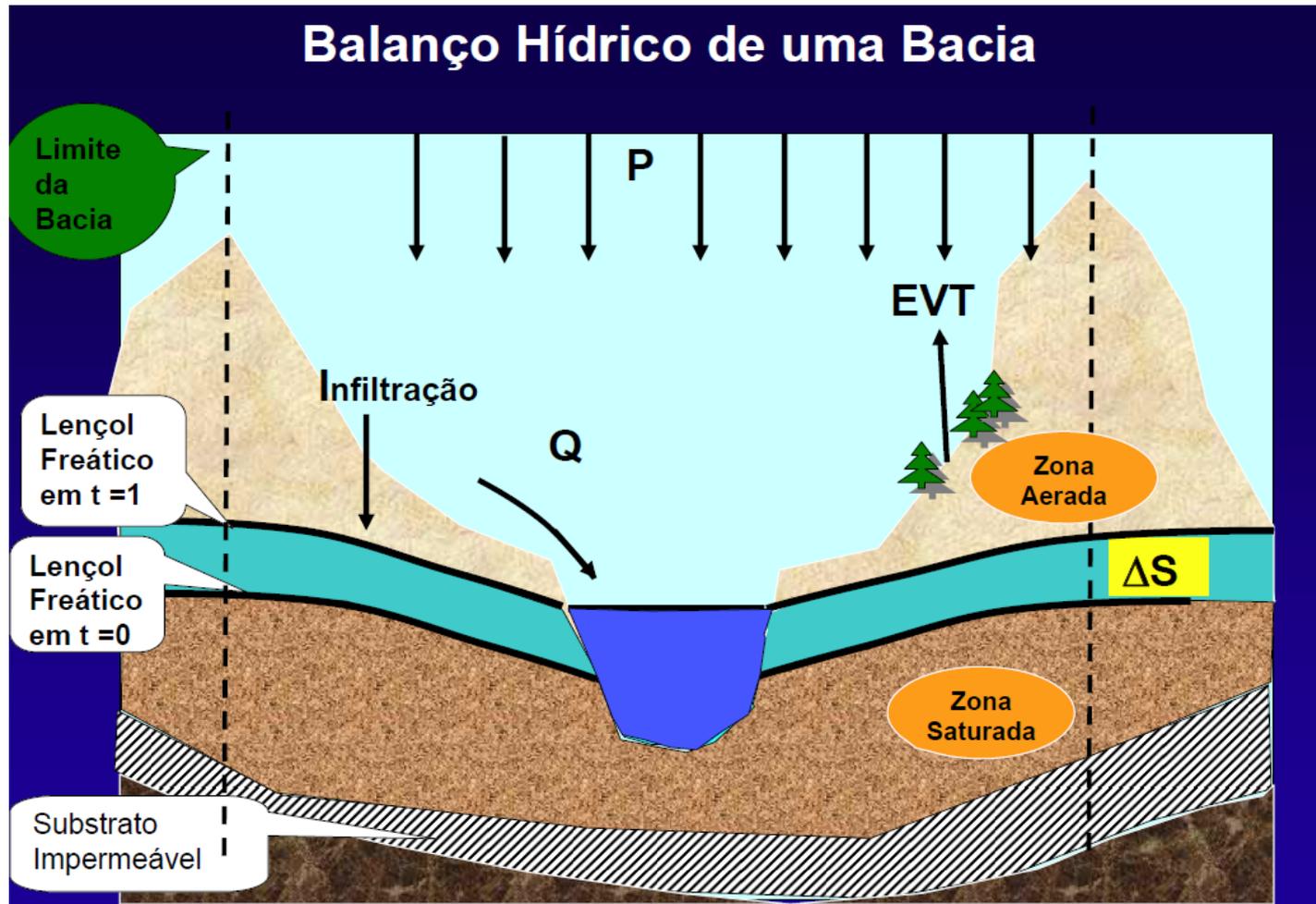
Os 70 % da água disponíveis para uso estão localizados na Região Amazônica



Os 30% restantes distribuem-se desigualmente pelo País, para atender a 93% da população

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Balanço Hídrico de uma Bacia

$$P = Q + E \pm \Delta S$$

- onde :
- P = Precipitação
- Q = Vazão
- E = Evapotranspiração
- ΔS = Armazenamento Subterrâneo

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Pluviometria

Pluviometria é o ramo da climatologia que se ocupa da distribuição das chuvas em diferentes épocas e regiões.

A) Medida das precipitações

Exprime-se a quantidade de chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos chamados *pluviômetros* ou *pluviógrafos*.

São receptáculos da água precipitada que registram essas alturas no decorrer do tempo. Tanto um como outro colhem uma pequena amostra, pois têm uma superfície horizontal de exposição de 500 cm² e 200 cm², respectivamente, colocados a 1,50 m do solo.

Transportes

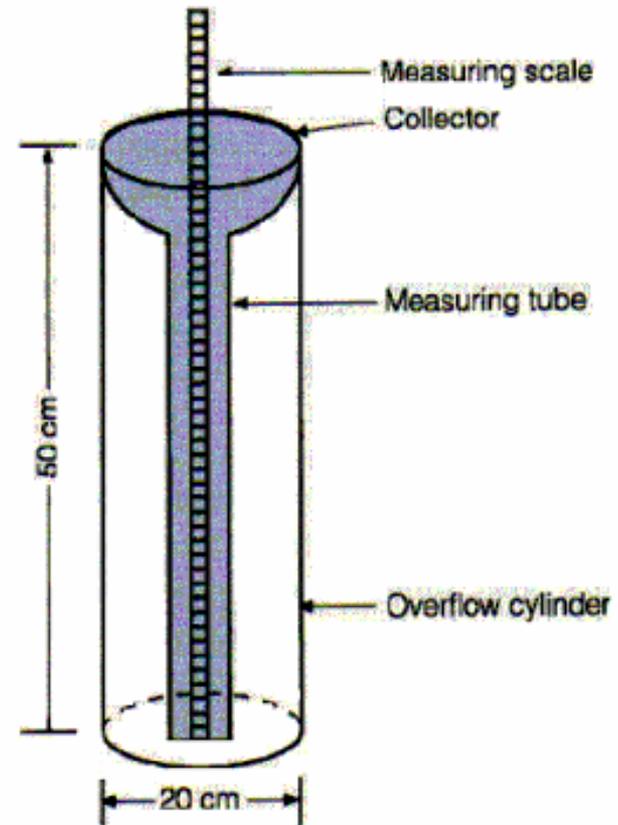
DRENAGEM DE RODOVIAS

Por definição podemos dizer que:

- Pluviômetro é o instrumento usado para medir a quantidade de chuva caída em determinado lugar e em determinado tempo;
- Pluviógrafo é o instrumento que registra a quantidade, duração e intensidade da chuva caída em determinado lugar.

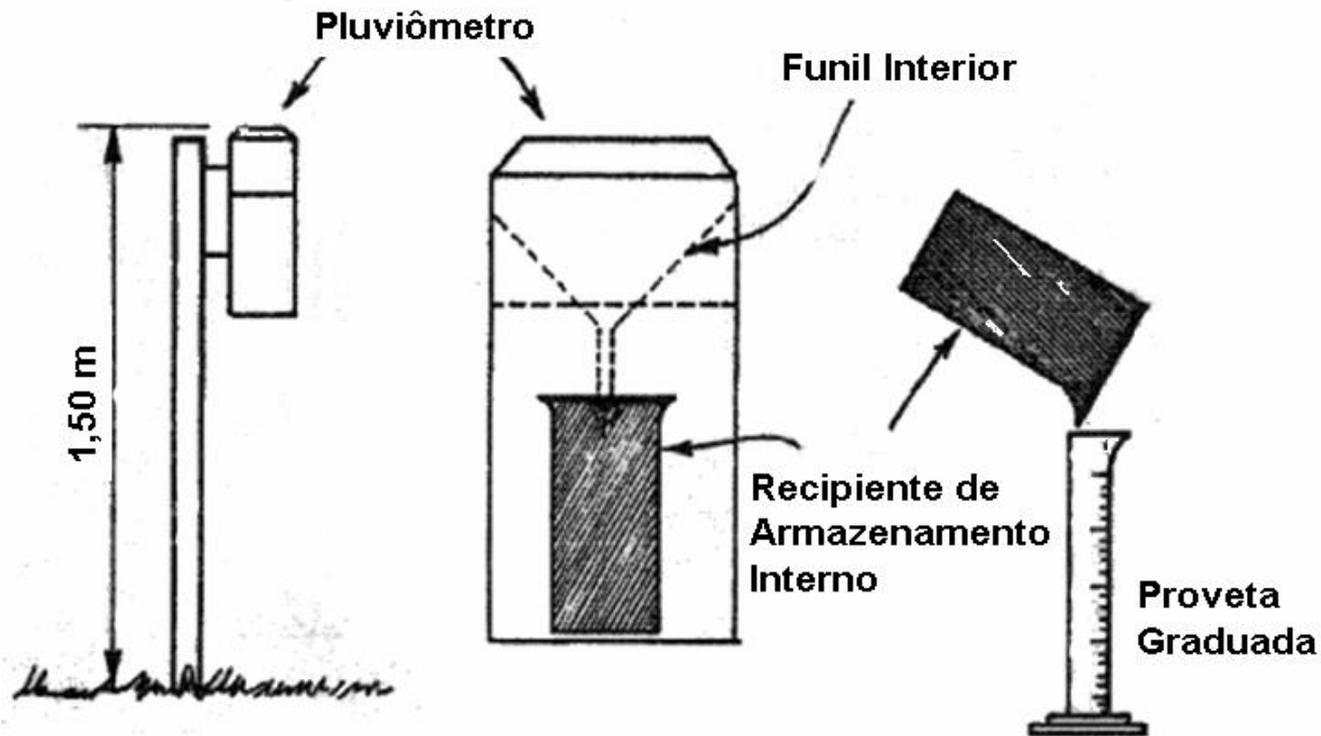
Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



Transportes

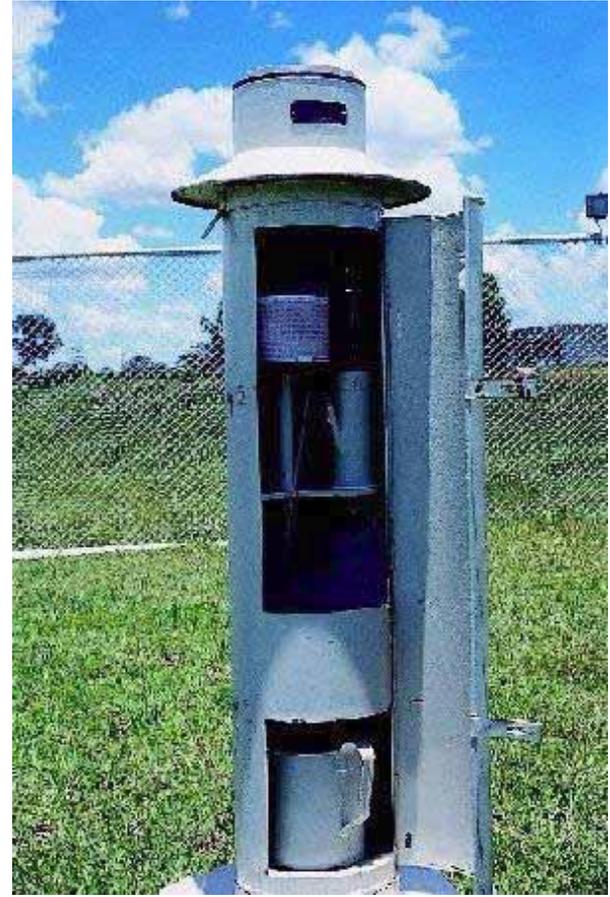
DRENAGEM DE RODOVIAS



Características básicas de um pluviômetro.

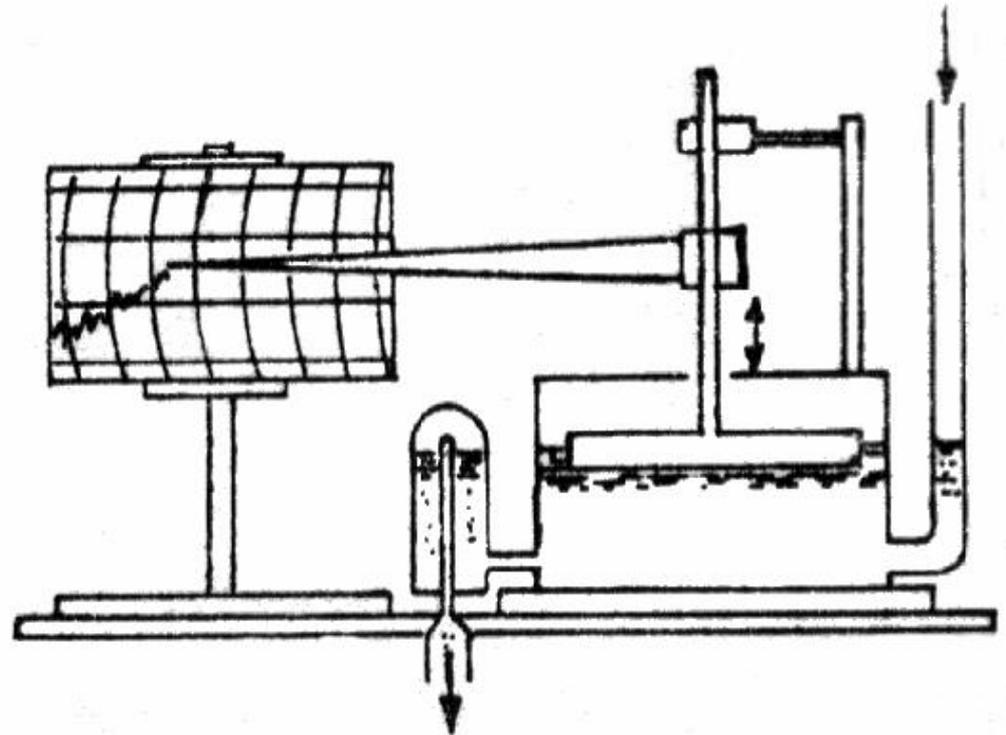
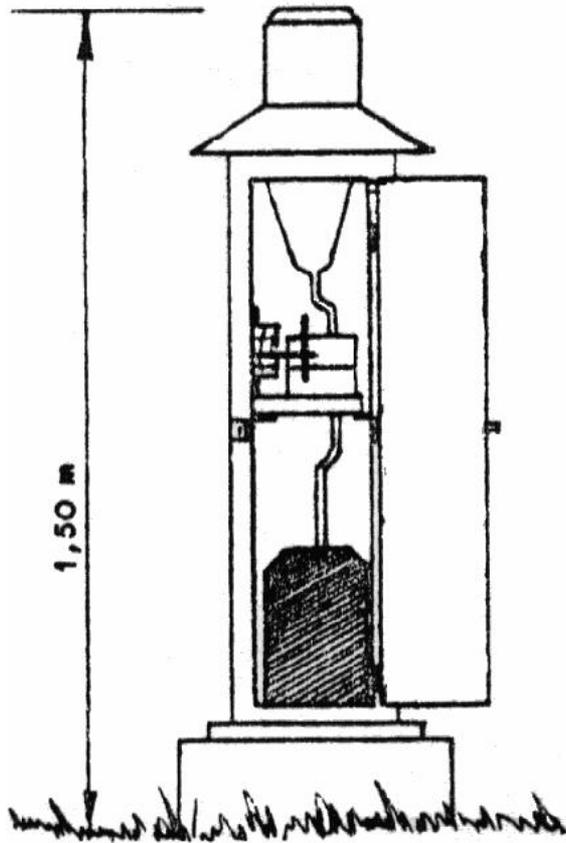
Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS



Transportes

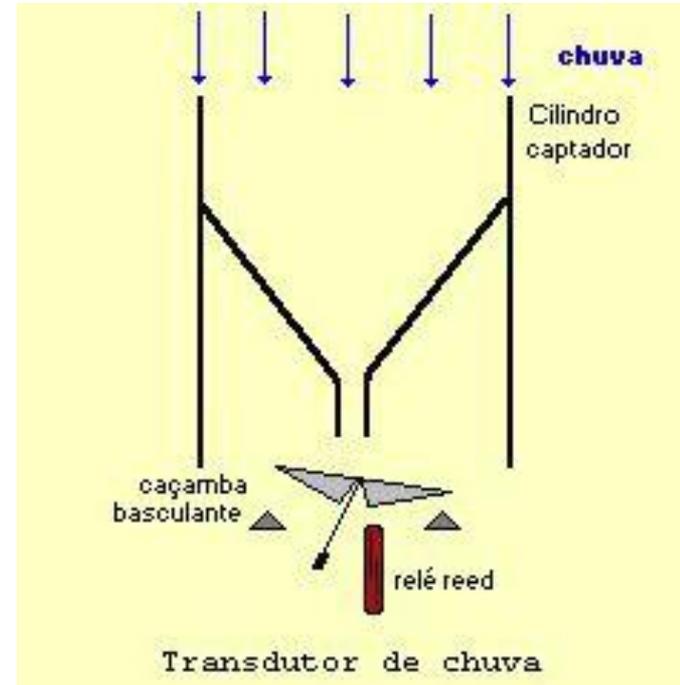
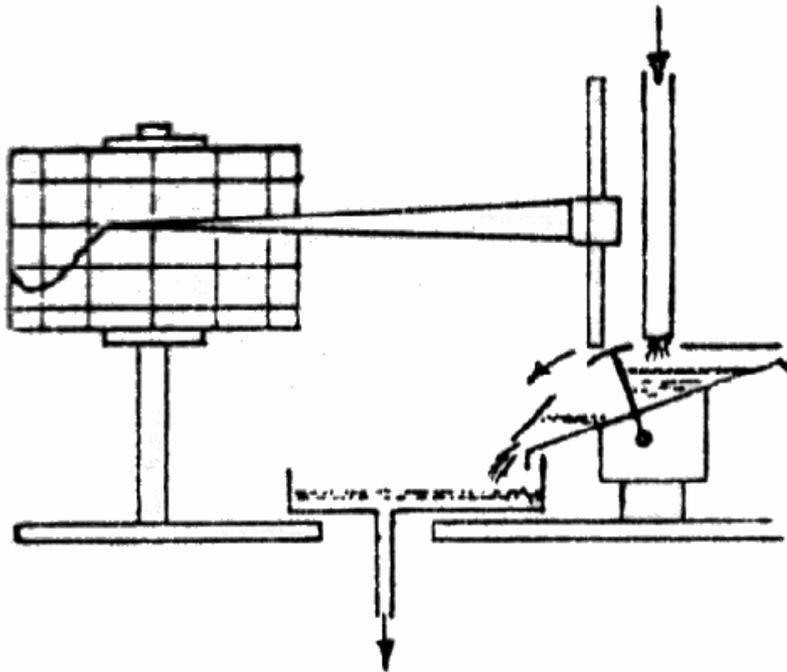
DRENAGEM DE RODOVIAS



De Bóia – Tipo Hellman

Transportes

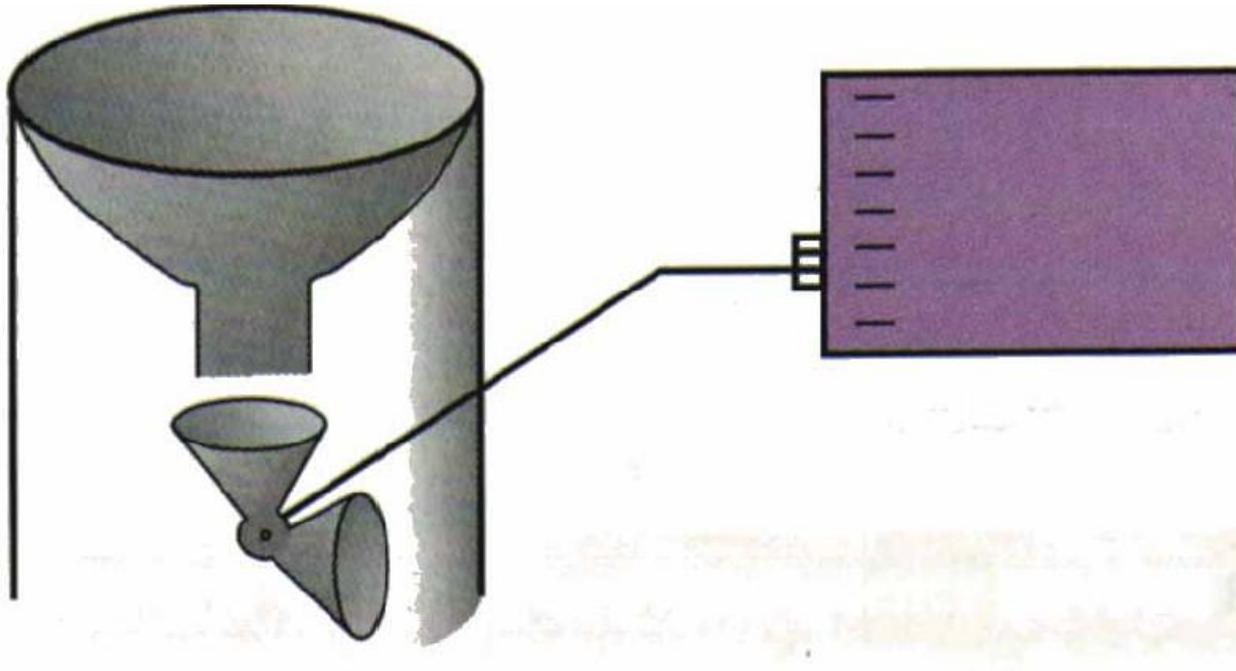
DRENAGEM DE RODOVIAS



Pluviógrafo de cuba basculante

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

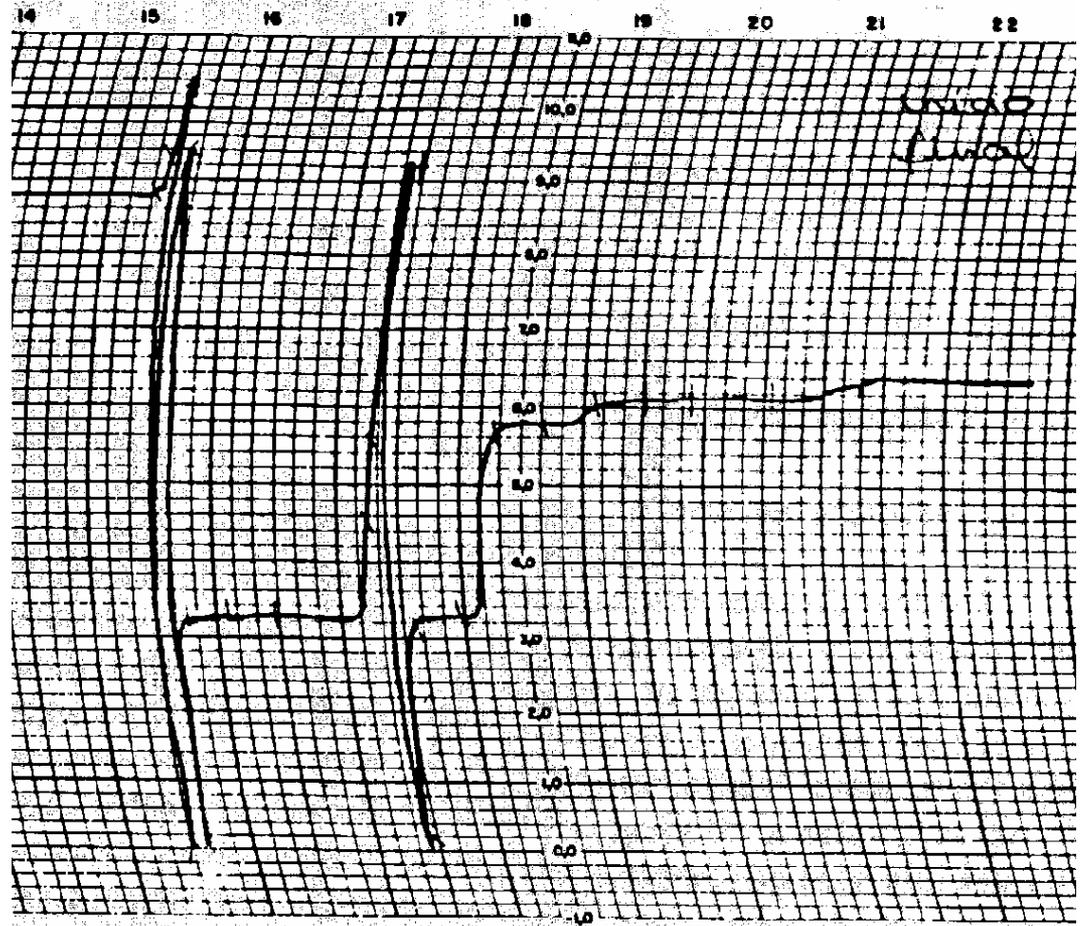


Cada vez que o "balde" enche com 1 mm de chuva, ele rotaciona, enviando um sinal para o registrador remoto.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

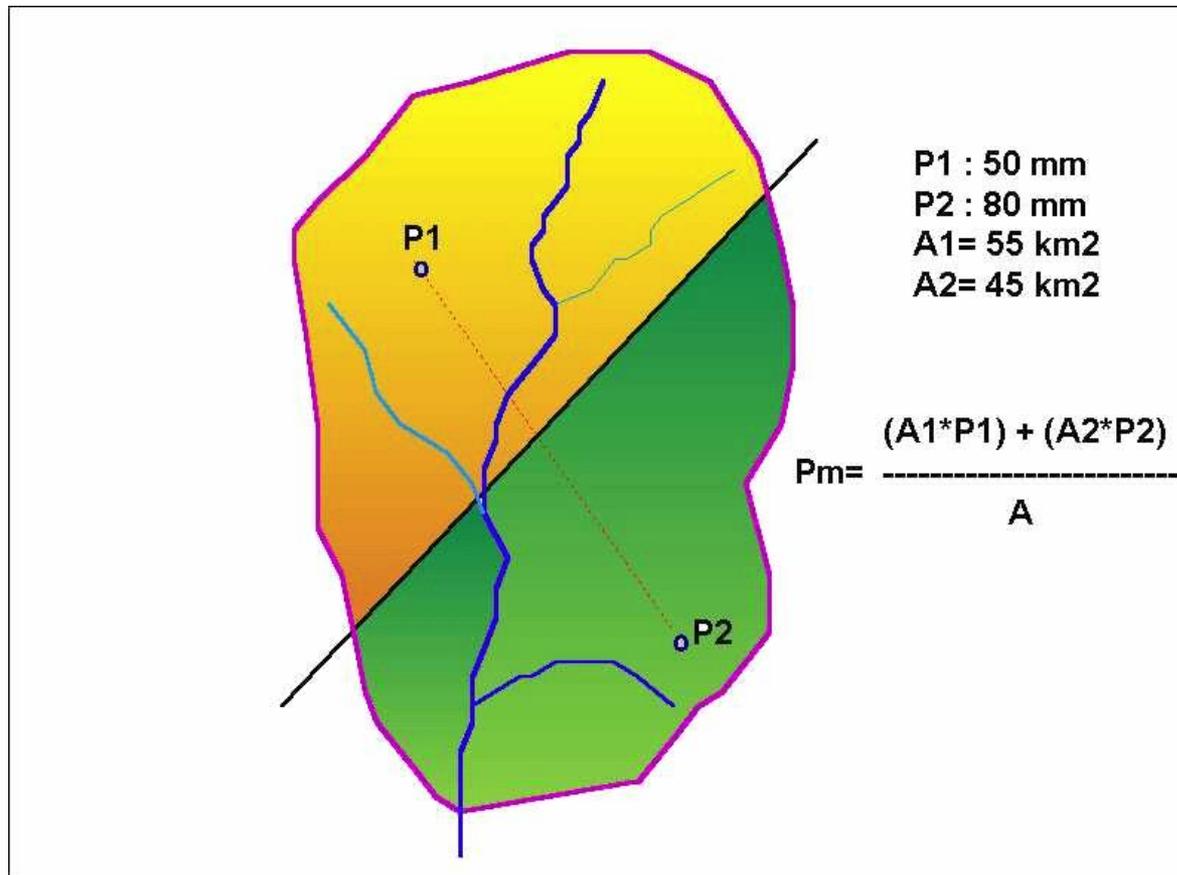
Extrato do pluviograma
Registrado em Pajuçara
(RS) – Posto IH PLG-4
em 24/11/1990



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Precipitação Média em uma Bacia



Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Valores de precipitações registrados em um posto pluviométrico são representativos para uma área limite que varia de 1 km² a 25 km².

Existem diversas relações empíricas do tipo:

$$P_m = P_0 \cdot e^{-K \cdot A^m}$$

P_m é a chuva média sobre uma área A ;

P_0 é a chuva registrada no epicentro da tormenta

k e m são parâmetros de ajuste.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

TIPOS DE CHUVA

Precipitação é a queda de água na superfície do solo, não somente no estado líquido - chuva - como também no estado sólido - neve e granizo.

A chuva é resultado do resfriamento que sofre uma massa de ar ao expandir-se, quando se eleva a temperatura, aumentando gradativamente a umidade relativa dessa massa de ar. Atingida a saturação, poderá iniciar-se a condensação e a formação das nuvens ou mesmo a precipitação, que se apresenta tanto mais intensa quanto maior for resfriamento e a quantidade de água contida no ar ascendente.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

A ascensão do ar úmido é o processo que produz condensação e precipitações consideráveis; deste modo, as chuvas são classificadas segundo as causas do movimento ascendente.

- **Chuva orográfica** - É causada pela elevação do ar ao galgar e transpor cadeias de montanhas, produzindo precipitações locais, mais elevadas e freqüentes no lado dos ventos dominantes.
- **Chuva ciclônica** - É causada por ciclones com depressões centrais provocando movimentos atmosféricos ascendentes.
- **Chuva de convecção** - Resulta dos movimentos ascendentes do ar quente mais leve do que o ar mais denso e frio que o rodeia.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

COLETA DE DADOS

Os dados de chuvas (leituras pluviométricas e pluviográficas) podem ser obtidos através da Agencia Nacional de Águas -ANA no endereço

<http://hidroweb.ana.gov.br>

PROCESSAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOGRÁFICOS

A partir da obtenção dos dados de chuva, pode-se obter através de seu processamento a intensidade relacionada com o tempo de recorrência adotado no projeto e o tempo de concentração das bacias hidrográficas

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Método de OTTO PFAFSTETTER

O método é o resultado da compilação dos registros pluviográficos em 98 postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, contido na obra do Engenheiro Otto Pfafstetter - "Chuvas Intensas no Brasil", Ministério da Viação e Obras Públicas-DNOS, 1957.

A equação caracterizadora do regime pluvial tem a seguinte expressão:

$$P = K [at + b \log. (1 + ct)]$$

P = Precipitação máxima em mm;

t = Tempo de duração de Precipitação em horas;

K = Fator de probabilidade, função do período de recorrência, da duração de precipitação e da localidade.

a,b ,c = constantes específicas de cada posto pluviográfico

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

$$K = T \frac{(\alpha + \beta)}{T^{0,25}}$$

T = tempo de recorrência, em anos;

α = valor que depende da precipitação e igual para todos os postos;

β = valor que depende da duração da precipitação e específico para cada posto

Tempo de Recorrência

Tempo de Recorrência (período de recorrência, tempo de retorno)- é o intervalo médio de anos em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento.

A escolha e justificativa de um determinado período de retorno, para determinada obra, prende-se a uma análise de economia e da segurança da obra. Quanto maior for o período de retorno, maiores serão os valores das vazões de pico encontrados e, conseqüentemente, mais segura e cara será a obra. Para um extravasor de barragem, por exemplo, adotam-se períodos de retorno de 1.000 a 10.000 anos, posto que, acidentes neste tipo de obra, além de ocasionarem prejuízos incalculáveis, geralmente acarretam elevado número de vítimas.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Em se tratando de obras de canalização de cursos d'água de pequenas bacias de drenagem para controle de inundação, como é o caso comum, os problemas são obviamente atenuados e, portanto, o período de retorno a ser adotado será menor. Em geral, de acordo com a importância da obra, este período varia de 5 a 50 anos.

No caso de córregos que atravessam zonas urbanas e suburbanas, deve-se, ainda, levar em conta o tipo de canalização a ser feita: um canal em terra sem revestimento ou um canal revestido. Escolhendo-se um canal sem revestimento, para uma mesma vazão, ou seja, para um mesmo período de retorno, ter-se-á uma seção transversal maior que a de um canal revestido. O canal sem revestimento, provavelmente custará menos; exigirá, todavia, maiores desapropriações ou redução das faixas laterais destinadas ao tráfego.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Pode-se sugerir a escolha, para período de retorno, o intervalo de 10 anos, tendo em vista o dimensionamento de um canal em terra. Caso se verifique, no futuro, a insuficiência do canal, poder-se-á revesti-la, duplicando assim sua capacidade de vazão, com aproveitamento integral das obras já executadas.

Para o dimensionamento hidráulico das obras de artes especiais que são estruturas localizadas que dificilmente permitem melhorias posteriores e que podem constituir um ponto de estrangulamento, é mais conveniente a adoção de um período de retorno maior.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Escolha do Período de Retornos – Risco calculado

O período de retorno estabelecido por análise de frequência indica simplesmente o intervalo médio entre eventos iguais ou maiores que uma dada grandeza ou a probabilidade de que tal evento ocorra em um ano qualquer. Não obstante, há uma evidente possibilidade de que os períodos de retorno reais possam ser substancialmente menores que a média para um dado evento.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Se, para um longo período de tempo - 1.000 anos, por exemplo - foi registrado o número de eventos anuais que igualaram ou excederam um certo valor especificado e este número for dividido pelos 1.000 anos, o quociente seria a freqüência média de tais eventos.

Assim, se uma chuva intensa de 2 mm por minuto ocorre com uma freqüência de 1 vez em 10 anos, o total de ocorrências em 1.000 anos será de $1.000/10 = 100$.

A freqüência é o número de ocorrências dividido pelo período de tempo, isto é, $100/1.000 = 0,10$. Entretanto, nos primeiros 10 anos poderiam ter caído 3 chuvas iguais ou superiores a 2 mm/min; os seguintes anos poderiam passar sem nenhuma chuva de tal intensidade, etc.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Do mesmo modo, as 3 chuvas caídas nos primeiros 10 anos podem ter sido chuvas intensas com períodos de retorno, por exemplo, 50, 100 e 500 anos.

Assim, caso se deseje determinar uma intensidade de chuva para o projeto que provavelmente não ocorrerá durante a vida da estrutura, é necessário empregar um período de retorno maior do que o prazo estipulado.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

O emprego de um período de retorno maior, qualquer que seja o seu valor, significa que o engenheiro quer adotar um risco calculado.

Todavia, há uma possibilidade de que aquele período de retorno da chuva será excedido ao menos uma vez em N anos.

A probabilidade de uma chuva que tem um período de retorno ocorrendo uma vez em N anos é dada pela equação:

$$P = 1 - q^n \quad q = \text{probabilidade de não ocorrência em um ano especificado.}$$

Se o evento tem uma probabilidade de $1/5$ para cada tentativa (período de retorno de 5 anos), tem-se:

$$P = 1 - 0,2 = 0,8$$

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Exemplo:

Com uma probabilidade de não ocorrência $q = 0,8$. Qual é a probabilidade de que um evento ocorra pelo menos uma vez em 3 anos?

Tem-se:

$$P = 1 - 0,8^3 = 1 - 0,512$$

$$P = 0,488$$

Isto significa que há, aproximadamente, uma possibilidade em duas que o valor de intensidade de chuva de 5 anos dada pela equação de chuvas ser excedido uma vez nos próximos 3 anos.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Os limites de uma bacia contribuinte são definidos pelos divisares de água ou espigões que a separam das bacias adjacentes.

Segundo Paulo Sampaio Wilken, "A bacia contribuinte de um curso de água ou bacia de drenagem é a área receptada da precipitação que alimenta parte ou todo o escoamento do curso de água e de seus afluentes".

Segundo a definição de José Augusto Martins, "Bacia hidragráfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso d'água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo atinge a seção considerada".

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Uma bacia contribuinte tem um único despejo que é o ponto no qual o curso d'água corta a rodovia.

Características Físicas

O escoamento de um curso d'água ou deflúvio, é um produto do ciclo hidrológico e influenciado por dois fatores:

Fatores Climáticos : Chuva e evapotranspiração que apresentam variações ao longo do ano.

Fatores Fisiográficos : Relativos as características da bacia contribuinte e do leito dos cursos d'água.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Características Topográficas

1 - Individualização da Bacia Contribuinte

A individualização da bacia contribuinte é feita pelo traçado em planta topográfica das linhas dos divisares de água ou espigões. A planta deve ter altimetria e escala adequada.

- Para bacias urbanas as mais adequadas são: 1 para 5.000 (curvas de nível de 5 em 5 metros)
- Bacias de zonas rurais é suficiente a escala de 1 para 10.000 (com curvas de nível de 10 em 10 metros).
- Projetos Rodoviários escala 1 :50.000 (curvas de nível de 20 m em 20 m) e 1:100.000 (curvas de nível de 50 m em 50 m).

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Características Topográficas

2 – Declividade da Bacia

O relevo da bacia contribuinte é um dos principais fatores na formação das cheias, afetando:

- as condições meteorológicas,
- processos erosivos,
- regime hidráulico das cheias
- velocidade de escoamento e
- perdas de água durante as chuvas.

A declividade média do relevo de uma bacia contribuinte pode ser determinada mediante planta com curvas de nível.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Características Topográficas

2 – Declividade da Bacia

O relevo tem duplo efeito nas perdas de água:

De um lado, influencia o regime de infiltração e, de outro, afeta as perdas através do enchimento do micro-relevo.

Quanto menos inclinado for o terreno, maior será a influência do micro-relevo nas perdas de água. O estudo do efeito topografia e do micro-relevo, na formação da cheias, oferece a possibilidade de garantir a estabilidade de estruturas hidráulicas contra enchentes, especialmente em regiões mais acidentadas e, em consequência, a redução dos custos de construção.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Características Topográficas

3 – Forma da Bacia

Uma bacia contribuinte é definida, primeiramente, pelo seu contorno, que tem certa forma e inclui uma certa superfície "A".

A forma terá uma influência sobre o escoamento global e, sobretudo sobre o andamento do hidrograma resultante de uma determinada chuva;

Assim, uma bacia estreita e muito alongada não se comporta, em igualdade de outras condições, da mesma maneira que uma bacia de forma muito alargada e curta.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Tempo de Concentração

É o intervalo de tempo entre o início da precipitação e o instante em que toda a bacia contribui para a vazão na seção estudada.

Recomenda-se que o projetista deverá escolher a fórmula do tempo de concentração tendo em vista:

- A) a mais compatível com a forma da bacia;
- B) a mais adaptável à região do interesse da rodovia;
- C) a que contenha o maior número de elementos físicos: declividade de talvegue, natureza do solo, recobrimento vegetal, etc.;
- D) a distinção entre áreas rurais e urbanas.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Tempo de Concentração

fórmulas para o cálculo do tempo de concentração

Tempo de concentração para o método Racional em bacias com Área < 4 km²

1.1 – R. Peltier e J.L. Bonnenfant

1.2 – Formula de Kirpich

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

1.1 – R. Peltier e J.L. Bonnenfant

O tempo de concentração é calculado pela expressão:

$$T_c = T_1 + T_2$$

onde:

T_1 = tempo de escoamento em minutos, tabelados em função da cobertura vegetal e declividade do talvegue. (Quadro n.º 2).

$$T_2 = \beta \times T'_2$$

β = (Quadro n.º 2)

T'_2 = (Quadros n.ºs 3, 4, 5, 6, 7 e 8)

$$\alpha = \frac{L}{\sqrt{A}}$$

α = coeficiente de forma da bacia

L = comprimento do talvegue em hm.(hectometro)

A = área da bacia em ha.(hectare)

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

1.1 – R. Peltier e J.L. Bonnenfant

QUADRO Nº2

TEMPOS DE ACUMULAÇÃO E COEFICIENTE DE CORREÇÃO DA COBERTURA VEGETAL							
NATUREZA DA COBERTURA VEGETAL	CORREÇÃO DA COBERTURA VEGETAL	VALORES DE T_1 (min)					
		DECLIVIDADE DO TALVEGUE i (m/m)					
	β	0,025	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Plataformas de Estradas, Terrenos com Vegetação Rala sem Vegetação ou Rochosa.	1,0	7	5	3	2	2	2
Vegetação Normal, Gramas, etc.(região montanhosa)	1,35	16	13	8	6	5	5
Vegetação Densa e Cerrados (Região plana)	1,67	20	16	10	8	7	6
Floresta Densa (região plana com alagadiços)	2,5	20	20	18	10	9	8

O que varia é a declividade

 $i = 0.05 \text{ m/m}$

α	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0
A (ha)													
1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	8
2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	9	12
5	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	12	16
10	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	15	20
20	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	24	32
30	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	27	35
40	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	30	40
50	12	13	14	16	17	18	19	20	22	23	24	36	48
60	17	19	20	22	24	25	27	29	31	32	34	51	68
70	21	23	25	27	29	31	34	36	38	40	42	63	84
80	23	25	28	30	32	34	37	39	41	44	46	69	92
90	25	27	30	32	35	37	40	42	45	47	50	75	100
100	27	30	32	35	38	40	43	45	49	51	54	81	108
150	34	37	41	44	48	51	54	58	61	65	68	102	135
200	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	120	160
250	49	54	59	64	69	73	78	83	88	93	98	147	198
300	57	63	68	74	80	85	91	97	102	108	114	171	228
400	77	85	92	100	108	116	123	131	139	146	154	231	306

Quadros

3,4,5,6,7 e 8

são semelhantes
a este ao lado

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

1.2 – Formula de Kirpich

$$T_c = \left(\frac{0,294.L}{\sqrt{i}} \right)^{0,77}$$

T_c = Tempo de concentração , em h ;
 L = Extensão do talvegue principal, em km ;
 i = Declividade efetiva do talvegue em %.

$$i = \left[\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{i_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{i_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{i_3}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{i_n}}} \right]^2$$

L = Comprimento total do talvegue em Km;
 $L_1, L_2 \dots L_n$ = Comprimentos Parciais do Talvegue em Km;
 $i_1, i_2 \dots i_n$ = Declividades Parciais em m/m.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Coeficiente de Escoamento ou Deflúvio – “C”

Do volume precipitado sobre a bacia, apenas uma parcela atinge a seção de vazão, sob a forma de escoamento superficial. Isto porque parte é interceptada ou preenche as depressões ou se infiltra rumo aos depósitos subterrâneos.

O volume escoado é então um resíduo do volume precipitado e a relação entre os dois é o que se denomina, geralmente de coeficiente de deflúvio ou de escoamento.

Uma definição mais simples poderá ser: Coeficiente de deflúvio ou coeficiente de escoamento superficial ou ainda coeficiente de "run-off", é a relação entre o volume escoado superficialmente e o volume precipitado.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Coeficiente de Escoamento ou Deflúvio – “C”

Coeficiente de Deflúvio a ser adotado em função da área da bacia

Área < 4 km² - Tabela R. Peltier / J.L. Bonnenfant

4 km² < Área < 10 km² - Tabela de Burkli-Zieger

Área > 10 km² - Tabela do USA - Soil Conservation Service

Área < 4 km² - Tabela R. Peltier / J.L. Bonnenfant

VALORES DO COEFICIENTE DE RUN - OFF "C"								
NATUREZA DA COBERTURA	0 < A < 10 ha				10 ha < A < 400 ha			
	< 5%	5%-10%	10%-30%	>30%	<5%	5% - 10%	10% - 30%	>30%
Plataformas e Pavimentos de estradas	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Terrenos Desnudos ou Erodidos	0,55	0,65	0,70	0,75	0,55	0,60	0,65	0,70
Culturas Correntes e Pequenos Bosques	0,50	0,55	0,60	0,65	0,42	0,55	0,60	0,65
Matas e Cerrados (região montanhosa)	0,45	0,50	0,55	0,60	0,30	0,36	0,42	0,50
Floresta Comum (região plana)	0,30	0,40	0,50	0,60	0,18	0,20	0,25	0,30
Floresta Densa (região plana com alagadiço)	0,20	0,25	0,30	0,40	0,15	0,18	0,22	0,25

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

4 km² < Área < 10 km² - Tabela de Burkli-Zieger

	C
Áreas densamente construídas	0.70–0.75
Zonas residenciais comuns	0.55–0.65
Zonas urbanas (região montanhosa)	0.30–0.45
Campos de cultura (reg. plana)	0.20–0.30
Parques, jardins (plana c/ alagadiço)	0.15–0.25

Área > 10 km² - Tabela do USA - Soil Conservation Service

NÚMERO DE DEFLÚVIO - CN

UTILIZAÇÃO DA TERRA	CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE	TIPOS DE SOLO			
		A	B	C	D
Terrenos Cultivados	Sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Fileiras retas	70	80	87	90
Plantações Regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	73	79	82
	Fileiras retas	64	76	84	88
Cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Fileiras retas	62	75	83	87
Legumes ou Campos Cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	84
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos Permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	Normais	59	74	82	86
Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	De superfície duro	74	84	90	92

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Cálculo das Vazões

1. Método Racional

1.1 Método Racional - Área < 4 km² (tempo de concentração de Peltier-Bonnefant)

$$Q = 0,0028.C.I.A$$

$$Q = \text{m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{ha}$$

$$I = \text{mm/h}$$

C = coeficiente de deflúvio do R. Peltier - J.L. Bonnenfant

1.2 Método Racional - Área < 4 km² (tempo de concentração-Kirpich)

$$Q = 0,0028.C.I.A$$

$$Q = \text{m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{ha}$$

$$I = \text{mm/h}$$

C = coeficiente de deflúvio do R. Peltier - J.L. Bonnenfant

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Cálculo das Vazões

2. Método Racional com coeficiente de retardo
 $4\text{km}^2 < \text{Área} < 10\text{km}^2$ (tempo de concentração-Kirpich)

$$Q = 0,28.C.I.A.\phi$$

$$Q = \text{m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{km}^2$$

$$I = \text{mm}/\text{h}$$

C = coeficiente de deflúvio de Burkli - Ziegler

ϕ = coeficiente de retardo

A expressão para o coeficiente de retardo é:

$$\phi = \frac{1}{(100A)^{1/n}} \quad \text{para } A \text{ em km}^2$$

Valor de n

Declividade < 0,5 %	n = 4
0,5 % ≤ Declividade < 1,0%	n = 5
Declividade ≥ 1,0 %	n = 6

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Intensidades das Chuvas

Exemplos Brasileiros

a) Cidade de São Paulo (A. G. Occhipintt e P. M. Santos)

- para duração de até 60 min

$$i = A/(t + 15)^r \quad \text{para } A = 27,96.T^{0,112} \text{ e } r = 0,86T^{-0,0114},$$

i - mm/min e t - min

- para durações superiores

$$i = 42,23.T^{0,15} / t^{0,82}, \quad i - \text{mm/h e } t - \text{min};$$

T = Tempo de retorno em anos t = duração da chuva em min.

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Intensidades das Chuvas

b) Cidade do Rio de Janeiro (Eng^o Ulisses M. A. Alcântara)

$$i = 1239.T^{0,15}/(t+20)^{0,74}, i - \text{mm/h};$$

c) Curitiba (Prof. P. V. Parigot de Souza)

$$i = 99,154.T^{0,217}/(t+26)^{1,15}, i - \text{mm/min};$$

T = Tempo de retorno em anos **t = duração da chuva em min.**

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS

Intensidades das Chuvas

d) João Pessoa (Eng^o J. A. Souza)

$$i = 369,409.T^{0,15}/(t+5)^{0,568}, i - \text{mm/h}$$

e) Sertão Oriental Nordestino (Projeto Sertanejo)

$$i = 3609,11.T^{0,12}/(t + 30)^{0,95}, i - \text{mm/h}$$

T = Tempo de retorno em anos **t = duração da chuva em min.**

Transportes

DRENAGEM DE RODOVIAS