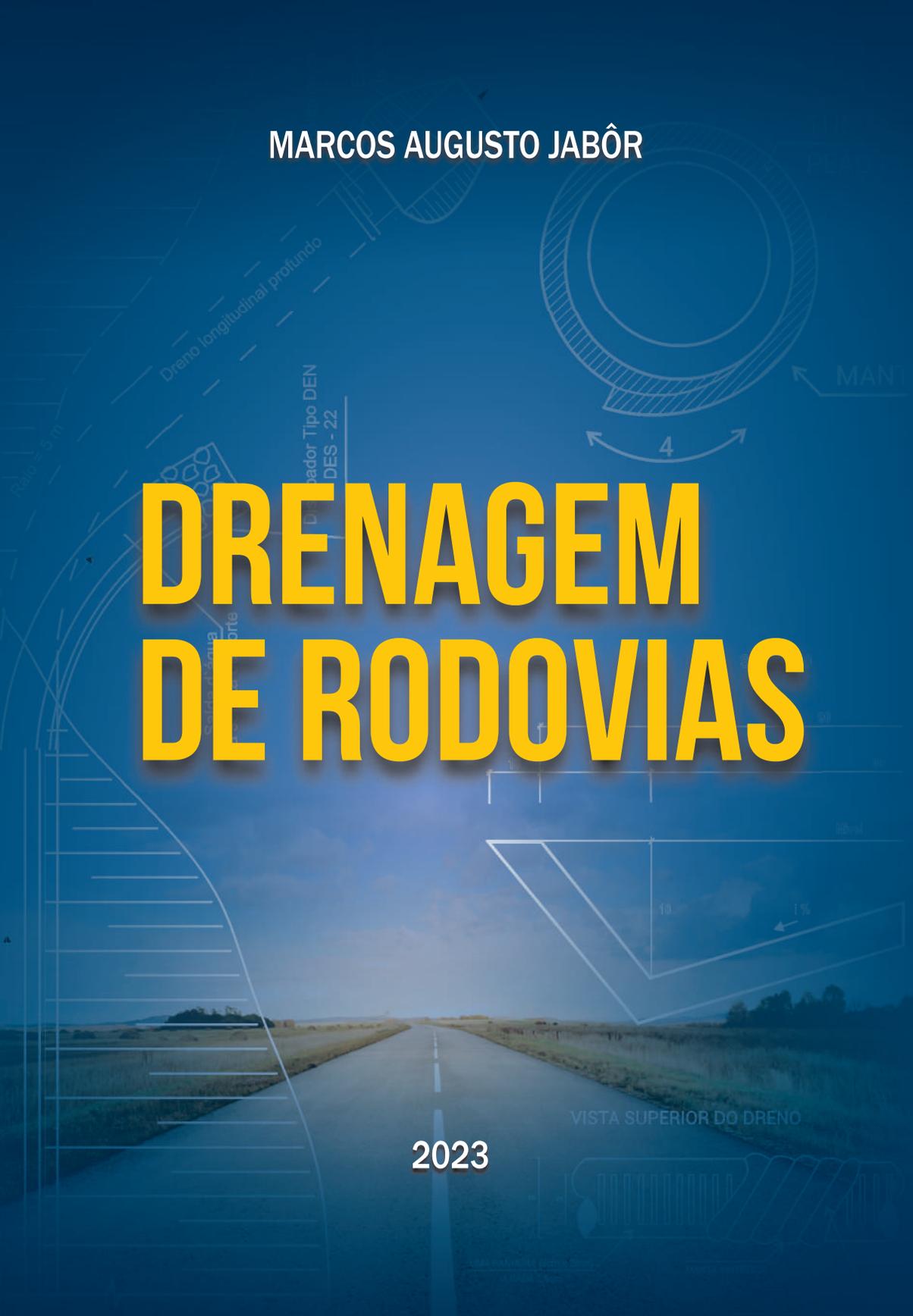


MARCOS AUGUSTO JABÔR

DRENAGEM DE RODOVIAS

2023

VISTA SUPERIOR DO DRENO



Marcos Augusto Jabôr

DRENAGEM DE RODOVIAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Lumos Assessoria Editorial

J11 Jabôr, Marcos Augusto.

Drenagem de rodovias / Marcos Augusto Jabôr. — 1. ed.
— Belo Horizonte : M. A. Jabôr, 2023.
240 p. ; 23 cm.

Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-6036-146-1

1. Drenagem de rodovias. 2. Estradas - Drenagem.
3. Rodovias - Projetos e construção. 4. Pavimentos -
Hidrologia. I. Título.

CDD23: 625.8

Bibliotecária: Priscila Pena Machado - CRB-7/6971

Diagramação e ilustração: **Max Da Pieve**
Revisão e pesquisa bibliográfica: **Maria Regina de Macêdo**
Revisão final: **Denise Campos Jabôr**
Arte da capa: **Max Da Pieve**

Agradecimentos

Tenho muito a agradecer a diversas pessoas, mas, primeiramente, a Deus que permitiu que em minha estadia neste mundo, pudesse trabalhar e me dedicar à Drenagem de Rodovias. Aos meus pais, José Jabor (*in memoriam*) e Leopoldina Teixeira Jabor (*in memoriam*) pelos sacrifícios que tiveram que fazer para possibilitarem que seus filhos tivessem condições de fazer um curso superior. Agradeço, ainda, à minha esposa Denise, minha companheira e parceira nesta trajetória, sem ela não teria conseguido chegar até aqui. Meus filhos Marcela e Matheus, que sempre me incentivaram e me deram apoio e, também, não poderia esquecer de minha irmã Engenheira Maria Ângela Jabor (*in memoriam*), que ajudou meus pais no período em que eu estava cursando engenharia, proporcionou meu primeiro emprego de estagiário e a conseguir meu primeiro emprego como engenheiro, sempre me incentivando a progredir e evoluir dentro do conhecimento técnico. Agradeço, por fim, ao meu amigo e parceiro nos trabalhos de consultoria Engenheiro Thiago Mendes e aos meus irmãos Flávio Jabor (*in memoriam*) e Jorge Jabor, e aos meus tios Américo (*in memoriam*), Zita (*in memoriam*), Ailton (*in memoriam*) e Iolanda que me abrigaram em suas casas e me acolheram como filho no tempo em que estive estudando em suas cidades.



Sumário

1	PREFÁCIO.....	11
2	INTRODUÇÃO.....	13
I.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	15
1.1	Hidrologia.....	18
1.2	Ciclo Hidrológico.....	19
1.3	Pluviometria.....	21
1.3.1	Medida de Precipitações.....	21
1.3.2	Frequência de Totais Precipitados.....	25
1.3.3	Tipos de Chuvas.....	27
1.4	Coleta de dados.....	28
1.5	Processamento dos dados pluviográficos e pluviométricos.....	30
1.5.1	Otto Pfafstetter.....	31
1.5.2	Método das Isozonas.....	35
1.5.3	Companhia de Saneamento de Minas Gerais.....	37
1.6	Tempo de recorrência.....	43
1.7	Estudo das bacias de contribuição ou bacias hidrográficas.....	49
1.8	Estudos das características físicas.....	52
1.8.1	Características topográficas individualização da bacia contribuinte.....	52
1.8.2	Forma da bacia.....	55
1.9	Tempo de concentração.....	55
1.9.1	Tempo de concentração para o Método Racional em bacias com Área $\leq 4 \text{ km}^2$	56
1.9.1.1	Peltier, R./Bonnenfant, J. L.....	56
1.9.1.2	Tempo de concentração de Kirpich.....	60
1.9.1.3	Fórmula do DNOS.....	61
1.10	Coefficiente de escoamento ou coeficiente de deflúvio.....	62
1.10.1	Área $\leq 4 \text{ km}^2$	63
1.10.1.1	Peltier, R./Bonnenfant, J. L.....	63
1.10.1.2	Engenheiros Gariglio e Ferrari.....	63
1.10.2	$4 \text{ km}^2 < \text{Área} \leq 10 \text{ km}^2$	64
1.10.3	Área $> 10 \text{ km}^2$	64

1.11 Cálculo das vazões das bacias hidrográficas.....	67
1.11.1 Método Racional.....	67
1.11.1.1 Método Racional - Peltier e Bonnenfant.....	67
1.11.1.2 Método Racional - Kirpich.....	68
1.12 Método Racional com coeficiente de retardo.....	68
1.13 Hidrograma triangular sintético.....	69
1.14 Exemplos de cálculos de vazões das bacias hidrográficas.....	73
1.14.1 Método Racional com coeficiente de deflúvio e tempo de concentração de Peltier e Bonnenfant.....	75
1.14.2 Método Racional com coeficiente de deflúvio dos engenheiros Baptista e Ferrari e tempo de concentração de Kirpich.....	77
1.14.3 Método Racional com coeficiente de retardo $4 \text{ Km}^2 < \text{Área} \leq 10 \text{ Km}^2$	79
1.14.4 Método do hidrograma triangular sintético.....	82
1.15 Exemplos de planilhas de cálculo de vazões.....	85
II PROJETO DE DRENAGEM.....	95
2.1 Introdução.....	97
2.2 Obras de arte corrente.....	99
2.2.1 Bueiros de Greide.....	99
2.2.2 Bueiros de Grota.....	100
2.2.3 Bueiros executados por método não destrutivo.....	117
2.2.3.1 Tunnel Liner.....	119
2.2.3.2 Túnel Bala.....	123
2.2.3.3 Método não destrutivo com sonda dirigida.....	125
2.2.3.4 Método não destrutivo - Jacking Pipe.....	125
2.2.3.5 NATM - New Austrian Tunnelling Method.....	126
2.2.4 Fases do desenvolvimento do projeto de bueiro de grota.....	129
2.2.5 Fases para a implantação do bueiro de grota.....	133
2.3 Obras de arte especiais-Pontes.....	134
2.4 Drenagem superficial.....	148
2.4.1 Valetas de proteção de corte e aterro.....	150
2.4.2 Mureta de proteção em corte em rocha.....	155
2.5 Sarjetas de corte e aterro.....	156
2.6 Saídas d`água.....	171
2.6.1 Saídas d`água de corte.....	171
2.6.2 Saídas d`água de aterro.....	172
2.7 Descidas d`água em aterro.....	174

2.8 Descidas d`água em degraus.....	176
2.9 Descidas d`água em corte.....	176
2.10 Dissipadores de energia.....	178
2.11 Caixas coletoras.....	179
2.12 Sarjetas de banquetas de corte e aterro.....	180
2.13 Drenagem profunda.....	181
2.14 Dreno profundo longitudinal.....	183
2.14.1 Recomendações para elaboração do projeto de drenagem profunda longitudinal.....	184
2.14.2 Drenos profundos longitudinais mais usuais.....	187
2.14.3 Granulometria do material filtrante.....	191
2.14.4 Localização do dreno profundo longitudinal.....	192
2.15 Dreno Espinha de Peixe.....	193
2.16 Drenos Sub-horizontais.....	195
2.16.1 Método para cravação de drenos sub-horizontais.....	197
2.16.2 Recomendações.....	199
2.17 Colchão drenante.....	200
2.18 Terminal de dreno profundo.....	202
2.19 Dreno de talvegue.....	203
2.20 Dreno sub-superficial de pavimento.....	205

III CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DOS

DISPOSITIVOS DE DRENAGEM.....	213
3.1 Construção.....	215
3.1.1 Drenagem de Grotas.....	215
3.1.2 Drenagem superficial.....	221
3.1.3 Drenagem profunda.....	226
3.1.4 Obras de arte especiais - Pontes.....	228
3.2 Manutenção.....	228
3.2.1 Bueiros de Grotas e de Greide.....	229
3.2.2 Drenagem superficial.....	230
3.2.3 Drenagem profunda e Drenagem de Pavimento.....	231
BIBLIOGRAFIA.....	233



“Para adquirir conhecimento, é preciso estudar; Mas para adquirir a sabedoria, é preciso observar.”

Marilyn vos Savant



PREFÁCIO

Ao longo dos anos, as várias especialidades da engenharia vêm ganhando profundidade e capacidade resolutiva dos mais diversos problemas, dos simples aos mais complexos. Os conceitos antes somente mencionados e vagamente discutidos como se fossem devaneios analíticos, passaram a fazer parte do cotidiano dos doutores, dos acadêmicos, dos projetistas e analistas nos mais variados recantos da comunidade técnica. Entretanto, algumas disciplinas da engenharia não podem ficar atreladas a teorias e mais teorias, muito porque se trata, acima de tudo, da observação crítica da natureza e seus efeitos práticos nas obras realizadas pelo homem. Uma dessas disciplinas é a drenagem. No que se refere aos estudos hidrológicos e projetos de drenagem, o principal papel do especialista é o de prover soluções que possam entregar aos usuários funcionalidades plenas, ou seja, garantir que aquilo que a estrutura projetada visa cumprir seja efetivamente entregue ao público sem percalços ou, ao menos, com efeitos conhecidos e controlados. Marcos Jabor, neste livro, passa por todos estes conceitos de forma prática, entregando a todos nós uma vida de conhecimento não somente teórico, mas que permeia as funcionalidades e o desempenho de cada dispositivo de drenagem. E, sejamos justos, esses conhecimentos foram adquiridos pelo autor mediante observação atenta e cuidadosa, enfocando teoria, execução e performance ao longo de ciclos de vida que ultrapassam substancialmente o tempo de recorrência de cada dispositivo projetado. A engenharia, como uma ciência da natureza, necessita da combinação de amplitude e profundidade trazida por esta importante obra. Mais que isso, esse compêndio vem sabiamente complementar os saberes fundamentais da formação profissional, congregando conhecimentos obtidos pelos "Grandes" ao longo da dura jornada de construção de um país. Se beneficiam todos quando esses "Grandes" deixam seus legados por escrito e assim se perpetua o conhecimento adquirido, abrindo portas para um futuro de crescimento e inovação. Não obstante esta obra cumpri piamente o

objetivo de entregar princípios que permitem ao técnico corretamente projetar dispositivos a fim de remover ou impedir o excesso das águas superficiais e profundas e, assim, proteger e melhorar tudo sobre o que possam elas pesar. O autor introduz conceitos mais amplos e profundos sob a ótica da engenharia do valor, conduzindo o leitor a pensar além da técnica de dimensionamento em si, mas também sobre as funções que a drenagem e seus dispositivos devem suprir e a relação entre a sua performance e custos, maximizando o valor dos empreendimentos. Ótima leitura! Tenho certeza que este livro irá engrandecer nossos conhecimentos ou, no mínimo, evitar inúmeros percalços!

Pitta, Danilo Martinelli, Dr.

Diretor de Projetos de Engenharia do Grupo EcoRodovia

INTRODUÇÃO

Para a abordagem do tema *Drenagem de Rodovias*, é importante primeiramente o perfeito entendimento da definição de drenagem. Portanto, *Drenagem é a ciência que tem como objetivo, através de um sistema de drenagem eficaz, remover e/ou impedir tecnicamente o excesso das águas superficiais e profundas, a fim de proteger e melhorar tudo sobre o que elas possam influir.*

Sistema de Drenagem é o conjunto de dispositivos de drenagem que tem como objetivos garantir a integridade do corpo estradal e do seu entorno (meio ambiente), bem como a segurança dos usuários da via.

Para a definição e dimensionamento dos dispositivos que compõem um sistema de drenagem, para que ele atinja seus objetivos, faz-se necessário elaborar um *Projeto de Drenagem* eficaz.

O Projeto de Drenagem de uma rodovia é dividido em duas partes:

- **1ª parte: Estudos Hidrológicos;**
 - **2ª parte – Projetos de Drenagem.**
- Dimensionamento e posicionamento dos dispositivos de drenagem;
 - Notas de serviços.

• MARCOS AUGUSTO JABÔR •

I. ESTUDOS HIDROLÓGICOS



• MARCOS AUGUSTO JABÔR •

I • ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos têm por objetivo a obtenção de elementos e o estabelecimento de critérios para a determinação das vazões, para o dimensionamento das obras de drenagens novas e verificação de suficiência das obras de drenagens existentes. Estes estudos são desenvolvidos em duas fases distintas: *Preliminar* e *Anteprojeto*.

A fase Preliminar tem como objetivos:

- Coletar dados hidrológicos junto aos órgãos oficiais e estudos existentes, que permitam a caracterização climática e geomorfológica da área em que se localiza o trecho;
- Visita *in-loco* visando obter, junto a funcionários do órgão responsável pela operação e manutenção da rodovia e aos moradores mais próximos das obras existentes, informações sobre o histórico das ocorrências mais significativas, tais como: máxima cheia nas pontes e bueiros, transbordamento nas sarjetas, saídas d'água, etc.

Assim as informações cartográficas são importantes na caracterização morfométrica das bacias hidrográficas em estudo.

A análise dos dados pluviométricos ou pluviográficos obtidos permitem a definição do modelo de chuvas representativo da região do projeto.

As observações de campo possibilitam a estimativa de parâmetros relativos ao solo, tipo de cobertura vegetal, determinação de percentagens de áreas permeáveis e impermeáveis, além de permitir a verificação *in loco* das condições de funcionamento de eventuais estruturas hidráulicas existentes na área.

A fase de Anteprojeto tem como objetivos:

- Conclusão e apresentação dos estudos hidrológicos, que se constituirão do processamento dos dados pluviométricos e fluviométricos (quando necessário).

1.1 Hidrologia

Segundo definição contida no Dicionário Aurélio, "*Hidrologia é o estudo da água nos estados sólido, líquido e gasoso, da sua ocorrência, distribuição e circulação na natureza*".

De acordo com o *United States Federal Council of Science and Technology, Committee for Scientific Hidrology, 1962*, "*Hidrologia é a ciência que trata da água da terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas reações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida*".

Hidrologia é uma ciência que tem uma grande importância para a sociedade, pois através de seu estudo pode-se controlar e utilizar os recursos hídricos de forma adequada. Considerada hoje uma ciência básica, cujo conhecimento é imprescindível ao engenheiro, agrônomo, ecologista, geógrafo, geofísico e a muitos outros profissionais.

A. Meyer define Hidrologia como: "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".

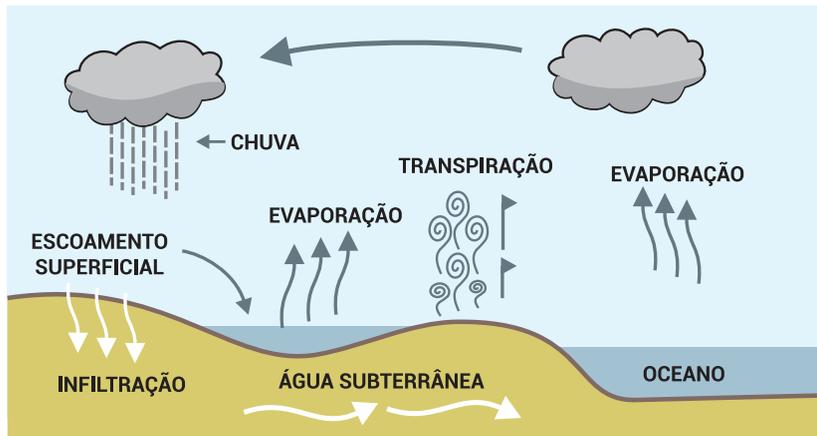
É influenciada pela fisiografia regional, ou seja a, posição relativamente aos oceanos, presença de montanhas que possam influenciar a precipitação, fortes declividades de terrenos possibilitando rápidos escoamentos superficiais, depressões, lagos ou baixadas capazes de retardar ou armazenar o deflúvio, etc.

O papel da água na vida humana torna sua importância facilmente compreensível. 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 nos conhecimentos dos fenômenos hidrológicos.

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.

1.2 Ciclo Hidrológico

Figura 7 - Ciclo Hidrológico



Fonte: JABÔR, M. A., 2023.

A maior parte da água que 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 das plantas. A parte, que encontra o seu caminho para as correntes fluviais e para o mar, uma fração escoo pela superfície imediatamente, indo para os fundos dos vales e por eles atingem estagnações ou cursos d'água. A outra fração, cuja proporção depende da permeabilidade do solo, se infiltra no terreno por, percolação ou por drenagem, atingindo também estagnações ou cursos d'água.

Assim, existe um ciclo completo de evaporação, condensação, precipitação e escoamento, que constitui o que denomina-se *Ciclo Hidrológico*.

Ao engenheiro projetista de Drenagem Urbana e Drenagem de Rodovias, interessam apenas as duas últimas fases desse ciclo.

O ciclo hidrológico pode ser considerado composto por duas fases: uma atmosférica e outra terrestre. Cada uma dessas fases inclui:

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

Com finalidade didática, visando as aplicações à Engenharia Hidráulica, apresenta-se o ciclo hidrológico em quatro etapas:

- Precipitações atmosféricas: chuva, granizo, neve e orvalho;
- Escoamentos Subterrâneos: infiltração e águas subterrâneas;
- Escoamentos Superficiais: córregos, rios 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.

Em determinadas ocasiões a natureza trabalha em excesso, ou seja, quando provoca chuvas torrenciais que ultrapassam a capacidade dos cursos d'água e ocasionando inundações. Em outras ocasiões parece que todo o mecanismo do ciclo parou completamente e com ele a precipitação e o escoamento superficial.

E são precisamente estes extremos de enchente e de seca que mais interessam aos engenheiros, pois muitos projetos de Engenharia Hidráulica são feitos com a finalidade de proteção contra estes mesmos extremos e mesmo que o projeto não tenha esta finalidade é muito importante conhecer e levar em consideração os extremos.

Exemplos de Aplicações da Hidrologia à Engenharia:

- Estimativa dos recursos hídricos de uma região: análise da capacidade de mananciais, previsão e interpretação de variações na quantidade e qualidade das águas naturais;
- Projeto e Construção de Obras Hidráulicas: definição de seções de vazão em pontes e bueiros, galerias, dimensionamento de condutos e sistemas de recalque, projeto e construção de barragens, dimensionamento de extravasores;
- Drenagem;
- Irrigação;

- Controle de Poluição;
- Controle de Erosão;
- Navegação;
- Aproveitamento Hidroelétrico: previsão das vazões máximas, mínimas e médias dos cursos d'água para o estudo econômico-financeiro do aproveitamento, verificação da necessidade de reservatório de acumulação e, neste caso, determinação dos elementos necessários ao projeto e sua construção, bacias hidrográficas, volumes armazenáveis, perdas por evaporação e infiltração, etc.

1.3 Pluviometria

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

A chuva é a precipitação da água das nuvens.

1.3.1 Medida das precipitações

Representa-se a quantidade de chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. É avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos chamados pluviômetros ou pluviógrafos, conforme sejam simples receptáculos da água precipitada ou registrem 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.

Naturalmente, existem diferenças entre a água colhida a essa altura e a que atinge o solo, sobre uma área igual e muitos estudos têm sido realizados para verificá-las e determinar suas causas.

As leituras feitas pelo observador do pluviômetro, conforme *Figura 1*, normalmente em intervalos de 24 horas, em provetas graduadas, são anotadas em cadernetas próprias que são enviadas à agência responsável pela rede pluviométrica, todo fim de mês. Elas se referem quase sempre ao total precipitado das 7 horas da manhã do dia anterior até as 7 horas do dia em que se fez a leitura.

Os pluviogramas obtidos no pluviógrafo, *Figura 5*, fornecem o total de precipitação acumulado no decorrer do tempo e apresentam grandes vantagens sobre os medidores sem registro, sendo indispensáveis para o estudo de chuvas de curta duração.

Por definição podemos dizer que:

- Pluviômetro: é o instrumento usado para recolher e medir em milímetros lineares a quantidade de chuva caída em determinado lugar e em determinado tempo;
- Índice pluviométrico: medido em milímetros, é o somatório da precipitação num determinado local durante um período de tempo estabelecido;
- Regime pluviométrico: consiste basicamente na distribuição das chuvas durante os doze meses do ano. Tanto o regime quanto o índice pluviométrico são representados nos hidrogramas por colunas mensais. Pela análise das colunas é possível caracterizar o regime e, conseqüentemente, o índice pluviométrico.

A leitura da quantidade de água recolhida pelo pluviômetro a cada vinte horas, normalmente, é feita às 7h30 da manhã.

- Pluviógrafo: é o instrumento que registra a quantidade, duração e intensidade da chuva caída em determinado lugar. Portanto, registra a variação da altura de chuva com o tempo.

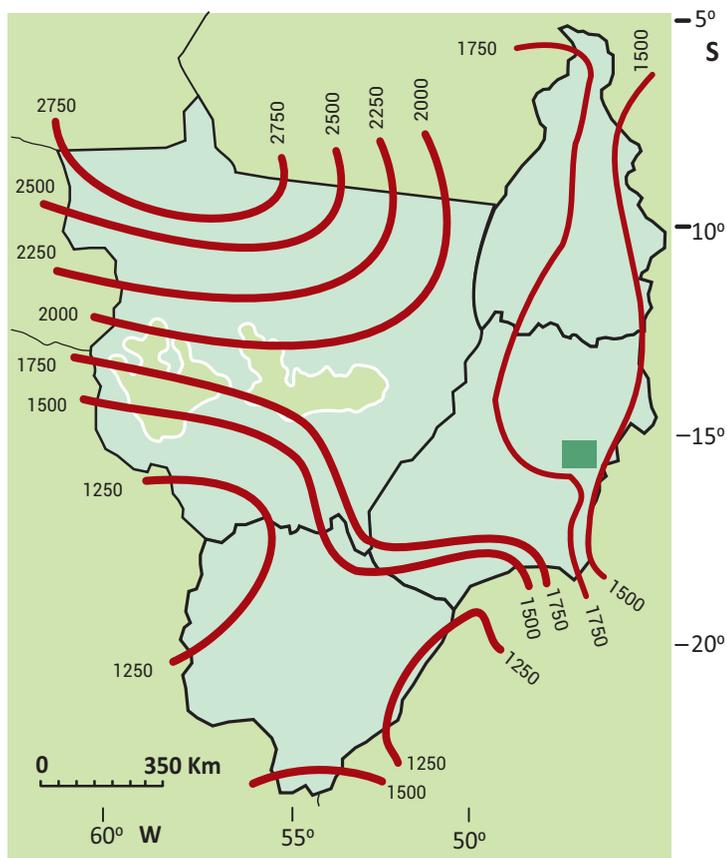
A intensidade de Precipitação é classificada de acordo com as seguintes taxas de precipitação:

- Chuva fraca – quando a taxa é inferior a 5 mm/h;
- Chuva moderada – taxa entre 5 mm/h e 25 mm/h;
- Chuva forte – taxa entre 25 mm/h e 50 mm/h;
- Chuva muito forte – taxa igual ou superior a 50 mm/h.

• Isoietas

São as linhas de igual precipitação (mm). Assim como em um mapa topográfico as curvas de nível representam regiões de mesma cota (altitude em relação ao nível do mar), as isoietas são curvas que delimitam uma área com igual precipitação (quantidade de chuva que cai e medida em mm).

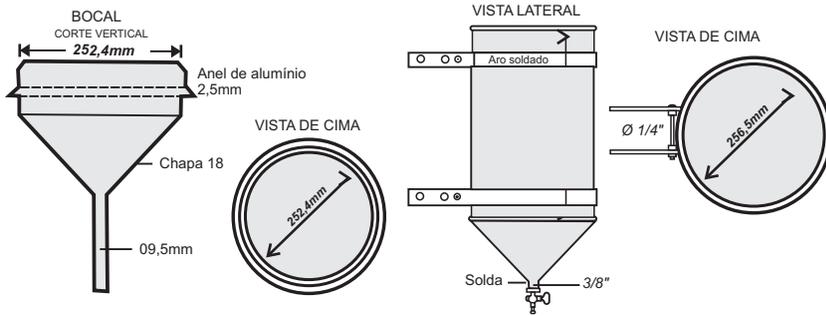
Figura 2 - Isoietas



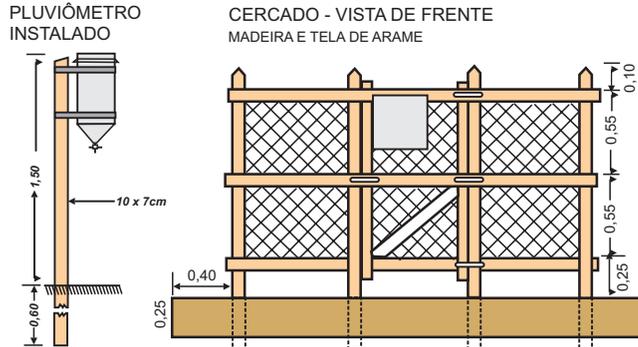
Fonte: JABÔR, M. A., 2023.

• Pluviômetro

Figuras 3 e 4 - Pluviômetro



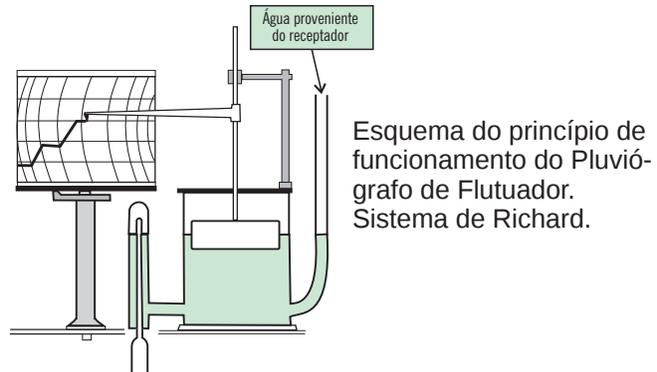
Fonte: JABÔR, M. A., 2023.



Fonte: JABÔR, M. A., 2023.

• Pluviógrafo

Figura 5 - Pluviógrafo



Fonte: JABÔR, M. A., 2023.

Figura 6 - P300



Fonte: www.climaeambiente.com.br

Segundo o fabricante, o P300 é um equipamento eletromecânico que tem por finalidade medir e registrar, de hora em hora, os dados referentes à precipitação, diariamente na tela. Registra por um período de um ano, passando a sobrescrever os dados após esse período. O acesso às informações é feito diretamente no visor da estação, com possibilidade de verificação do dado diário ou de qualquer dia armazenado. Também permite o acesso através de cabo e software, para baixar e visualizar através de um software exclusivo, neste caso com valores horários e diários.

OBSERVAÇÕES:

- No Brasil o pluviômetro é mais utilizado em vista do seu baixo custo, da facilidade de sua confecção e a simplicidade da operação.
- O pluviógrafo por ter um custo mais elevado, necessita de uma operação mais especializada/mais técnica, tem um uso mais restrito. É encontrado mais nas estações metereológicas.

1.3.2 Frequência de totais precipitados

As obras de drenagem geralmente são dimensionadas para valores extremos de forma a garantir segurança e que viabilize economicamente a obra.

A série histórica existente e que está sendo utilizada no projeto, nem sempre contém o valor extremo. Portanto, será necessário o desenvolvimento de estudos estatísticos com a aplicação de técnicas de probabilidade.

Em Engenharia, nem sempre interessa construir uma obra que seja adequada para escoar qualquer vazão possível de ocorrer. No caso normal, pode-se correr o risco, assumido após considerações de ordem econô-

Kanaflex[®]

MACCAFERRI



APOIO:



ISBN 978-65-6036-146-1



9 786560 361461