

Engº. Marcos Augusto Jabôr

Consultor em Drenagem de Rodovias e Drenagem Urbana
Consultor em Engenharia e Análise do Valor

Drenagem de Rodovias

Estudos Hidrológicos e
Projetos de Drenagem

Edição 2019



Eng^o. Marcos Augusto Jabôr

Consultor em Drenagem de Rodovias e Drenagem Urbana
Consultor em Engenharia e Análise do Valor



Curso

DRENAGEM DE RODOVIAS

Estudos Hidrológicos e
Projeto de Drenagem

Edição 2019

SUMÁRIO

• Apresentação	05
• Introdução	09

I • Estudos Hidrológicos

• Hidrologia.....	15
• Ciclo Hidrológico.....	16
• Pluviometria.....	18
• Tempo de Recorrência.....	34
• Estudo das Bacias de Contribuição.....	39
• Tempo de Concentração.....	42
• Coeficiente de Deflúvio.....	52
• Cálculo das Vazões das Bacias Hidrográficas.....	57
• Exemplos de Cálculo para as Vazões das Bacias Hidrográficas.....	61
• Planilhas de Cálculo para as Vazões das Bacias Hidrográficas.....	73

II • Projeto de Drenagem

• Introdução.....	91
• Obras de Arte Correntes.....	92
• Dimensionamento de Bueiros (controle de entrada).....	97
• Exemplos de Dimensionamento de Bueiros.....	100
• Bueiros Executados por Método não Destrutivo.....	105
• Fases do Desenvolvimento de um Projeto de Bueiros de Grotas.....	113
• Fases para Implantação de Bueiros de Grotas.....	116
• Obras de Arte Especiais.....	117
• Drenagem Superficial:.....	129
• Valetas de Proteção de Corte e Aterro.....	130
• Mureta de Proteção de Corte em Rocha.....	134

• Sarjetas de Corte e Aterro	135
• Saídas D'água	148
• Descidas D'água em Aterro	150
• Descidas D'água em Corte	151
• Dissipadores de Energia	153
• Caixas Coletoras	154
• Sarjetas de Banquetas de Corte e Aterro	154
• Drenagem Profunda	155
• Dreno Profundo Longitudinal	157
• Dreno Espinha de Peixe	162
• Dreno Sub-Horizontal	164
• Colchão Drenante	167
• Terminal de Dreno Profundo	168
• Dreno de talvegue	169
• Dreno Sub-Superficial de Pavimento	171

III • CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM

• Construção	179
• Manutenção	188

IV • PARCEIROS E PATROCINADORES

• Contatos e Produtos	191
-----------------------------	-----

Apresentação

Pretende-se com esta apostila fornecer de forma resumida, clara e objetiva as principais informações técnicas referentes ao Projeto de Drenagem de Rodovias, de forma a possibilitar ao profissional da área obter um conhecimento amplo do assunto em questão, pois o seu conteúdo aborda temas específicos de Projeto, Implantação dos Dispositivos que compõe o Sistema de Drenagem e a sua Manutenção para que continuem exercendo as funções para as quais foram projetados. Esta visão ampla implicará no melhor entendimento do assunto para calcular as vazões das bacias hidrográficas bem como dimensionar as obras de arte correntes, obras de artes especiais, dispositivos de drenagem superficial e dispositivos de drenagem profunda.

Esta apostila foi elaborada reunindo, às vezes, na sua íntegra frases, textos e quadros de diversos autores, com a intenção apenas de retratar o que de melhor havia, dentro de nosso conceito, para repassarmos aos participantes do Curso de Drenagem de Rodovias.

São os seguintes livros, publicações técnicas e autores utilizados na sua elaboração:

1- Livro: **Hidrologia**

Autor: Lucas Nogueira Garcez

2- Livro: **Hidrologia Aplicada**

*Autores: Swami Marcondes Villela
Arthur Mattos*

3- Livro: **Hidrologia Básica**

*Autores: Nelson L. de Sousa Pinto
Antonio Carlos Tatit Holtz
José Augusto Martins
Francisco Luiz Sibut Gomide*

4- Livro: **Hidrologia - Ciência e Aplicação**

Autor: Carlos E.M. Tucci

5- Livro: **Hidrologia**

Autores: Chester O. Wisler e Ernest F. Brater

6- Livro: **Hidrologia de Águas Subterrâneas**

Autor: David K. Todo

7- Livro: **Engenharia de Drenagem Superficial**

Autor: Paulo Sampaio Wilken

8- Livro: **Drenagem Urbana- Manual de Projeto**

Autor: CETESB/SP- 1980

9- Livro: **Drenagem Superficial e Subterrânea de Estradas**

Autor: Renato G. Michelin

10- **Rapport Sur Une Mission em Afrique Noire**

Autores: J. L. Bonnenfant e R. Peltier

11- Livro: **Águas de Chuvas**

Autor: Manoel Henrique Campos Botelho

12- Livro: **Drenagem dos Pavimentos de Rodovias e Aeródromos**

Autor: Harry R. Cedergren

13- **Publicação: Drenagem Profunda em Estradas de Rodagem**

Autores: Fernando Márcio G. Santana e Marcos Marques M. Rocha

14- Livro: **Manual Prático de Drenagem**

Autor: Paulo Roberto Dias Morales

15- **Manual de Projeto de Engenharia do DNER- capítulo III- Hidrologia**

16- **Manual Técnico de Conservações - DNER - 1967**

17- **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem - DNIT, 2005**

18- **Manual de Drenagem de Rodovias - DNIT, 2006**

19- **Manual de Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário ABTC - 2008**

Autores: Alírio Brasil Gimenez, Antonio Domingues Figueiredo, Cláudio Oliveira Silva, Francisco Van Langendonck, José Roberto Hortêncio Romero, Marcos Augusto Jabôr, Milton Tomoyuki Tsutiya, Mounir Khalil El Debs, Pedro Jorge Chama Neto e Regina Bannoki

20- **Projetos Tipo – Drenagem e Obras Complementares – DER/MG, janeiro de 1984**

21- **Álbum de Projetos – Tipo de Dispositivos de Drenagem – DNER, abril de 1988**

22- **Álbum de Projetos – Tipo de Dispositivos de Drenagem – DNIT, 2011**

23- **Caderno de Drenagem – Projeto Padrão – DER/MG, 2011**

24- **Manual de Hidráulica**

Autores: Azevedo Neto, Miguel Fernandez y Fernandez, Roberto de Araújo e Acácio Eiji Ito

25- **Publicação do IPR-Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Ministério dos Transportes**

Título: *Vazão de Dimensionamento de Bueiros*

Antonio Carlos Tatit Holtz

Carlos J. J. Massucci

26- **Publicação Técnica de nº 16 - DER/MG**

Título: *Hidrologia Aplicada a Projetos rodoviários*

Autor: José Paulo Ferrari Pinheiro

27- **Publicação Técnica de nº 17 - DER/MG**

Título: *Escoamento de Águas Pluviais nas Sarjetas*

Autor: José Paulo Ferrari Pinheiro

28- Livro: **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**

Autor: Plínio Tomaz

29 - Livro: **Hidráulica de Meios Permeáveis Escoamento em Meios Porosos**

Autor: F. O. Francis

30 - Livro: **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**

Autor: Márcio Baptista e Márcia Lara

31- Livro: **Rebaixamento Temporário de Aquíferos**

Autor: Urbano Rodriguez Alonso

32- Livro: **Dimensionamento de Pequenas Barragens para Irrigação**

Autor: Jacinto de Assunção Carvalho

33 - Livro: **Estradas, Rodovias e Ferrovias - 1958**

Autor: Antonio Lopes Pereira

34 - Livro: **Projeto de Estradas, Ferrovias e Rodovias - 1953**

Autor: Jeronymo Monteiro Filho

35 - Publicação: **Princípios Básicos e Sistemas Drenantes**

Autor: RHODIA S.A - 1978

36 - **Boletim Técnico nº 5 - Drenagem de Estradas**

Autor: Francisco Maia de Oliveira

37- Livro: **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**

Autor: Aluísio Pardo Canholi

38 - **Drenagem Subsuperficial de Pavimentos: Conceitos e Dimensionamento**

Autores: Carlos Yukio Suzuki, Ângela Martins Azevedo e Felipe Issa Kabbach Júnior

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 que possam elas 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 compõe 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 – **Projeto de Drenagem**

“Dimensionamento dos Dispositivos de Drenagem e Notas de Serviços”.

I - Estudos Hidrológicos

Estudos Hidrológicos

Os Estudos Hidrológicos tem por objetivo a obtenção de elementos e o estabelecimento de critérios para a determinação das vazões para o dimensionamento das obras de drenagem novas e verificação de suficiência das obras de drenagem existentes. São desenvolvidos em duas fases distintas: Preliminar e Anteprojeto.

A fase Preliminar tem como objetivos:

- Coletar dados hidrológicos junto aos órgãos oficiais, 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 do histórico das ocorrências mais significativas, tais como: máxima cheia nas pontes e bueiros, transbordamento nas sarjetas, saídas d'água, etc.

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 objetivo a conclusão e apresentação dos estudos hidrológicos, que se constituirão do processamento dos dados pluviométricos e fluviométricos (quando necessário).

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."

Outra definição mais técnica e completa diz que "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. (definição recomendada pelo United States Federal Council of Science and Technology, Committee for Scientific Hidrology, 1962).

A 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.

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".

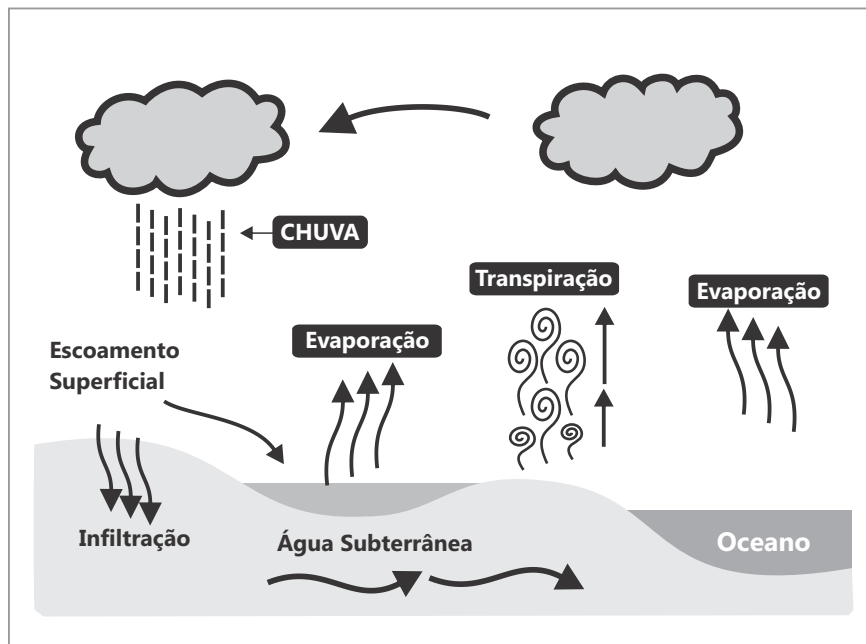
É influenciada pela fisiografia regional: posição relativamente aos oceanos, presença de montanhas que possam influenciar a precipitação, fortes declividades de terrenos possibilitando rápidos escoamentos superficiais, depressões, lagos ou baixadas capazes de retardar ou armazenar o deflúvio, etc...

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 os conhecimentos nos 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.

2 - Ciclo Hidrológico



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**.

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

O ciclo hidrológico pode ser considerado como composto de 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, orvalho.
- Escoamentos Subterrâneos: infiltração, águas subterrâneas.
- Escoamentos Superficiais: córregos, 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.

Em determinadas ocasiões, a natureza trabalha com excesso, quando provoca chuvas torrenciais que ultrapassam a capacidade dos cursos d'água 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 interessa 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, de 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, existindo este, determinação dos elementos necessários ao projeto e construção do mesmo; bacias hidrográficas, volumes armazenáveis, perdas por evaporação e infiltração, etc...

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.

3.1 • Medida das Precipitações

Representa-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*, 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 (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 às 7 horas do dia em que se fez a leitura.

Os pluviogramas obtidos no pluviógrafo (Figura 2) 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 periodo de tempo estabelecido.

Regime pluviométrico: Consiste basicamente na distribuição das chuvas durante os 12 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 24 horas, normalmente é feita as 7:30 da manhã.

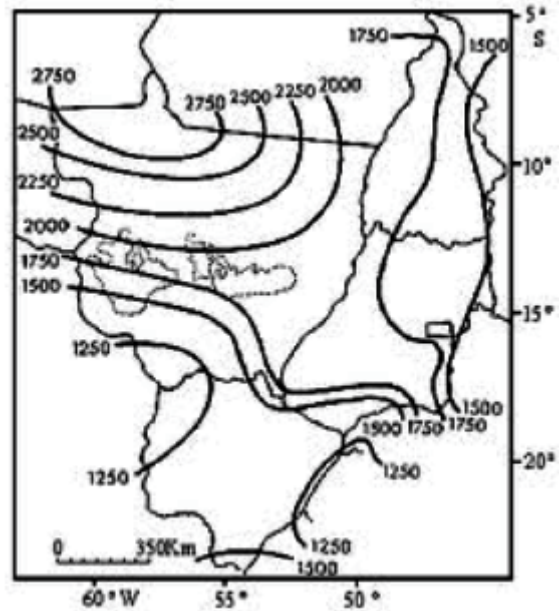
- Pluviógrafo é o instrumento que registra a quantidade, duração e intensidade da chuva caída em determinado lugar, portanto registra a variação da altura de chuva com o tempo.

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, medida em mm).



• PLUVIÔMETRO •

Detalhes

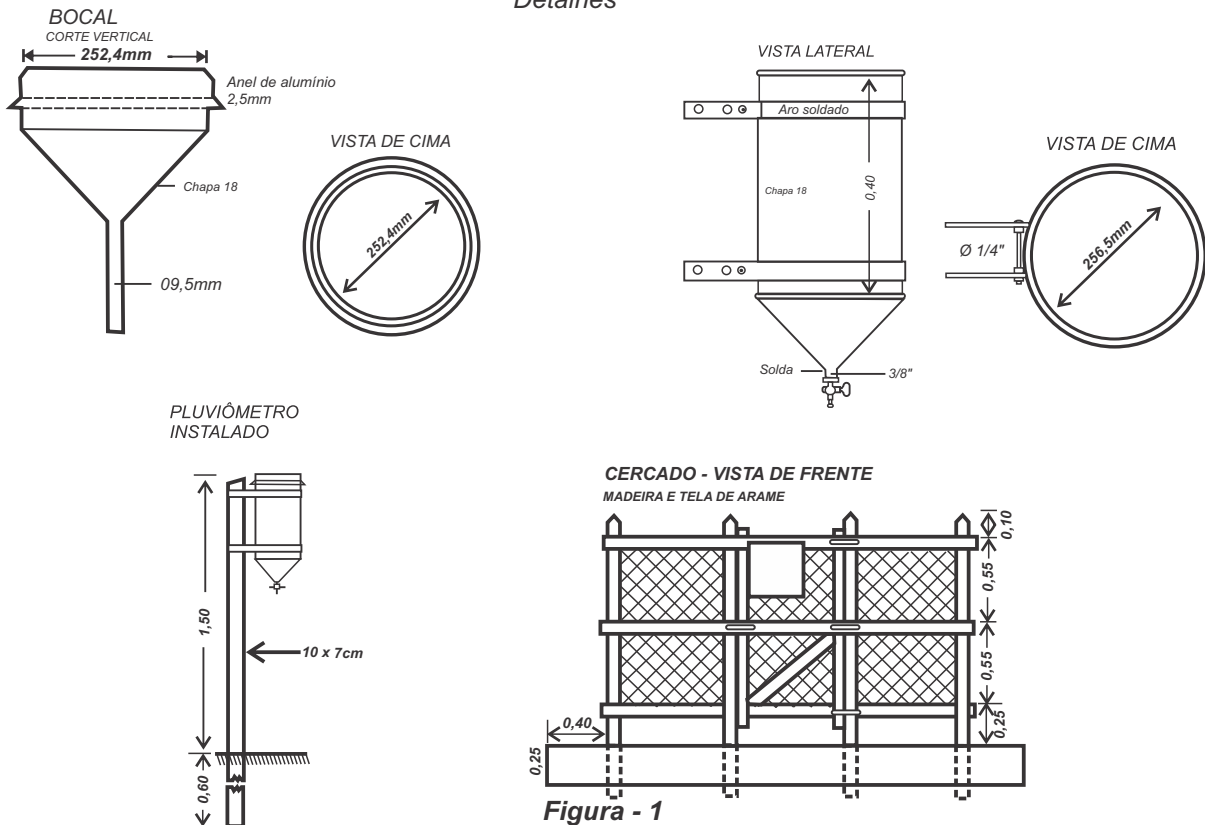
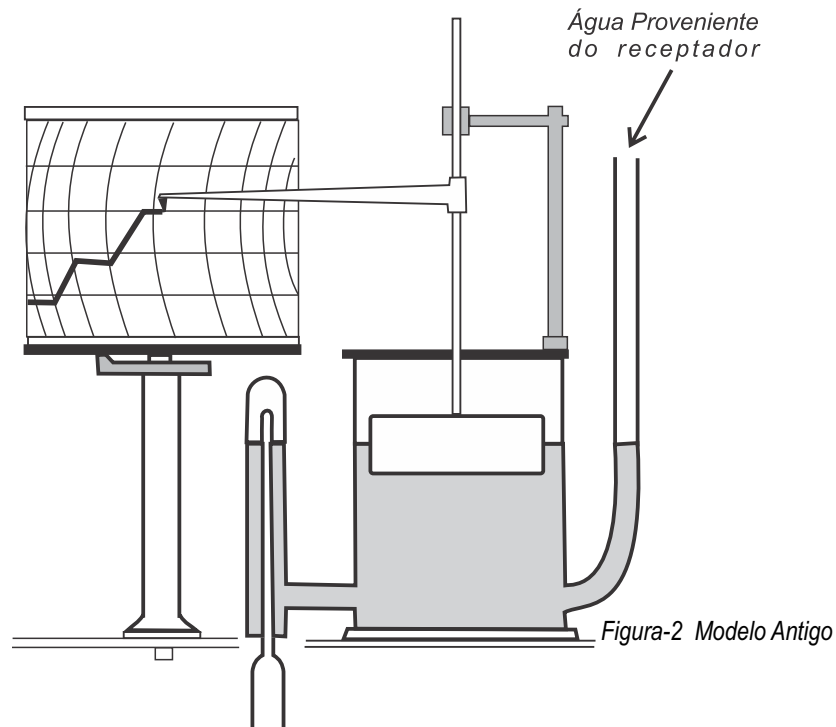


Figura - 1

• PLUVIÓGRAFO •



Esquema do princípio de funcionamento do pluviômetro de flutuador. Sistema Richard.



Figura 2
Modelo Novo/Atual:
P 300-Pluviômetro-Irri Plus

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, fornecendo na tela a precipitação diária. Registra para um período de um ano, passando a sobrescrever os dados após esse período. O acesso as 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, necessitar de uma operação mais especializada/mais técnica tem um uso mais restrito. É encontrado mais nas estações meteorológicas.

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 econômica, de que a estrutura venha a falhar durante a sua vida útil, sendo necessário, então, conhecê-lo.

Para isso analisam-se estatisticamente as observações realizadas nos postos hidrométricos, verificando-se com que frequência elas assumiram dada magnitude. Em seguida, podem-se avaliar as probabilidades teóricas de ocorrência das mesmas.

Os dados observados podem ser considerados em sua totalidade, o que constitui uma *série total*, ou apenas os superiores a certo limite inferior (*série parcial*), ou, ainda, só o máximo de cada ano (*série anual*).

Eles são ordenados em ordem decrescente e a cada um é atribuído o seu número de ordem m (m variando de 1 a n , sendo n = numero de anos de observação).

A frequência com que foi igualado ou superado um evento de ordem m é:

Método da Califórnia:

$$F = \frac{m}{n} ,$$

Método de Kimbal:

$$F = \frac{m}{n+1} .$$

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

Considerando-a como uma boa estimativa da probabilidade teórica (P) e definindo o tempo de recorrência (período de recorrência, tempo de retorno) como sendo o intervalo médio de anos em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento, tem-se a seguinte relação:

$$T_r = \frac{1}{F}$$

De maneira geral,

$$T_r = \frac{1}{P}$$

Exemplo de aplicação, adotando-se o Método da Califórnia:

- De uma série histórica de 10 anos de dados pluviométricos uma determinada precipitação ocorreu duas vezes. Qual a sua freqüência (F) e o tempo de recorrência (T_r)?

Método da Califórnia:

$$F = \frac{m}{n}$$

$$\begin{matrix} m = 2 \\ n = 10 \end{matrix}$$

$$F = \frac{2}{10}$$

$$F = 0,20 \text{ ou } 20\%$$

Tempo de Recorrência:

$$T_r = \frac{1}{F}$$

$$T_r = \frac{1}{0,2}$$

$$T_r = 05 \text{ anos}$$

Conclusão: o evento que estamos analisando, tem a probabilidade de ser igualada ou superada de 20% e seu tempo de recorrência é de 05 anos.

Para períodos de recorrência bem menores que o número de anos de observação, o valor encontrado acima para F pode dar uma boa idéia no valor real de P , mas, para os menos freqüentes deve ser ajustada a uma lei probabilística teórica de modo a possibilitar um cálculo mais correto da probabilidade.

As precipitações são tanto mais raras quanto mais intensas. Para considerar a variação da intensidade com a freqüência, será necessário fixar, a cada vez, a duração a ser considerada.

3.3 • Tipos de chuvas

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.

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, a saber:

- Chuva orográfica é causada pela elevação do ar ao subir 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.

3.4 • Coleta de Dados

Os dados de chuvas (leituras pluviométricas e pluviográficas) podem ser obtidos através da Agência Nacional de Águas ANA no endereço <http://hidroweb.ana.gov.br>.

No estado de Minas Gerais podem ser obtidos na CEMIG e na COPASA.

É importante nesta fase, a escolha do Posto representativo para o projeto em estudo, que deverá:

- Estar o mais próximo possível do local do projeto em estudo;
- Ter no mínimo 15 anos de série histórica, após a análise de inconsistência dos dados coletados;
- Possuir o microclima igual ao do trecho em estudo.

3.5 • Processamento dos dados Pluviográficos e Pluviométricos:

A partir da obtenção dos dados de chuva (pluviográficos/pluviométricos), pode-se obter através de seu processamento a precipitação ($P = \text{mm}$) e a intensidade pluviométrica ($I = \text{mm/h}$) relacionada com o tempo de recorrência adotado no projeto e o cálculo do tempo de concentração das bacias.

O processamento dos dados de chuva tem como objetivos:

- obter a intensidade pluviométrica/precipitação, relacionadas com o tempo de recorrência (T_r) adotado no projeto e o tempo de concentração das bacias (T_c);
- apresentar os quadros resumos das Médias dos Dias de Chuvas Mensais;
- apresentar os histogramas dos totais Pluviométricos Mensais (Médias do Histórico) e do Número de Dias Mensais;
- apresentar as curvas de: Intensidade x Duração x Freqüência.

Serão apresentados a seguir os dois métodos mais usuais para a obtenção da Precipitação e da Intensidade Pluviométrica:

3.5.1 • 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:

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

Onde: **P** = Precipitação máxima em mm;
t = Tempo de duração de Precipitação em horas (igual ao tempo de concentração calculado para a bacia em estudo - T_c);
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 (quadro 2).

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

T = tempo de recorrência, em anos;
 α = valor que depende da precipitação e igual para todos os postos(quadro1);
 β = valor que depende da duração da precipitação (igual ao tempo de concentração calculado para a bacia em estudo T_c) e específico para cada posto (quadro 2).

Quadro 1

Valores de alfa

Duração	5 min	15min	30min	1 h	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h	48 h	3 d	4 d	6 d
α	0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156	0,152

Relação dos Postos Pluviográficos Estudados por Otto Pfastetter

Quadro 2

UF	LOCAL	a	b	c	VALORES DE β			
					5 min.	15 min.	30 min.	> 1h
AC	Rio Branco	0,3	31	20	- 0,08	0,00	0,04	0,08
	Sena Madureira	0,2	30	20	0,00	0,04	0,08	0,04
AL	Maceió	0,5	29	10	0,00	0,04	0,08	0,20
AM	Juaretê	0,2	37	20	0,04	0,00	0,00	0,00
	Manaus	0,1	33	20	0,04	0,00	0,00	0,00
	Parintins	0,6	30	20	0,04	0,04	0,04	0,08
	Urupês	0,2	36	20	0,08	0,04	0,04	0,04
BA	Salvador	0,6	33	10	-0,04	0,08	0,08	0,12
CE	Fortaleza	0,2	36	20	0,04	0,04	0,08	0,08
	Guaramiranga	0,5	22	20	-0,04	0,04	0,08	0,08
	Quixeramobim	0,2	17	60	-0,08	0,04	0,08	0,12
ES	Vitória	0,3	34	10	0,12	0,12	0,12	0,12
FN	Fernando de Noronha	0,7	23	20	-0,08	0,04	0,12	0,12
GO	Catalão	0,5	27	20	0,04	0,04	0,04	0,04
	Formosa	0,5	27	20	0,08	0,08	0,08	0,04
	Goiânia	0,2	30	20	0,08	0,08	0,08	0,12
MA	Barra da Corda	0,1	28	20	-0,08	0,04	0,08	0,12
	São Luiz	0,4	42	10	-0,08	0,00	0,00	0,08
	Turiassu	0,6	30	20	0,04	0,04	0,04	0,04
MG	Barbacena	0,5	18	60	0,12	0,12	0,08	0,04
	Belo Horizonte	0,6	26	20	0,12	0,12	0,12	0,04
	Bomsucesso	0,8	18	60	0,04	0,04	0,04	0,04
	Caxambú	0,5	23	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Ouro Preto	0,6	23	20	0,00	0,12	0,12	0,04
	Paracatu	1,2	43	10	-0,04	0,00	0,04	0,12
	Passa Quatro	0,7	21	20	0,04	0,04	0,04	0,08
	Sete Lagoas	0,4	27	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Teófilo Otoni	0,4	24	20	0,00	0,08	0,08	0,08
MS	Corumbá	0,0	30	20	-0,04	0,12	0,12	0,16

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

UF	LOCAL	VALORES DE β						
		a	b	c	5 min.	15 min.	30 min.	> 1h
MT	Cuiabá	0,1	30	20	0,08	0,08	0,08	0,04
PA	Alto Tapajós	0,4	35	20	0,08	0,04	0,04	0,04
	Belém	0,4	31	20	-0,04	0,00	0,00	0,04
	Soure	0,7	46	10	0,00	0,00	0,04	0,08
	Taperinha	0,3	32	20	0,08	0,08	0,04	0,04
PB	João Pessoa	0,6	33	10	0,00	0,00	0,04	0,08
	São Gonçalo	0,4	29	20	-0,08	0,08	0,12	0,16
PI	Terezina	0,2	33	20	0,12	0,12	0,12	0,12
PE	Nazaré	0,4	20	20	-0,04	0,04	0,08	0,08
	Olinda	0,5	35	10	0,04	0,20	0,20	0,20
PR	Curitiba	0,2	25	20	0,16	0,16	0,16	0,08
	Jacarezinho	0,3	25	20	-0,08	0,08	0,12	0,08
	Paranaguá	0,3	42	10	0,04	0,12	0,12	0,16
	Ponta Grossa	0,3	20	20	-0,08	0,08	0,08	0,04
RJ	Alto Itatiaia	0,7	26	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Alto Teresópolis	0,8	41	10	0,00	0,08	0,08	0,08
	Cabo Frio	0,2	20	20	0,16	0,20	0,20	0,12
	Campos	0,2	27	20	0,12	0,12	0,12	0,08
	Niterói	0,2	27	20	0,08	0,12	0,12	0,12
	Nova Friburgo	0,4	28	20	-0,08	0,08	0,08	0,08
	Petrópolis	0,3	41	10	-0,08	0,12	0,12	0,08
	Pinheiral	0,4	19	60	0,08	0,12	0,16	0,04
	Pres. Dutra (Km 47)	0,3	28	20	0,00	0,08	0,16	0,20
	Resende	0,3	31	20	0,04	0,08	0,08	0,08
	Rio de Janeiro:							
	Bangu	0,1	30	20	0,00	0,12	0,12	0,12
	Ipanema	0,0	35	10	-0,04	0,12	0,12	0,20
	Jacarepaguá	0,2	29	20	-0,08	0,08	0,12	0,12
	Jardim Botânico	0,4	39	10	-0,08	0,08	0,12	0,12
	Praça XV	0,2	27	20	0,00	0,20	0,20	0,20
	Praça Saens Peña	0,2	31	20	-0,04	0,12	0,16	0,16
	Santa Cruz	0,4	26	20	0,00	0,08	0,08	0,16
	Sta. Maria Madalena	0,4	24	20	-0,08	0,04	0,04	0,00
Teresópolis	0,3	36	10	0,08	0,08	0,04	0,12	
Vassouras	0,4	19	20	0,08	0,08	0,08	0,08	
Volta Redonda	0,2	30	20	0,12	0,12	0,12	0,12	

UF	LOCAL	VALORES DE β						
		a	b	c	5 min.	15 min.	30 min.	> 1h
RN	Natal	0,7	23	20	-0,08	0,08	0,08	0,12
RO	Porto Velho	0,3	35	20	0,00	0,00	0,00	0,04
RS	Alegrete	0,3	33	20	0,16	0,12	0,12	0,08
	Bagé	0,5	23	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Caxias do Sul	0,5	23	20	0,00	0,08	0,08	0,08
	Cruz Alta	0,5	33	20	0,12	0,08	0,08	0,04
	Encruzilhada	0,8	22	20	0,04	0,08	0,08	0,08
	Iraí	0,5	27	20	0,08	0,08	0,00	0,08
	Passo Fundo	0,7	21	20	-0,04	0,04	0,04	0,08
	Porto Alegre	0,4	22	20	0,00	0,08	0,08	0,08
	Rio Grande	0,3	24	20	0,00	0,20	0,20	0,12
	Santa Maria	0,4	37	10	-0,08	0,04	0,04	0,08
	Sta. Vitória do Palmar	0,4	24	20	-0,08	0,12	0,12	0,12
	São Luiz Gonzaga	0,5	30	20	0,08	0,08	0,12	0,08
	Uruguaiana	0,2	38	10	-0,04	0,08	0,08	0,12
	Viamão	0,4	21	20	-0,04	0,04	0,04	0,04
SE	Aracajú	0,6	24	20	0,00	0,04	0,08	0,20
SC	Blumenau	0,2	24	20	-0,08	0,08	0,08	0,08
	Florianópolis	0,3	33	10	-0,04	0,12	0,20	0,20
	São Francisco do Sul	0,3	37	10	0,00	0,08	0,08	0,16
SP	Avaré	0,3	25	20	0,00	0,04	0,08	0,08
	Bauru	0,5	24	20	-0,04	0,08	0,08	0,08
	Campos do Jordão	0,2	32	20	-0,04	0,08	0,12	0,12
	Congonhas	0,6	16	60	-0,04	0,04	0,04	0,04
	Lins	0,4	19	20	0,00	0,04	0,08	0,04
	Mirante Santana	0,4	25	20	-0,04	0,12	0,12	0,04
	Piracicaba	0,3	25	20	-0,08	0,04	0,12	0,08
	Santos - Itapema	0,2	50	20	0,12	0,20	0,20	0,12
	Santos	0,7	44	10	0,12	0,12	0,16	0,20
	São Carlos	0,4	29	20	-0,04	0,08	0,08	0,12
	São Simão	0,4	26	20	0,00	0,04	0,08	0,08
	Taubaté	0,3	24	20	0,12	0,12	0,12	0,16
	Tupi	0,3	18	60	-0,08	0,12	0,12	0,04
Ubatuba	0,3	46	10	-0,04	0,16	0,16	0,16	

Obs: Pode-se e através de um dado fornecido pelo Pluviógrafo, onde se obtém a altura de chuva num determinado tempo, obter o tempo de recorrência desta precipitação. Esta situação se faz necessário para provar que determinada chuva extrapolou o tempo de recorrência considerado nos cálculos de vazão e dimensionamento das obras de drenagem existentes. Na publicação "Chuvas Intensas no Brasil", na página 17 tem um exemplo de cálculo.

3.5.2 • Método das Isozonas

Método desenvolvido pelo Engenheiro José Jaime Taborga Torrico fazendo parte de sua obra "Práticas Hidrológicas", Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974, 120p. Trata-se de uma alternativa excepcional para chuvas intensas de curta duração, em locais onde não há postos pluviográficos em suas proximidades. Este método baseou-se nas observações do autor, que em diferentes estações pluviográficas do Brasil, ao plotar as chuvas de 1 hora e 24 horas no papel de probabilidades de Hershfield e Wilson, constatou que havia uma tendência das semirretas, que relacionavam altura da chuva versus duração, interceptarem, ao serem prolongadas, um mesmo ponto no eixo das abcissas. Cada região que apresentava esta característica seria classificada como uma Isozona.

Taborga Torrico, identificou 08 isozonas no Brasil, conforme descrito abaixo:

A: zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos;

B e C: zonas de influência marítima, com coeficientes de intensidade suaves;

D: zona de transição, entre continente e marítima, caracterizada como zona de influência do rio Amazonas;

E e F: zonas continental e noroeste, com coeficientes de intensidade altos;

G e H: zonas de caatinga nordestina, com coeficientes de intensidade muito altos;

O método das Isozonas será apresentado de forma compacta e resumido, apenas para que se tenha um conhecimento geral de seu desenvolvimento, conforme descrição abaixo:

A primeira etapa do método é a coleta dos dados pluviométricos do posto mais próximo ao projeto em estudo. Com os dados coletados, faz-se o estudo estatístico de acordo com o método de Gumbel, com a utilização da maior altura de chuva ocorrida em cada ano durante todo o período. Para tempos de duração menores que um dia são feitas correções pelo Método das Isozonas, que permite deduzir de forma simples as precipitações menores do que 24 horas necessárias para os projetos de drenagem.

A determinação das relações precipitação/descarga em projetos de drenagem requer o conhecimento das alturas de precipitação para períodos muitas vezes inferiores a 24 horas, como é pequena a rede de postos pluviográficos para fornecimento destes dados, os projetistas são levados a extrapolar os dados dos postos distantes da área do projeto.

O Eng^o J.J.T. Torrico partiu da observação que para determinadas áreas geográficas, ao se desenhar em um papel de probabilidade as precipitações de 24 horas e 1 hora de diferentes estações pluviográficas do Brasil, e prolongando-se as respectivas retas de altura de precipitação/duração, estas tendem a cortar o eixo das abcissas em um mesmo ponto. Esta tendência significa que, em cada área homóloga, a relação entre as precipitações de 1 e 24 horas, para um mesmo tempo de recorrência, é constante e independe de alturas de precipitação.

A seguir será apresentada a continuação das etapas para o desenvolvimento do método das Isozonas:

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- A partir do estudo estatístico, calcula-se para a estação em estudo, a chuva de um dia, no tempo de recorrência previsto;
- Converte-se esta chuva de um dia, em chuva de 24 horas, multiplicando-se esta, pelo coeficiente 1.10, que é a relação 24 horas/1 dia;
- Determina-se no mapa das Isozonas do livro "Práticas Hidrológicas", a isozona correspondente à região do projeto;
- Através do mapa das Isozonas do livro do Eng. J.J. Taborga Torrico identifica-se a isozona representativa para o local do estudo;
- Após ter-se determinado a isozona, fixam-se para a mesma as porcentagens correspondentes a 6 minutos e 1 hora;
- Após a determinação das alturas de precipitação para duração de 24 horas, 1 hora e 6 minutos, para cada tempo de recorrência considerado, marcaram-se estes valores no papel de probabilidade de Hershfield e Wilson, e ligando-se os pontos marcados, obtiveram-se as alturas de precipitação para qualquer duração entre 6 minutos e 24 horas.

A partir daí processam-se os cálculos para a obtenção das intensidades pluviométricas para os diversos tempos de recorrência para serem utilizados no projeto em estudo.

Obs: Não deverá ser utilizado posto pluviométrico cujo número de observações seja inferior a 15 anos.

3.5.3 • Companhia de Saneamento de Minas Gerais COPASA

Estudo publicado em 2001 elaborado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais COPASA com a cooperação científica da Universidade de Viçosa, chamado "Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais", onde foram determinadas 193 equações de postos contendo dados pluviográficos, sendo 177 no Estado de Minas Gerais, 11 no Espírito Santo e 5 na Bahia, sendo os dois últimos nos limites com o Estado de Minas Gerais.

Obs: Não deverão ser usadas equações, que para o seu desenvolvimento foram utilizados postos pluviométricos / pluviográficos cujo o número de observações (série histórica) seja menor que 15 anos.

A seguir será apresentado como exemplo para o Posto Pluviométrico de Nova Venécia ES, a partir da série histórica obtida através da página da Agencia Nacional de Águas, os quadros resumos do número de dias de chuvas mensais e das alturas e chuvas mensais, bem como os histogramas de dias de chuvas anuais, dias de chuvas mensais, totais pluviométricos mensais, totais pluviométricos anuais e as curvas de precipitação x duração x freqüência e as curvas de intensidade x duração x freqüência.

Exemplo: Posto Pluviométrico Nova Venécia - ES

Tabela 1 - Dias de Chuvas Mensais

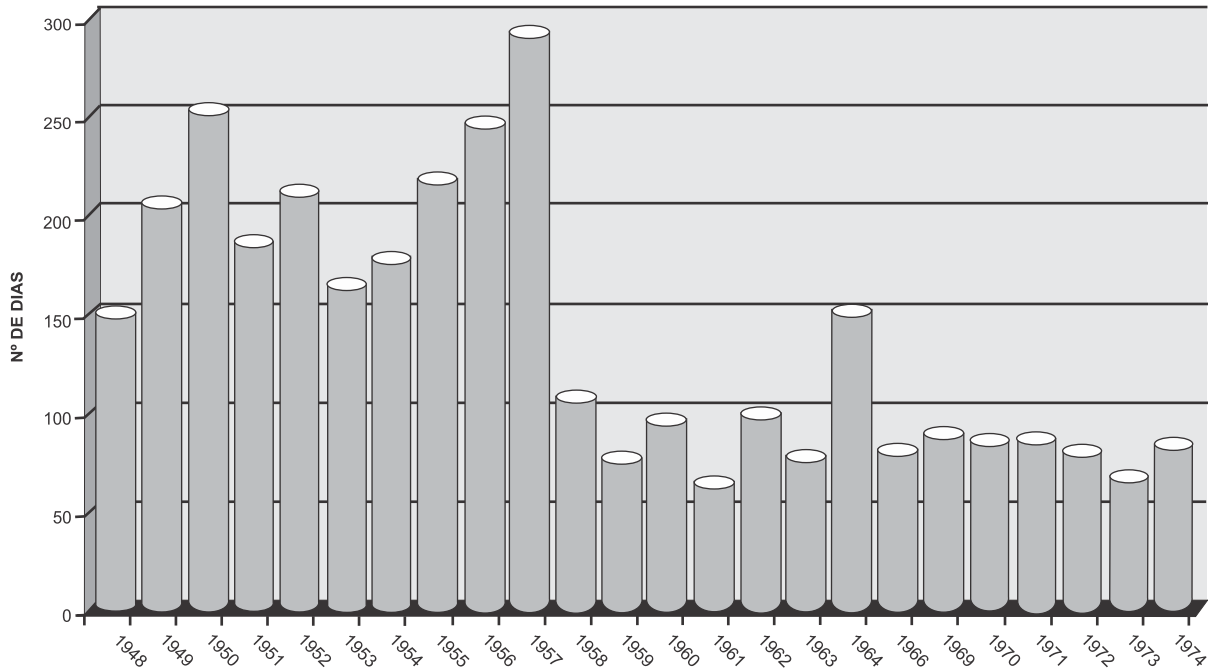
ANO	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
1948	5	5	14	8	22	18	26	10	8	12	10	13	151
1949	15	19	13	12	19	22	21	18	11	23	16	18	207
1950	15	20	14	29	28	29	27	29	16	13	16	18	254
1951	21	14	19	21	15	19	15	19	13	2	5	24	187
1952	20	9	20	14	19	18	19	24	15	7	20	27	212
1953	11	12	14	17	10	20	09	9	13	10	20	20	165
1954	5	13	12	13	21	19	23	16	5	13	17	21	178
1955	22	10	14	24	11	21	21	13	3	21	27	31	218
1956	17	24	17	20	20	17	21	26	16	16	29	24	247
1957	20	20	30	24	31	30	31	28	22	10	22	25	293
1958	18	14	6	17	9	4	7	4	9	9	7	4	108
1959	4	2	8	8	4	3	7	1	8	4	13	14	76
1960	17	8	18	6	3	3	5	7	3	6	15	5	96
1961	18	3	3	3	7	8	3	2	3	5	2	7	64
1962	13	4	10	1	3	5	6	4	11	14	8	20	99
1963	5	15	7	4	4	7	7	3	1	3	13	8	77
1964	22	11	14	9	7	4	11	13	16	16	15	13	151
1966	7	1	2	7	6	5	18	6	9	5	6	8	80
1969	12	3	10	3	8	16	6	1	1	9	5	14	88
1970	21	8	5	6	2	1	12	4	5	7	10	4	85
1971	3	4	10	4	1	3	6	5	7	7	24	12	86
1972	8	8	12	3	1	2	8	1	5	7	14	10	79
1973	5	3	6	2	4	1	11	0	4	11	9	11	67
1974	15	11	13	3	5	1	2	3	5	7	8	11	84
Média	13	10	12	11	11	11	13	10	9	10	14	15	140

Tabela 2 - Alturas Pluviométricas Mensais

ANO	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
1948	24	177	7	21	12	4	12	20	13	17	22	20	1372,2
1949	199,2	392,2	86	72,8	42	52,8	21,4	52,6	4,4	240,4	183	302,2	1649
1950	128,8	79,6	148,8	101,4	49,2	62	47,8	18,6	23	52,4	226	230,4	1168
1951	74,2	149,6	114,4	65,6	16,2	77,2	34,9	32,3	9,4	7,2	3	203,1	787,1
1952	200,1	62,6	218,4	71,1	56,1	27	100,9	89,3	97,6	9,6	214,5	383,9	1531,1
1953	57,5	117,1	96	51,2	22,5	23,5	19,5	9,7	41,2	24,7	232,1	383,6	1078,6
1954	19	32,7	85,2	53	49,4	32,5	64,1	24,2	34,6	68,6	67,4	151,6	682,3
1955	145	57,5	81,1	91,2	99,3	35,71	19,6	10,1	9,7	118,7	352,9	275,7	1296,5
1956	36,5	77,4	152,1	78	41,1	102,3	25,8	22,1	8,6	50,1	246,8	350,6	1191,4
1957	158,5	145	234,5	166	104,4	69	70,6	12,3	94,1	35,4	136	285,6	1511,4
1958	116,1	137,9	47,4	194,7	152,2	4,7	85,3	32,2	77,3	55,6	122,5	95,5	1124,5
1959	63,3	148,8	113,9	93	21,6	19,6	41,8	3,8	75,6	47,6	146,1	222,1	863,2
1960	275,1	127,8	338,2	55,5	18,2	37	30	51,1	17,4	39,9	272,8	98,8	1361,8
1961	265,3	42,1	21,3	41,3	49,8	79,1	26,1	14,7	15,4	38,6	16,7	123,2	733,6
1962	159,6	37,8	90,2	6,3	21,1	24,2	16,7	5,3	63,8	101	98,6	426,6	1050,9
1963	73,9	160,5	23,1	34,9	13,1	16,4	24,6	37,5	3,1	8,3	144,7	60,4	600,5
1964	311,6	64,4	74,7	67	43,6	18	30,4	87,3	92,6	188,5	138,3	227,1	1343,5
1966	82,5	13	0,6	55,7	26,6	6,2	82,1	11,8	71	23,6	138,2	145,3	656,6
1969	175,5	66	126,3	13,3	72,9	172,6	22,3	4	3	85,4	63,5	257,9	1062,7
1970	305,8	78,4	21,6	14,2	13	6	93,8	33,5	62,5	75,1	196,3	62	962,2
1971	52,6	45,2	147	86,8	6,2	31,2	79	35,8	43,5	66,6	404,7	172,8	1171,4
1972	81,8	44,4	198,9	16,4	2	8,4	75,8	19	83	67,2	288,8	258,8	1144,5
1973	110,2	16	94,2	35,3	44,8	6	63,6	0	19	169,5	79	102,6	740,5
1974	243,6	122,6	182	32,2	19,4	12	10	5,4	62,5	66,3	89	86,4	931,4
Média	139,8	94,2	112,6	63,2	249,1	38,6	45,7	26,3	42,7	69	161,7	205,2	1083,9

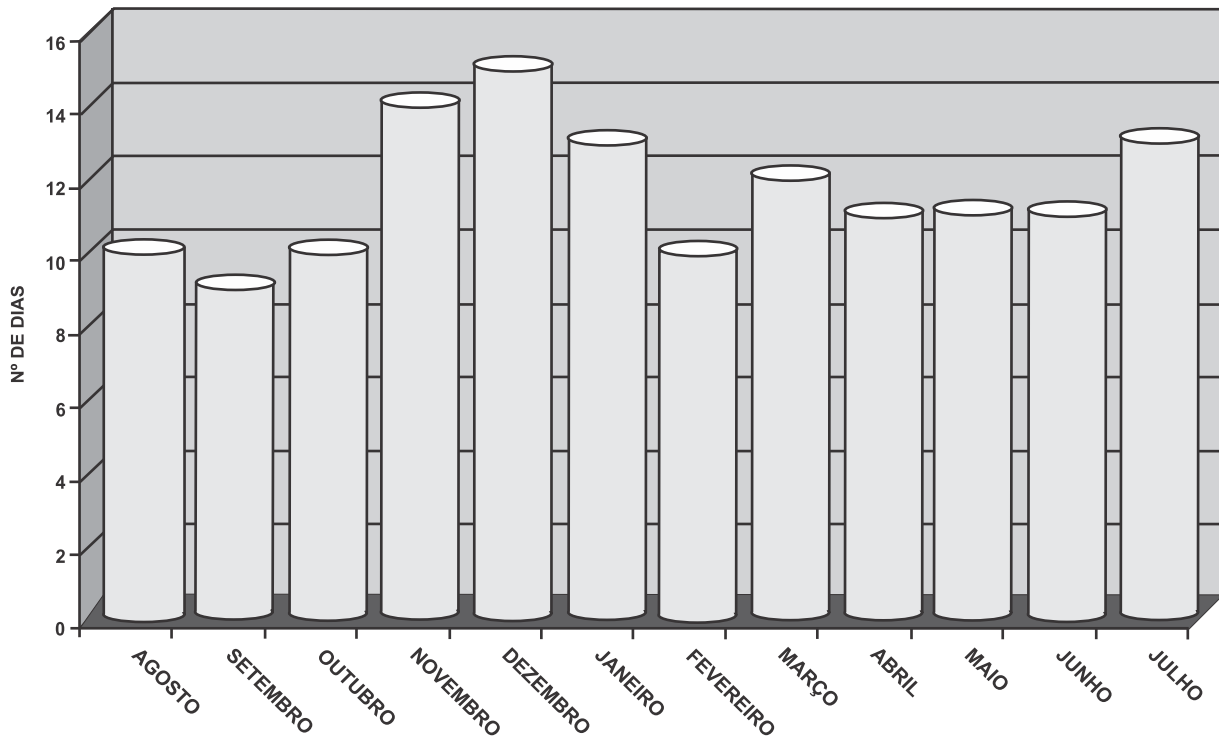
DIAS DE CHUVAS ANUAIS

POSTO: NOVA VENÉCIA - ES



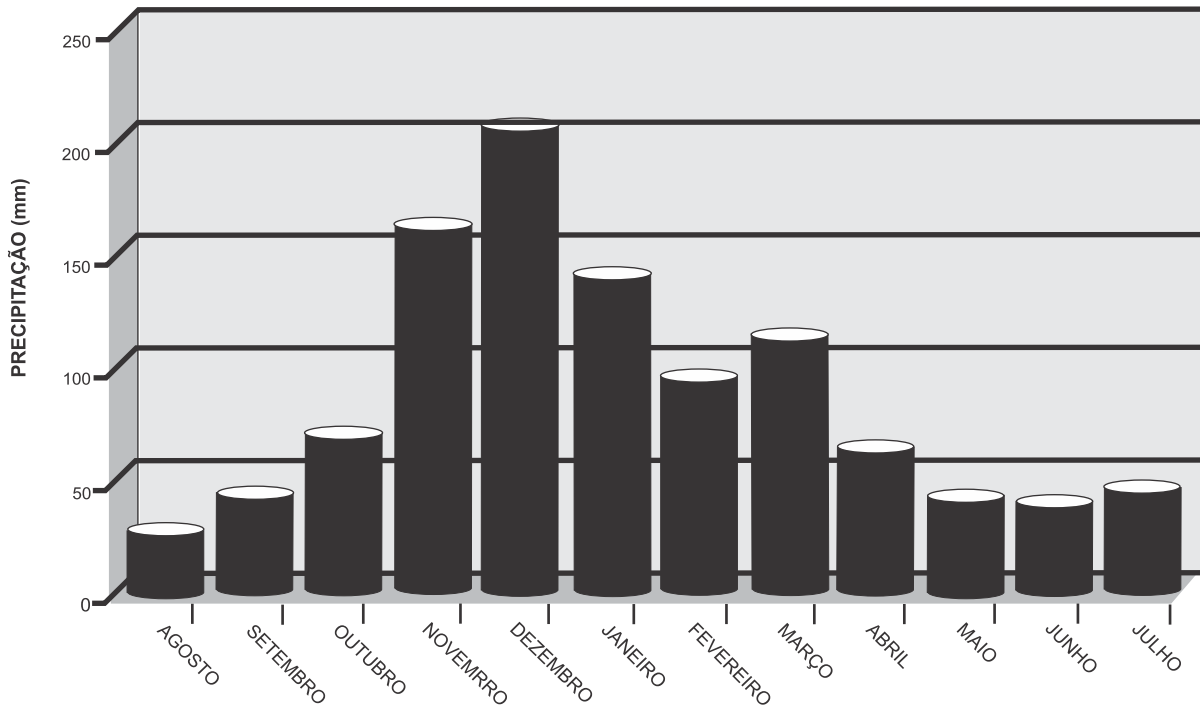
DIAS DE CHUVAS MENSAIS

POSTO: NOVA VENÉCIA - ES



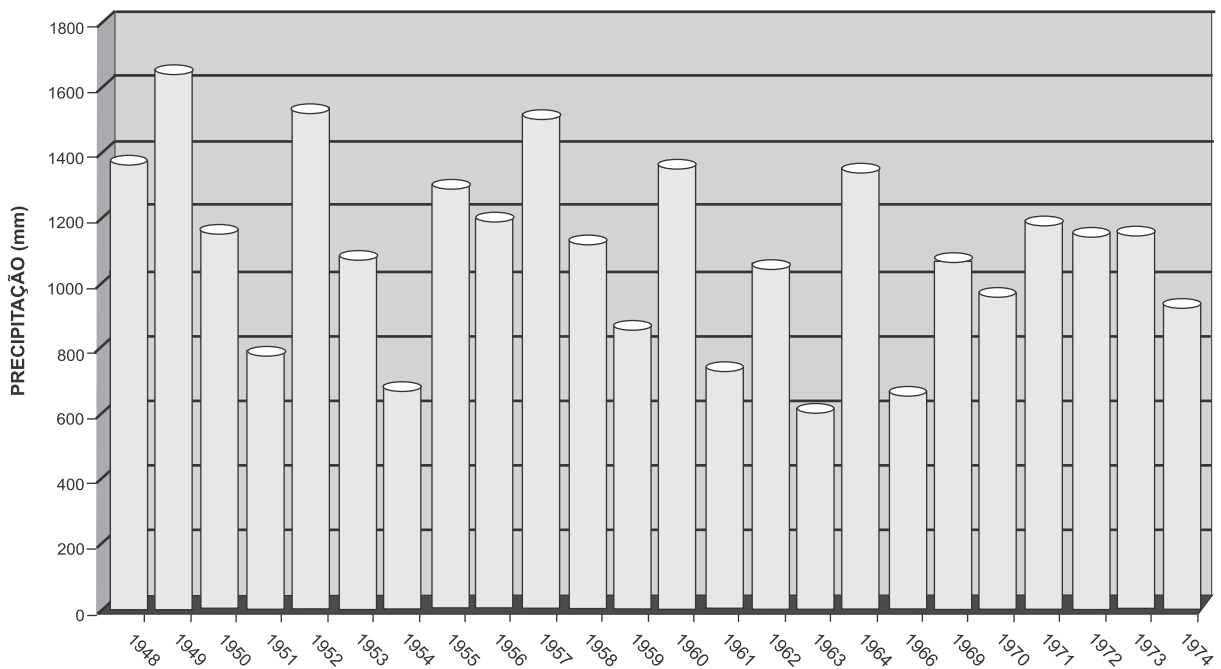
TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS MENSAIS

POSTO: NOVA VENÉCIA - ES

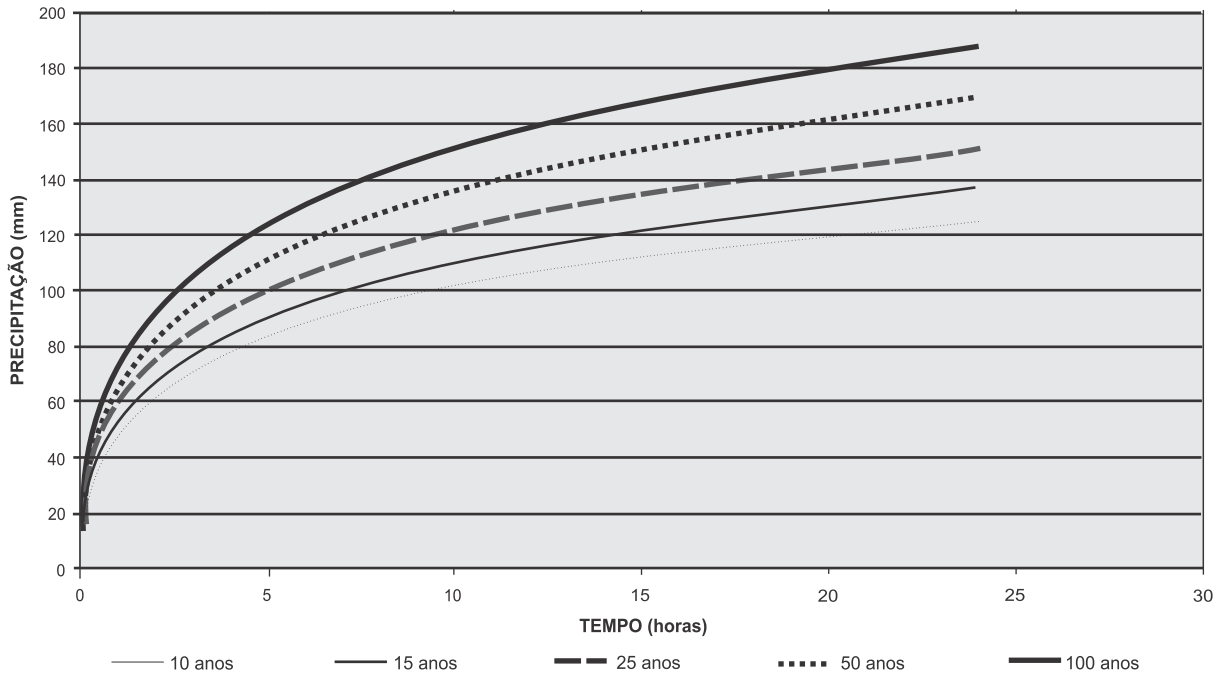


TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS ANUAIS

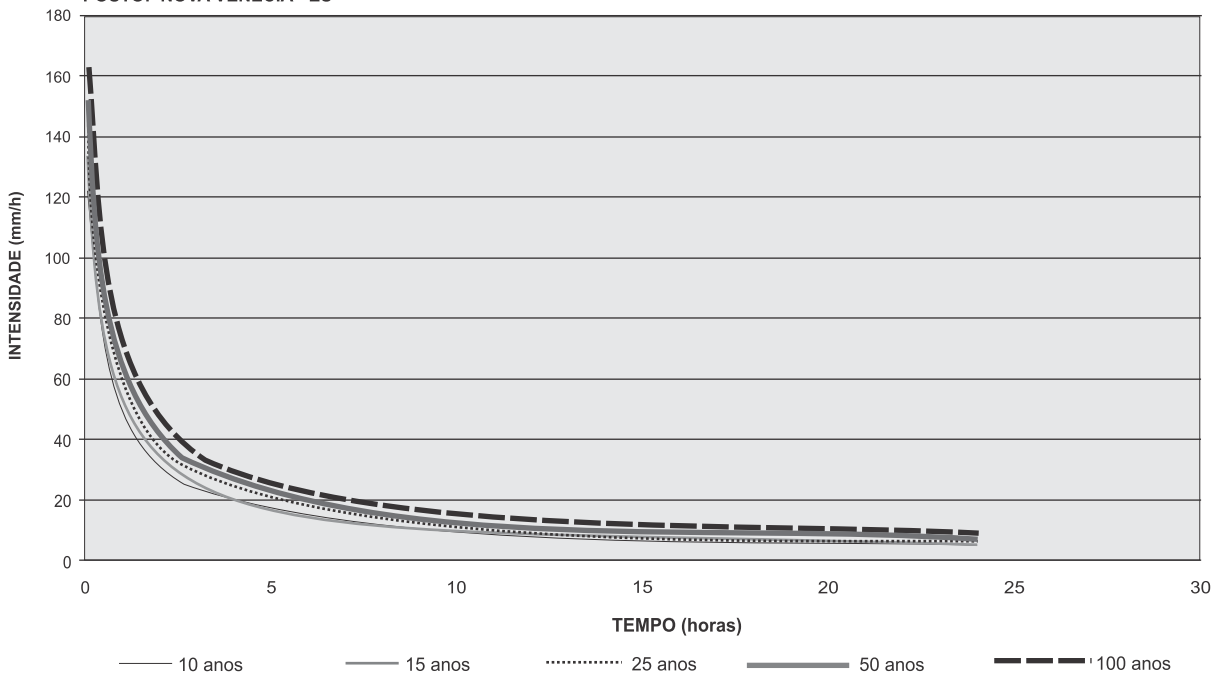
POSTO: NOVA VENÉCIA - ES



CURVA PRECIPITAÇÃO: DURAÇÃO x FREQUÊNCIA
POSTO: NOVA VENÉCIA - ES



CURVA INTENSIDADE
POSTO: NOVA VENÉCIA - ES



4 • 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.

• Considerações gerais

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 (análise de risco). Quanto maior for o período de retorno, maiores serão os valores das vazões de pico encontrada 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.

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.

Segundo o Prof. Paulo Sampaio Wilkwen, "Infelizmente, é quase sempre impossível fazer um cotejo realista entre os custos das obras e os prejuízos previsíveis, de modo a se obter a solução economicamente mais conveniente. Apesar de haver uma tendência generalizada de se declarar prejuízos maiores que os realmente ocorridos, os danos causados por uma inundação são grandes, podendo ocasionar perdas de vidas humanas, além de prejuízos materiais e perda de prestígio de administradores municipais. Nessas condições, a fixação do período de retorno terá que ser baseada em obras existentes, em sua própria experiência e, sobretudo, no bom senso".

O Prof. Paulo Sampaio Wilken diz ainda, "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."

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-lo, duplicando assim sua capacidade de vazão, com aproveitamento integral das obras já executadas.

Parece um procedimento lógico, pois, sem alterar o *status quo* existente, a previsão de obras, com menor investimento inicial, permitindo, contudo, sua ampliação e melhoria no futuro, após uma criteriosa análise do comportamento do canal.

Para o dimensionamento hidráulico das obras de arte especiais pontes, 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, 50 e 100 anos.

• **Escolha de período de retorno para o projeto. Risco calculado**

O período de retorno estabelecido por análise de freqüência 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.

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. A recíproca da freqüência média de tais eventos. A recíproca da freqüência média é o período de retorno médio. 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, $100/1.000 = 0,10$. Não obstante, nos primeiros 10 anos poderiam ter caído 3 chuvas iguais ou superiores a 2 mm/min; os seguintes 10 anos poderiam passar sem nenhuma chuva de tal intensidade, etc. Do mesmo modo, as 3 chuvas caídas nos primeiros 10 anos podem ter sido chuvas intensas com períodos de retorno, por exemplo: 50, 200 e 500 anos. Assim, pois, 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.

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:

$$P = 1 - q^N$$

na qual:

q = 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:

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

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.

A Tab. 1 indica probabilidades de ocorrência para vários períodos de retorno e para vários períodos de tempo, calculadas a partir da equação acima.

O risco que o engenheiro deseja assumir no projeto de uma estrutura de drenagem, variará com a importância da via em que ela será construída e a consideração dessa importância deverá levar em conta os aspectos anteriormente expostos.

A título de exemplo, seja o caso de uma estrada de rodagem de uma rede viária estadual, cuja vida útil é de 25 anos. Uma investigação mostrou que um bueiro projetado para resistir a um pico de vazão correspondente a uma chuva de período de retorno estimado em 10 anos, causaria uma inundação da estrada, mas sem dano apreciável caso ocorresse uma chuva de período de 50 anos; todavia, a destruição parcial do aterro da estrada, com prejuízos consideráveis para o tráfego de veículos e propriedades vizinhas, poderia ocorrer se caísse uma chuva de período de retorno de 200 anos. O engenheiro baseará seu raciocínio ao tomar a sua decisão quanto à escolha do período de retorno considerando o seguinte: o risco de um caudal produzido por uma chuva de 200 anos ocorrendo durante a vida estimada da estrada (25 anos) é somente **11,8%** (Tab. 1). Este risco é justificado em vista do fato de que o custo adicional de um bueiro, projetado para suportar um pico correspondente a uma chuva de período de retorno de 200 anos, seria grande em comparação com o dano estimado que poderia resultar da dimensão adotada. E, mesmo construindo esse bueiro, a probabilidade teórica de que ele não acarretaria danos consideráveis é de 88%. Se o bueiro for projetado utilizando uma chuva de projeto com período de retorno de 50 anos, o risco é de **39,6%** (Tab.1) e a probabilidade de que ele não acarrete danos consideráveis é de **60,4%**.

Um outro exemplo para melhor fixar o conceito de risco: Em uma rodovia tem-se uma bacia cuja área (área rural) é de $7,7 \text{ km}^2$ onde para o cálculo da vazão quando adotado o tempo de recorrência de 25 anos obteve-se $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$. A obra dimensionada para esta vazão é uma galeria BDCC $2,00 \times 2,00$. O tempo de vida útil estimado para a obra é de 50 anos, utilizando-se a tabela 1, verifica-se que o risco desta vazão ser igualada ou ultrapassada é de 87,0%, porém não quer dizer que ocorrerá um colapso ou interrupção da obra. Na avaliação para a determinação do tempo de recorrência em relação ao risco a ser admitido deverá ser avaliado considerado as diversas variáveis, como a altura do aterro o material utilizado no corpo do aterro, a conformação do talvegue, etc...

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrência em função do período de retorno

Período de retorno T em anos	Probabilidade de que o evento será igualado ou excedido pelo menos uma vez em um período em anos de:							
	5	10	15	20	25	50	75	100
5	0,672	0,892	0,964	0,988	0,996	-	-	-
10	0,410	0,651	0,794	0,878	0,928	0,955	-	-
15	0,292	0,498	0,646	0,748	0,822	0,968	0,994	0,999
20	0,226	0,402	0,537	0,642	0,723	0,923	0,979	0,995
25	0,185	0,336	0,458	0,558	0,640	0,870	0,954	0,983
50	0,096	0,183	0,262	0,332	0,396	0,636	0,781	0,868
75	0,063	0,122	0,178	0,230	0,278	0,480	0,635	0,730
100	0,049	0,096	0,140	0,181	0,222	0,395	0,549	0,634
200	0,025	0,049	0,073	0,095	0,118	0,222	0,314	0,394
500	0,009	0,020	0,030	0,039	0,049	0,095	0,140	0,181

Estas probabilidades podem ser consideradas como fatores de risco, visto que representam o risco de dano e destruição que o engenheiro deseja assumir no projeto de uma estrutura de drenagem.

• **Tempo de Recorrência recomendado por órgãos rodoviários:**

1. DNIT

- Drenagem superficial - 5 anos a 10 anos
- Drenagem profunda - 1 ano
- Drenagem grotas, Bueiros tubulares - 10 anos (como canal) e 25 anos (como orifício)
- Drenagem grotas, Bueiros Celulares (Galerias) - 25 anos (como canal) e 50 anos (como orifício)
- Pontilhão - 50 anos
- Ponte - 100 anos

2. AGETOP - GO

- Bueiros de grotas e drenagem superficial - 5 anos
- Bueiros em bacias até 1 km² - 10 anos (como orifício - 25 anos)
- Bueiros em bacias entre 1 km² e 5 km² - 25 anos (como orifício - 50 anos)
- Bueiros ou galerias em que 5 km² < A ≤ 10 km² - 50 anos
- Pontes até 100 m - 50 anos
- Pontes maiores que 100 m - 100 anos

3.DER - MG

3.1 Rodovias Normais:

- Drenagem superficial -10 anos
- Drenagem profunda -1 ano
- Drenagem grota, Bueiros tubulares - 25 anos (como orifício);
- Drenagem grota, Bueiros celulares - 25 anos (como canal) e 50 anos (como orifício);
- Pontes - 50 e 100 anos.

3.2 Rodovias com baixo volume de tráfego:

3.2.1 300 < VMD < 1000

- Drenagem superficial - 10 anos
- Drenagem profunda - 1 ano
- Drenagem grota, Bueiros tubulares - 15 anos (como orifício)
- Drenagem grota, Bueiros celulares - 25 anos (como orifício)
- Pontes - 50 anos

3.2.2 Proposta para rodovias municipais: * VMD < 300

- Drenagem superficial - 5 anos
- Drenagem profunda - 1 ano
- Drenagem grota:

Bacias com área até 50 Ha - 5 anos como orifício

Bacias com área de 50 Ha até 400 Ha - 10 anos como orifício

Bacias maiores que 400 Ha - 15 anos como orifício, sendo Hw/D para os bueiros tubulares ≤ 2 e para os bueiros celulares o Hw/D $\leq 1,2$

**VDM - Volume Médio Diário de Tráfego.*

4. Proposta para ferrovias

- Drenagem superficial - 10 anos
- Drenagem profunda - 1 ano
- Drenagem grota: - Bueiros tubulares - 50 anos
 - Bueiros celulares - 100 anos
 - Pontes - 200 anos

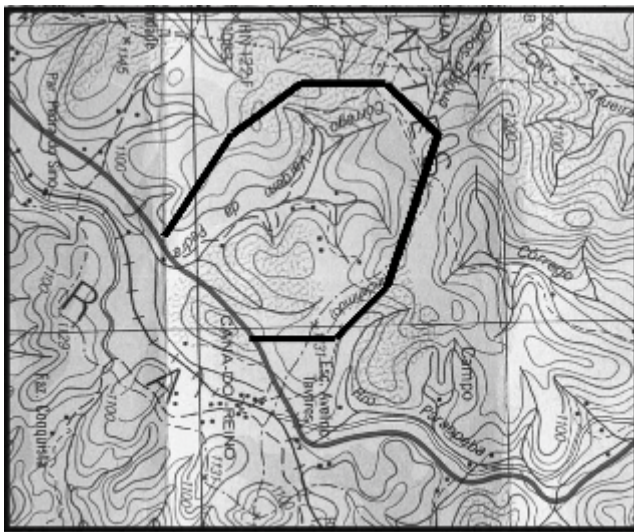
Obs: O tempo de recorrência a ser adotado num projeto, deve ser adequado à sua importância e as conseqüências dos problemas que poderão ocorrer caso a chuva precipitada tenha um Tr maior do que a que foi considerada no projeto. Por exemplo: O Tr a ser adotado para o Anel Rodoviário de Belo Horizonte, que na sua parte mais carregada possuiu volume de tráfego superior a 160.000 veículos, não pode ser igual ao adotado numa rodovia vicinal com um VMD < que 200 veículos.

5 • Estudo das Bacias de Contribuição ou Bacias Hidrográficas

Segundo Paulo Sampaio Wilken, "A bacia contribuinte de um curso de água ou bacia de drenagem é a área receptora 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 hidrográfica 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".

Os limites de uma bacia contribuinte são definidos pelos divisores de água ou espigões que a separam das bacias adjacentes, conforme pode ser observado na fig. Abaixo.



Onde:

- Eixo da Rodovia
- Talvegue
- Divisor

Uma bacia contribuinte, quase sempre, tem um único despejo, que é um ponto no qual o curso d'água corta o eixo da rodovia. É objeto de estudos hidrológicos, compreendendo a sua fisiografia, geomorfologia, geologia e hidrometria.

Os estudos hidrológicos mostram que há uma diferença marcante entre a pequena e a grande bacia de drenagem, que não depende exclusivamente do seu tamanho. Para uma pequena bacia de drenagem, os caudais são principalmente influenciados pelas condições climáticas da localidade, físicas do solo e da cobertura sobre a qual o homem tem algum controle; assim, no seu estudo hidrológico é dada maior atenção à própria bacia. Para uma bacia grande, o efeito do armazenamento no leito do curso d'água torna-se muito pronunciado, de tal modo que nela predomina o estudo hidrológico do curso d'água efetuando-se medidas diretas dos caudais em pontos predeterminados e estudos estatísticos das vazões, os quais são muitas vezes estendidos e extrapolados. No caso de bacias pequenas, ao contrário das bacias grandes, as medidas diretas não têm valor significante porque o homem, alterando no tempo as condições físicas da cobertura do solo, por onde a água se escoar, modifica as condições de escoamento independentemente de variações dos fatores climáticos locais.

Usando unicamente o tamanho da bacia como critério para classificá-la como grande ou pequena, pode o projetista incorrer em erros, pois, freqüentemente, duas bacias do mesmo tamanho podem se comportar de modo inteiramente diverso sob o ponto de vista hidrológico. Uma característica distinta da pequena bacia é o fato de que o efeito do escoamento superficial na bacia afeta muito mais o valor do caudal máximo do que o efeito do armazenamento no curso de água. Tal efeito é, todavia, muito pronunciado nas grandes bacias. Atendendo a estas considerações, Ven Te Chow, classifica as bacias de drenagem de conformidade com a seguinte definição: "Uma pequena bacia

de drenagem é aquela cuja sensibilidade às chuvas de alta intensidade e curta duração e ao uso da terra, não é suprimida pelas características do leito do curso de água.”

Por esta definição, Ven Te Chow admite que uma pequena bacia possa ter a área de alguns hectares até 130 km². O limite superior da extensão da bacia pequena depende da condição em que a sensibilidade mencionada se torna praticamente perdida devido ao preponderante efeito do armazenamento no leito do curso d'água.

As bacias que possuem divisores definindo bem uma área de contribuição de escoamento, porém sem um talvegue definido são chamadas de bacias de encosta ou bacias de escoamento difuso.

5.1 • Estudo das características físicas

Do ponto de vista hidrológico, o escoamento de um curso de água ou deflúvio, pode ser considerado como um produto do ciclo hidrológico, influenciado por dois grupos de fatores, a saber:

- Fatores climáticos: incluem os efeitos da chuva e da evapotranspiração, os quais apresentam variações ao longo do ano, de acordo com a climatologia local;
- Fatores fisiográficos; relativos às características da bacia contribuinte e do leito dos cursos de água.

O estudo dos fatores climáticos é necessário para a obtenção das bases pluviométricas do projeto, em função das quais se determinam as vazões de projeto. E, entre os fatores fisiográficos, o estudo das características do curso de água considera mais as propriedades hidráulicas dos condutos que promovem o deflúvio dos caudais.

As características físicas da bacia são: área, comprimento do talvegue e declividade do talvegue, que são obtidos através da elaboração do Mapa de Bacias.

5.2 • Características Topográficas Individualização da Bacia Contribuinte

A individualização da bacia contribuinte é feita pelo traçado em planta topográfica das linhas dos divisores de água ou espigões (vide desenho pág.39). Como é obvio, esta 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) ou, quando se exige estudo mais minuciosa, 1 para 2.000 (curvas de nível de 2 em 2 metros); para o estudo de bacias que compreendem exclusivamente zonas rurais é suficiente a escala de 1 para 10.000 (com curvas de nível de 10 em 10 metros).No Estado de Minas Gerais existem cartas topográficas do IBGE nas escalas: 1:50.000 e 1:100.000 que estão disponibilizadas no site: <http://biblioteca.ibge.gov.br>.

• **Declividade da Bacia**

A superfície da terra é dividida em inúmeras bacias contribuintes de cursos de água, permanentes ou intermitentes, grandes ou pequenas, cujo relevo é muito variável. O relevo da bacia contribuinte é um dos principais fatores na formação das cheias, afetando as condições meteorológicas, processos erosivos, regime hidráulico das cheias e a expressão quantitativa da velocidade de escoamento e de perdas de água durante as chuvas. 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 das cheias, oferece a possibilidade de garantir a estabilidade de estruturas hidráulicas contra enchentes, especialmente em regiões mais acidentadas e, em conseqüência, a redução dos custos de construção.

A Declividade Média é obtida através da diferença de nível entre o início do talvegue de uma bacia e o local de transposição da rodovia, dividido pelo comprimento do talvegue, conforme fórmula a seguir:

Onde:

$$i_m = \frac{H}{L}$$

- i_m** = declividade média m/m;
- H** = diferença de nível;
- L** = comprimento total do talvegue.

A Declividade Efetiva, é a média ponderada das declividades médias, elevada ao quadrado conforme fórmula abaixo:

$$i = \left[\frac{L}{\frac{L1}{\sqrt{i1}} + \frac{L2}{\sqrt{i2}} + \frac{L3}{\sqrt{i3}} \dots + \frac{Ln}{\sqrt{in}}} \right]^2$$

- L** = Comprimento total do talvegue em Km;
- L₁, L₂ .. L_n** = Comprimentos Parciais do Talvegue em Km;
- i₁, i₂ .. i_n** = Declividades Parciais em m/m.

A declividade efetiva representa melhor o comportamento da declividade de uma bacia. Recomenda-se sempre, o uso da declividade efetiva para o cálculo do Tempo de Concentração das bacias, pois em muitos casos a *declividade média chega a ser o dobro da declividade efetiva*.

5.3 • Forma da Bacia

Muito se tem escrito e discutido a respeito da forma geométrica da bacia contribuinte e sua influência sobre o valor da vazão máxima. Todavia, até agora, tem-se obtido, a esse respeito, um conceito mais qualitativo que quantitativo.

Uma bacia contribuinte é definida, primeiramente, pelo seu contorno, que tem certa forma e inclui certa superfície "A". É evidente que esta 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 condições, da mesma maneira que uma bacia de forma muito alargada e curta (redonda).

Além da forma geométrica, pode-se afirmar que a conformação da bacia, sua geomorfologia a altura dos divisores e a forma do talvegue (escoamento concentrado ou escoamento espreado) influenciam no valor da vazão máxima de uma bacia.

6 • 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.

Existem várias fórmulas indicadas para a determinação dos tempos de concentração das bacias hidrográficas. No Manual de Projeto de Engenharia- capítulo III- Hidrologia DNER 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.

Serão apresentadas a seguir, **fórmulas para o cálculo do tempo de concentração**, correlacionando com a área da Bacia:

6.1 • Tempo de Concentração para o Método Racional em bacias com Área $\leq 4\text{km}^2$

6.1.1 • R. Peltier / 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.2)

$$T_2 = 1/\beta_2 \times T'_2$$

$1/\beta_2$ = coeficiente de correção da cobertura vegetal (Quadro n.2)

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

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

Onde:

α = coeficiente de forma da bacia

L = comprimento do talvegue em hm (hectômetro).

A = área da bacia em ha (hectare).

O coeficiente de forma da bacia indica se a bacia é mais alongada ou arredondada:

- A bacia cujo coeficiente de forma α é inferior a 1,5 possui a forma arredondada;
- A bacia com o coeficiente de forma α entre 1,5 e 3,0 está numa faixa intermediária, não é considerada nem arredondada nem de forma alongada;
- A bacia cujo coeficiente de forma α é superior a 3,0 possui a forma muito alongada.

QUADRO Nº 2

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)					
	$1/\beta_2$	0,025	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Plataformas de estradas, Terrenos com Vegetação Rala sem Vegetação ou Rochosa. <i>(região montanhosa com rocha)</i>	1,0	7	5	3	2	2	2
Vegetação Normal, Gramas, etc. <i>(região montanhosa)</i>	1,33	16	13	8	6	5	5
Vegetação Densa e Cerrada <i>(Região plana)</i>	1,67	20	16	10	8	7	6
Floresta Densa <i>(região plana com alagadiços)</i>	2,5	20	20	18	10	9	8

T₂ - QUADRO N°3

i=0.025 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	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	9	13
2	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	13	17
5	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	17	23
10	7	8	8	9	10	11	11	12	13	13	14	21	32
20	11	12	14	15	16	17	18	19	20	22	23	34	45
30	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	25	28	51
40	15	16	17	18	20	21	23	24	25	27	28	42	55
50	17	19	20	22	24	25	27	29	31	32	34	51	58
60	24	29	29	31	34	35	38	41	43	45	48	72	96
70	30	33	36	39	42	45	48	50	53	55	59	89	119
80	33	36	39	41	46	49	52	55	59	62	65	98	130
90	35	39	42	46	50	53	57	60	64	67	74	106	141
100	38	42	45	50	53	57	61	65	69	73	76	115	153
150	48	53	58	62	67	72	77	82	87	91	96	144	192
200	57	62	67	74	79	85	91	96	102	107	113	170	225
250	69	75	83	90	97	104	111	118	125	132	139	206	227
300	81	89	97	105	113	121	129	137	147	153	160	242	322
400	109	120	131	142	153	168	174	185	196	207	221	327	435

T₂ - QUADRO Nº4

i=0.05 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	116	131	139	146	154	231	306

T₂ - QUADRO N°5

i=0.10 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	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	5
2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	6	8
5	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	8	11
10	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	11	14
20	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	17	23
30	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	13	19	25
40	7	8	8	9	10	11	11	12	13	13	14	21	28
50	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17	25	34
60	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	36	48
70	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	45	59
80	16	18	20	21	23	24	26	28	29	31	33	49	65
90	18	19	21	23	25	26	28	30	32	34	35	53	71
100	19	21	23	25	27	29	31	32	34	36	38	57	78
150	24	26	29	31	34	36	38	41	43	46	48	72	96
200	28	31	34	37	40	42	45	48	51	54	57	85	113
250	35	38	42	45	48	52	55	59	62	66	69	104	139
300	40	44	48	52	56	60	64	68	72	77	81	121	161
400	54	60	65	71	76	82	87	92	98	103	109	168	218

T₂ - QUADRO N°6

i=0.15 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	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	5	7
5	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	7	9
10	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	9	12
20	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	14	19
30	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	16	21
40	6	6	7	8	8	9	9	10	10	11	12	17	23
50	7	7	8	9	10	10	11	12	12	13	14	21	28
60	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	29	39
70	12	13	15	16	17	18	19	21	22	23	24	36	49
80	13	15	16	17	19	20	21	23	24	25	27	40	53
90	14	16	17	18	20	22	23	25	26	27	29	43	58
100	16	17	19	20	22	23	25	27	28	30	31	47	62
150	22	22	24	26	27	29	31	32	33	35	37	59	79
200	23	25	28	30	32	35	37	39	42	44	46	69	92
250	28	31	34	37	40	42	45	48	51	54	57	85	113
300	33	36	40	43	46	49	53	56	59	63	66	99	132
400	44	49	53	58	62	67	71	76	80	84	89	134	178

T₂ - QUADRO N°7

i=0.20 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	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	4
2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	5
5	2	2	2	3	3	3	4	3	4	4	4	6	8
10	2	3	3	3	3	4	5	4	4	5	5	7	10
20	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	12	16
30	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	13	18
40	5	5	6	6	7	7	9	8	9	9	10	15	20
50	6	7	7	8	8	9	11	10	11	11	12	18	24
60	8	9	10	11	12	13	16	14	15	16	17	25	34
70	10	12	13	14	15	16	19	18	19	20	21	31	42
80	11	13	14	15	16	17	21	20	21	22	24	34	46
90	12	14	15	16	17	19	23	21	22	24	25	37	50
100	13	15	16	18	19	20	25	23	24	26	27	40	54
150	17	19	20	22	24	25	31	29	31	32	34	51	68
200	20	22	24	26	28	30	37	34	36	38	40	60	80
250	24	27	29	32	34	37	45	42	44	47	49	73	98
300	28	31	34	37	40	45	53	48	51	54	57	85	114
400	38	42	46	50	54	58	71	65	69	73	77	105	154

T₂ - QUADRO Nº8

i=0.25 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	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	4
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	5
5	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	5	9
10	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	9
20	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	11	14
30	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	12	16
40	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	13	18
50	5	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	16	21
60	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15	23	30
70	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	28	38
80	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	31	41
90	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	33	45
100	12	13	14	17	17	18	19	21	22	23	24	36	48
150	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	46	60
200	18	20	21	23	26	27	29	30	32	34	36	54	65
250	22	24	26	28	31	35	36	37	39	42	44	66	68
300	25	28	31	35	36	38	41	45	46	48	51	76	102
400	34	38	41	45	48	52	55	59	62	65	69	103	137

6.1.2 • Tempo de Concentração de Kirpich é indicado para os seguintes Métodos: Racional com Coeficiente de Deflúvio dos Engenheiros Baptista Gariglio e José Paulo Ferrari ($A \leq 4 \text{ km}^2$), Racional com Coeficiente de Retardo ($4 \text{ km}^2 < A \leq 10 \text{ km}^2$) e para o Método do Hidrograma Triangular sintético ($A > 10 \text{ km}^2$).

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

Onde:

- 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.

6.1.3 • Fórmula do DNOS

$$T_c = \frac{10}{K} \times \frac{A^{0,3} \times L^{0,2}}{I^{0,4}}$$

Sendo:

- T_c = tempo de concentração, em minutos;
 A = área da bacia, em ha;
 L = comprimento do curso d'água, em m;
 I = declividade, em %;
 K = depende das características da bacia, conforme descrito em seguida:

- Terreno arenoso-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção...K= 2,0
- Terreno comum, coberto de vegetação, absorção apreciável.....K= 3,0
- Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média.....K= 4,0
- Terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção.....K= 4,5
- Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção.....K= 5,0
- Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção.....K= 5,5

7 • Coeficiente de Escoamento ou Coeficiente de Deflúvio

Coeficiente de deflúvio ou coeficiente de escoamento superficial ou ainda **coeficiente de "run-off"**, é a **relação entre o volume de água escoado superficialmente e o volume precipitado**.

Obs: Quando adotamos para uma determinada bacia um coeficiente de deflúvio $c=0,30$, isto implica em dizer que, do escoamento/chuva que estamos considerando em nosso cálculo de vazão, somente 30% do seu volume estará chegando no ponto de transposição, ou local da obra a ser projetada.

A água de chuva precipitada sobre a superfície de uma bacia hidrográfica tem uma parcela considerável de seu volume retida através das depressões do terreno (mais ou menos dependendo da geomorfologia), da vegetação, da interceptação para uso na agricultura, consumo humano e infiltração no solo que formam e alimentam os lençóis freáticos. O percentual do volume restante que esco até o local da área em estudo é chamado de coeficiente de deflúvio.

A tabela de coeficiente de deflúvio a ser utilizada deverá ser compatível com o método de cálculo de vazão e da área da bacia.

7.1 • Área $\leq 4\text{km}^2$ (cálculo da vazão pelo Método Racional)

7.1.1 • R. Peltier / J.L. Bonnenfant

VALORES DO COEFICIENTE DE RUN-OFF "C"								
NATUREZA DA COBERTURA	0 < A < 10ha				10ha < A < 400ha			
	<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 (região montanhosa com rocha)	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

7.1.2 • Eng. Baptista Gariglio e José Paulo Ferrari

TIPO DE SOLO, PERMEABILIDADE E COBERTURA VEGETAL	COEF. DEFLÚVIO
1• Solo rochoso, de baixa permeabilidade, com vegetação rala	0,70 a 0,85
2• Solo rochoso, de baixa permeabilidade, com vegetação densa	0,65 a 0,80
3• Solo rochoso, de média permeabilidade, com vegetação rala	0,60 a 0,75
4• Solo rochoso, de média permeabilidade, com vegetação densa	0,55 a 0,70
5• Solo argiloso, de baixa permeabilidade, com vegetação rala	0,50 a 0,65
6• Solo argiloso, de baixa permeabilidade, com vegetação densa	0,45 a 0,60
7• Solo argiloso, de baixa permeabilidade, com floresta	0,40 a 0,55
8• Solo argiloso-arenoso, de média permeabilidade, com vegetação rala	0,35 a 0,50
9• Solo argiloso-arenoso, de média permeabilidade, com vegetação densa	0,30 a 0,45
10• Solo argiloso-arenoso, de média permeabilidade, com floresta	0,25 a 0,40
11• Solo argiloso-arenoso, de alta permeabilidade, com vegetação rala	0,20 a 0,35
12• Solo argiloso-arenoso, de alta permeabilidade, com vegetação densa	0,15 a 0,30
13• Solo argiloso-arenoso, de alta permeabilidade, com floresta	0,10 a 0,25

7.2 • $4\text{Km}^2 < \text{Área} \leq 10\text{Km}^2$

(Cálculo da vazão pelo Método Racional com coeficiente de retardo)

BURKLI- ZIEGLER	C
• Áreas densamente construídas	0.70 a 0.75
• Zonas residenciais comuns	0.55 a 0.65
• Zonas urbanas (<i>região montanhosa</i>)	0.30 a 0.45
• Campos de cultura (<i>região plana</i>)	0.20 a 0.30
• Parques, jardins (<i>plana com alagadiço</i>)	0.15 a 0.25

7.3 • Área > 10km²

(cálculo da vazão pelo Método do Hidrograma Triangular Sintético)

Coeficiente “U.S.A. Soil Consevation Service”,

Pela análise pedológica, determina-se o tipo do Solo Hidrológico : Tipo A, B, C ou D.

O número de deflúvio **CN** é determinado após a definição do tipo de solo, sua utilização e as condições de superfície, conforme tabela abaixo.

• Definição do Solo Hidrológico

TIPO DE SOLO	CARACTERÍSTICAS
TIPO A	<i>Baixo potencial de escoamento superficial e, portanto, alto coeficiente de permeabilidade, mesmo quando totalmente encharcado. Camadas profundas com pouca argila ou silte e mais areia e pedregulho limpo, com textura de boa drenagem. Coeficiente de permeabilidade aproximadamente igual a 10^{-1}.</i>
TIPO B	<i>Coeficiente de infiltração moderado quando totalmente encharcado. Inclui solos arenosos em camadas menos profundas que os do Tipo A, condições de drenagens médias, textura moderadamente fina e granular. Coeficiente de permeabilidade entre 10^{-1} a 10^{-3}.</i>
TIPO C	<i>Baixo coeficiente de infiltração quando totalmente encharcado composto por camadas com grande percentagem de argila e silte. Coeficiente de permeabilidade variando entre 10^{-1} a 10^{-5}.</i>
TIPO D	<i>Alto potencial de escoamento superficial e, conseqüentemente, baixo coeficiente de infiltração quando encharcado. É constituído por camadas de argila próximas à superfície e por solos superficiais sobre horizontes impermeáveis (rochosos). Coeficiente de permeabilidade compreendido entre 10^{-5} a 10^{-7}.</i>

• **Número de Deflúvio - CN**

UTILIZAÇÃO DA TERRA	CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE	TIPOS DE SOLO			
		A	B	C	D
TERRENOS CULTIVADOS	Sulcos retilíneos Fileiras retas	77	86	91	94
		70	80	87	90
PLANTAÇÕES REGULARES	Em curvas de nível Terraceado em nível Fileiras retas	67	77	83	87
		64	73	79	82
		64	76	84	88
CEREAIS	Em curvas de nível Terraceado em nível Fileiras retas	62	74	82	85
		60	71	79	82
		62	75	83	87
LEGUMES OU CAMPOS CULTIVADOS	Em curvas de nível Terraceado em nível Pobres Normais Boas	60	72	81	84
		57	70	78	89
		68	79	86	89
		49	69	79	84
		39	61	74	80
PASTAGENS	Pobres, em curvas de nível Normais, em curvas de nível Boas, em curvas de nível	47	67	81	88
		25	59	75	83
		6	35	70	79
CAMPOS PERMANENTES	Normais Esparsas, de baixa transpiração Normais Densas, de alta transpiração	30	58	71	78
		45	66	77	83
		25	55	70	77
		25	55	70	77
CHÁCARAS	Normais	59	74	82	86
ESTRADAS DE TERRA	Más De superfície duro	72	82	87	89
		74	84	90	92

Este método é recomendado pelo DNIT e por alguns departamentos de estradas de rodagem estaduais - DER, porém a sua aplicação requer um tempo maior para elaboração do projeto, incompatível com os prazos estabelecidos na sua contratação. Caso fosse feita a determinação do valor de CN como está preconizado pelo método, haveria a necessidade de uma pesquisa ampla para cada bacia em toda a sua área, com a realização de sondagens para coleta de materiais, com o objetivo de caracterizar os tipos de solo e possibilitar a execução de ensaios de permeabilidade, isto implicaria na necessidade de aumentar significativamente os prazos e custos dos projetos.

Tendo em vista a complexidade da utilização das tabelas anteriores, Método Soil Conservation Service, para a definição do CN e seus custos e tempo de estudo elevados, sugerimos adotar, principalmente como ponto de partida (pré- dimensionamento), a tabela abaixo:

Tabela de CN - Jabôr

$$CN = CN_1 \times CN_2 \times CN_3$$

$A \leq 30 \text{ Km}^2$		$30 \text{ km}^2 < A < 60 \text{ km}^2$		$A \geq 60 \text{ km}^2$	
i (%)	CN ₁	i (%)	CN ₁	i (%)	CN ₁
≤ 0,5	68	0,25	62	≤ 0,125	56
1,0	70	0,50	64	0,25	58
1,5	72	0,75	66	0,5	60
2,0	74	1,0	68	1,0	65
3,0	76	1,5	71	1,5	70
4,0	78	2,0	77	2,0	80
5,0	80	3,0	81	3,0	85
6,0	82	4,0	84	≥ 4,0	90
7,0	84	5,0	88		
8,0	86	≥ 6,0	90		
9,0	88				
≥ 10,0	90				

Onde:

i = declividade efetiva do talvegue em %

A = área da bacia em Km²

CN ₂	Precipitação(mm)	CN ₃
Região Montanhosa c/ Rocha = 1,1	≥ 177,8	0,6
Região Montanhosa = 1,0	177,8	0,7
Região Ondulada = 0,9	152,4	0,8
Região Plana = 0,8	127,0	0,9
	101,6	1,0
	76,2	1,1
	50,8	1,2
	25,4	1,3
	≤ 25,4	1,4

Obs:

CN₁ = Obtém-se a partir da Área da bacia e da sua declividade efetiva

CN₂ = É função da Geomorfologia da Área em estudo

CN₃ = Está relacionada com a Pluviometria obtida pelo cálculo do Tempo de Concentração.

8 • Cálculo das Vazões das Bacias Hidrográficas

A escolha da metodologia para cálculo das vazões máximas prováveis constitui o ponto fundamental para um correto desenvolvimento dos estudos hidrológicos nos projetos rodoviários.

Para o cálculo dessas vazões existem várias fórmulas empíricas e o chamado método racional, além dos chamados hidrogramas unitários para as bacias de maior porte.

8.1 • Método Racional

8.1.1 • Método Racional - Área $\leq 4 \text{ km}^2$

(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

8.1.2 • Método Racional - Área $\leq 4 \text{ km}^2$

(tempo de concentração de Kirpich)

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

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

$$A = \text{ha}$$

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

C = coeficiente de deflúvio -Baptista Gariglio e José Paulo Ferrari

8.2 • Método Racional com coeficiente de retardo $4\text{km}^2 < \text{Área} \leq 10\text{km}^2$

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

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

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

C = coeficiente de deflúvio de Burkli - Ziegler

\emptyset = coeficiente de retardo

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

A expressão para o coeficiente de retardo é:

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

n = 4, pequenas declividades, inferiores a 0.5 % (Burkli Ziegler)

n = 5, médias declividades, entre 0.5 e 1 % (MC MATH)

n = 6, fortes declividades, superiores a 1 % (BRIX)

8.3 • Hidrograma Triangular Sintético

“U.S.A. Soil Conesevation Service” - Área > 10km²

$$Q_p = \frac{K \cdot A \cdot qm}{T_p}$$

Onde:

Q_p = Vazão de pico em m³/s;

K = Constante empírica de 0,20836;

A = Área de drenagem em km²;

T_p = Tempo de pico do hidrograma.

$$T_p = \frac{D}{2} + 0,6T_c, \text{ sendo:}$$

D = Duração do excesso de chuva de curta duração medido para as Bacias grandes e pequenas igual a aproximadamente

$$2\sqrt{T_c} \therefore T_p = \frac{2\sqrt{T_c}}{2} + 0,6T_c \therefore T_p = \sqrt{T_c} + 0,6T_c$$

T_c = tempo de concentração de Kirpich.

Logo a descarga de pico da Bacia será:

$$Q_p = \frac{0,20836 \times A \times qm}{0,6T_c + \sqrt{T_c}}$$

O valor de qm pode ser tirado da Equação do "Soil Conservation Service".

$$qm = \frac{(P - 5,08 \times S)^2}{P + 20,32 \times S}$$

Onde:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

P = Altura acumulada de precipitação, a contar do início da chuva, em mm, em função do tempo de concentração da bacia;

CN = Curva correspondente ao complexo solo/vegetação.

qm = Precipitação Efetiva (acumulada).

Precipitação efetiva é a parcela da chuva que gera o escoamento superficial. Ela é obtida com a retirada, na Precipitação Total, dos percentuais referentes as seguintes perdas de volume: retenção de parte do escoamento na vegetação, infiltração no solo e depressões na superfície do terreno.

Vantagens/cuidados com a utilização dos métodos de cálculos apresentados:

• Método Racional com tempo de concentração e coeficiente de deflúvio dos engenheiros Peltier-Bonnefant.

Vantagens: O numero de variáveis que é utilizada no cálculo do tempo de concentração (área da bacia, comprimento do talvegue, declividade, forma da bacia e a geomorfologia), reduz a margem de incertezas no seu cálculo.

Da mesma forma do exposto acima, o numero de variáveis que é utilizada para a definição do coeficiente de deflúvio (área da bacia, declividade do talvegue e a geomorfologia), reduz o seu empirismo.

É um método de fácil aplicação, direta e objetivo.

Cuidados: O quadro de coeficientes de deflúvio dos engenheiros Peltier-Bonnefant não é recomendado a sua utilização para o cálculo das vazões para bacias com área maiores que 400 ha.

• Método Racional com coeficiente de retardo, tempo de concentração de Kirpich e coeficiente de deflúvio de Burkli-Ziegler.

Vantagens: É um método simples e de fácil aplicação, largamente utilizado e de eficiência comprovada.

Cuidados: Para o cálculo das vazões para as bacias com área entre 8,0 Km² e 10,0 Km² deve-se ter uma atenção especial, pois em algumas situações apresentam resultados finais inadequados ou incompatíveis com a realidade.

• **Método Hidrograma Triangular Sintético, com tempo de concentração de Kirpich e tabela de CN - Jabôr.**

Vantagens: É um método simples e de fácil aplicação obtendo-se bons resultados para bacias com área entre 10,0 Km² e 400 Km². A utilização da Tabela de CN (Jabôr) é de aplicação direta, é definido em função da área da bacia, declividade do talvegue, da geomorfologia e da precipitação, sendo um ótimo ponto de partida para a definição do CN.

Cuidados: Pode-se ainda utilizar este método para bacias com área até 2.000 Km², porém dependerá muito da experiência do projetista. Para áreas maiores que 2.000 Km² deverão ser utilizados os métodos estatísticos.

Obs: *Os coeficientes de deflúvio ou run-off adotados para as bacias em um projeto, deverão ser aferidos no campo. Nunca e jamais, o projetista deverá adotar um coeficiente tirado das tabelas dos métodos, sem a verificação/aferição de campo.*

Exemplos de Cálculo de
Vazões das Bacias Hidrográficas

• **Cálculo das vazões**

1. Área $\leq 4,0 \text{ km}^2$

1.1. Método Racional c/ Coeficiente de Deflúvio e Tempo de Concentração de Peltier/Bonnenfant

Ex: Calcular a vazão de uma Bacia com os seguintes dados físicos e geomorfológicas:

- região montanhosa
- área da bacia = 18,0 Ha
- comp. talvegue = 0,49 Km ou 4,9 Hm
- declividade efetiva (i) = 0,07 m/m
- tempo de recorrência = 25 anos

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

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

$$A = \text{ha}$$

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

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

• **Cálculo do coeficiente de Forma:**

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

L = comprimento do talvegue em Hm

A = área da bacia em Ha

$$\alpha = \frac{4,9}{\sqrt{18}} \therefore \alpha = 1,2$$

• **Run-off**

O coeficiente de run-off é em função da área da bacia, da declividade do talvegue e do tipo de região.

Região montanhosa

$$A = 18,0 \text{ h}$$

$$i = 0,07 \text{ m/m} \text{ ou } i = 7,0\%$$

Entrando no Quadro de run-off da **pág.52** obtemos $C = 0,36$

• **Cálculo do Tempo de Concentração**

$$T = T_1 + T_2$$

$$T_2 = 1/\beta_2 \times T'_2$$

T_1 = é função da declividade do talvegue e do tipo da região

$i = 7,0\%$

região montanhosa

Portanto:

$$T_1 = 11,00 \text{ minutos } \text{pág. 44}$$

$$T_2 = 1/\beta_2 \times T'_2$$

$1/\beta_2$ = é função do tipo de região

Região montanhosa - $1/\beta_2 = 1,33$ **pág. 44**

T'_2 = é função da declividade do talvegue, do coeficiente de forma e da área da bacia.

$i = 7,0\%$

$\alpha = 1,2$

$A = 18,0$ ha

Entrando no quadro nº 4 da **pág. 46**, obtemos:

$$T'_2 = 9,2 \text{ minutos}$$

$$\text{Como } T_2 = 1/\beta_2 \times T'_2$$

$$T_2 = 1,33 \times 9,2 \therefore T_2 = 12,2 \text{ minutos}$$

$$T = T_1 + T_2 \text{ sendo :}$$

$$T_1 = 11,0 \text{ minutos e } T_2 = 12,2 \text{ minutos}$$

$$T = 23,2 \text{ minutos}$$

O tempo de concentração = 23,2 minutos

• Intensidade Pluviométrica

A intensidade pluviométrica (I) é função do Posto Pluviográfico adotado, do Tempo de Recorrência e do Tempo de Concentração.

Para um tempo de recorrência $T_r = 25$ anos e tempo de concentração $T_c = 24$ minutos e considerando-se o posto pluviográfico de Goiânia adotando o Método do Eng. Otto Pfafstetter, obteremos a intensidade pluviométrica $I = 123,0$ mm/h.

• Cálculo da Vazão

$$Q = 0,00278 C I A$$

$$C = 0,36$$

$$A = 18, \text{ha}$$

$$I = 123,0 \text{ mm/h}$$

$$Q = 0,00278 \times 0,36 \times 18 \times 123,0$$

$$Q = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.1• Método Racional c/ Coeficiente de Deflúvio dos Engenheiros Baptista Gariglio e José Paulo Ferrari e Tempo de Concentração de Kirpich

Ex: Calcular a vazão de uma Bacia com os seguintes dados físicos e geomorfológicas:

- região montanhosa
- área da bacia = 18,0 Ha
- comp. talvegue = 0,49 Km
- declividade efetiva (i) = 7,0%
- tempo de recorrência = 25 anos

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

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

$$A = \text{ha}$$

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

C = coeficiente de deflúvio dos engenheiros: Baptista Gariglio e José Paulo Ferrari

• Coeficiente de Deflúvio

É função do tipo da região estudada.

Região montanhosa, usar tabela **pág. 53** $C = 0,30$.

• Tempo de Concentração

O tempo de concentração de Kirpich é em função do comprimento e da declividade do talvegue.

$$T_c = \left(\frac{0,294L}{\sqrt{i}} \right)^{0,77} \quad \bullet \text{ pág. 51}$$

T_c = tempo de concentração em h

L = comprimento do talvegue

i = declividade efetiva do talvegue em %

$$T_c = \left(\frac{0,294 \times 0,49}{\sqrt{7,0}} \right)^{0,77} \therefore T_c = 0,106 \text{ horas ou } 6,3 \text{ minutos}$$

O tempo de concentração mínimo a ser adotado é de 15 minutos

• Intensidade Pluviométrica

A intensidade pluviométrica (I) é função do Posto Pluviográfico adotado, do Tempo de Recorrência e do Tempo de Concentração.

Para um tempo de recorrência $T_r = 25$ anos e tempo de concentração $T_c = 15$ minutos e considerando-se o posto pluviográfico de Goiânia adotando o Método do Eng. Otto Pfafstetter, obteremos a intensidade pluviométrica $I = 155,5$ mm/h.

• Cálculo da Vazão

$$Q = 0,00278 C I A$$

$C = 0,30$

$A = 18,0$ ha

$I = 155,5$ mm/h

$$Q = 0,00278 \times 0,30 \times 18,0 \times 155,5$$

$$Q = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

2 • Método Racional com Coeficiente de Retardo $4 \text{ km}^2 < \text{Área} \leq 10 \text{ km}^2$

Ex: Calcular a vazão de uma Bacia com os seguintes dados físicos e geomorfológicas:

- área = $8,5 \text{ km}^2$
- comp. talvegue $L = 6,2 \text{ km}$
- declividade efetiva = $0,017 \text{ m/m}$
- região montanhosa
- $T_r = 25$ anos
- posto pluviográfico de Goiânia

$$Q = 0,28 \times A \times C \times I \times \emptyset \quad \bullet \text{ pág. 57}$$

$$A = 8,5 \text{ km}^2$$

C = coeficiente de deflúvio de Burkli-Ziegler

I = intensidade pluviométrica em mm/h

\emptyset = coeficiente de retardo

• Coeficiente de Deflúvio Burkli - Ziegler

É função do tipo da região estudada.

Região montanhosa, usar tabela • pág. 53 $C = 0,35$.

• Coeficiente de Retardo

É calculado em função da área e da declividade do talvegue

$$\phi = \frac{1}{(100 A)^{1/n}}$$

$$A = 8,5 \text{ km}^2$$

Para $i = 0,017 \text{ m/m}$, o $n = 6$ - • pág. 58

$$\emptyset = \frac{1}{(100 \times 8,5)^{1/6}} \therefore \emptyset = 0,325$$

• **Tempo de Concentração**

O tempo de concentração para área > 4,0 km² é o de Kirpich, que é em função do comprimento da declividade do talvegue.

$$T_c = \left(\frac{0,294L}{\sqrt{i}} \right)^{0,77} \quad \bullet \text{ pág. 51}$$

T_c = tempo de concentração em h

L = comprimento do talvegue

i = declividade efetiva do talvegue em %

$$T_c = \left(\frac{0,294 \times 6,2}{\sqrt{1,7}} \right)^{0,77} \therefore T_c = 1,29 \text{ horas ou } 77,4 \text{ minutos}$$

• **Intensidade Pluviométrica**

A intensidade pluviométrica (I) é função do Posto Pluviográfico adotado, do Tempo de Recorrência e do Tempo de Concentração.

Para um tempo de recorrência $T_r = 25$ anos e tempo de concentração $T_c = 77,4$ minutos e considerando-se o posto pluviográfico de Goiânia adotando o Método do Eng. Otto Pfafstetter, obteremos a intensidade pluviométrica $I = 65,89$ mm/h.

• **Cálculo da Vazão**

$$Q = 0,28 \times A \times C \times I \times \emptyset$$

$A = 8,5$ km²

$C = 0,35$

$I = 65,89$ mm/h

$\emptyset = 0,325$

$$Q = 17,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

3 • Método do Hidrograma Triangular Sintético - Área > 10km²

Ex: Calcular a vazão de uma bacia com os seguintes dados físicos:

- área = 11,0 km²
- comp. talvegue L = 6,15 km
- declividade efetiva i = 0,017 m/m ou i = 1,7 %
- CN = 76
- Posto Pluviográfico de Goiânia

$$Q_p = \frac{K.A.qm}{T_p} \quad \bullet \text{ pág. 58}$$

Onde:

- Q_p = Vazão de pico em m³/s;
- K = Constante empírica de 0,20836;
- A = Área de drenagem em km²;
- T_p = Tempo de pico do hidrograma
- qm = Precipitação Efetiva (acumulada).

• Tempo de concentração Kirpich

$$T_c = \left(\frac{0,294L}{\sqrt{i}} \right)^{0,77} \quad \bullet \text{ pág. 51}$$

$$L = 6,15$$
$$i = 1,7\%$$

$$T_c = \left(\frac{0,294 \times 6,15}{\sqrt{1,7}} \right)^{0,77} \therefore T_c = 1,28 \text{ horas}$$

• P - altura acumulada da precipitação

Para um tempo de recorrência $T_r = 25$ anos e tempo de concentração $T_c = 1,28$ horas e considerando-se o posto pluviográfico de Goiânia adotando o Método do Eng. Otto Pfafstetter, obteremos a altura acumulada da precipitação $P = 85,66\text{mm}$

Para um tempo de recorrência $T_r = 50$ anos e tempo de concentração $T_c = 1,28$ horas e considerando-se o posto pluviográfico de Goiânia adotando o Método do Eng. Otto Pfafstetter, obteremos a altura acumulada da precipitação $P = 96,01\text{mm}$

• Tempo de pico do hidrograma

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0,6T_c$$

$$T_p = \sqrt{1,28} + 0,6 \times 1,28 \therefore T_p = 1,90$$

• Cálculo do S

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \bullet \text{ pag. 59}$$

$$CN = 76 \quad \bullet \text{ pag. 56} \quad \therefore S = \frac{1000}{76} - 10 \therefore S = 3,15$$

• Cálculo do qm

$$qm = \frac{(P - 5,08 \times S)^2}{(P + 20,32 S)} \quad \bullet \text{ pag. 59}$$

$$P_{25 \text{ anos}} = 85,66 \text{ mm}$$

$$P_{50 \text{ anos}} = 96,01 \text{ mm}$$

$$S = 3,15$$

$$qm_{25} = \frac{(85,66 - 5,08 \times 3,15)^2}{(85,66 + 20,32 \times 3,15)}$$

$$qm_{25} = 32,4$$

$$qm_{50} = \frac{(96,01 - 5,08 \times 3,15)^2}{(96,01 + 20,32 \times 3,15)}$$

$$qm_{50} = 40$$

• Cálculo da vazão

$$Q_{25} = \frac{KAqm_{25}}{T_p}$$

$$K = 0,20836$$

$$A = 11,00 \text{ km}^2$$

$$q_{m25} = 32,4$$

$$T_p = 1,90$$

$$Q_{25} = \frac{0,20836 \times 11,00 \times 32,4}{1,90}$$

$$Q_{25} = 39,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50} = \frac{KAqm_{50}}{T_p}$$

$$q_m = 40,00$$

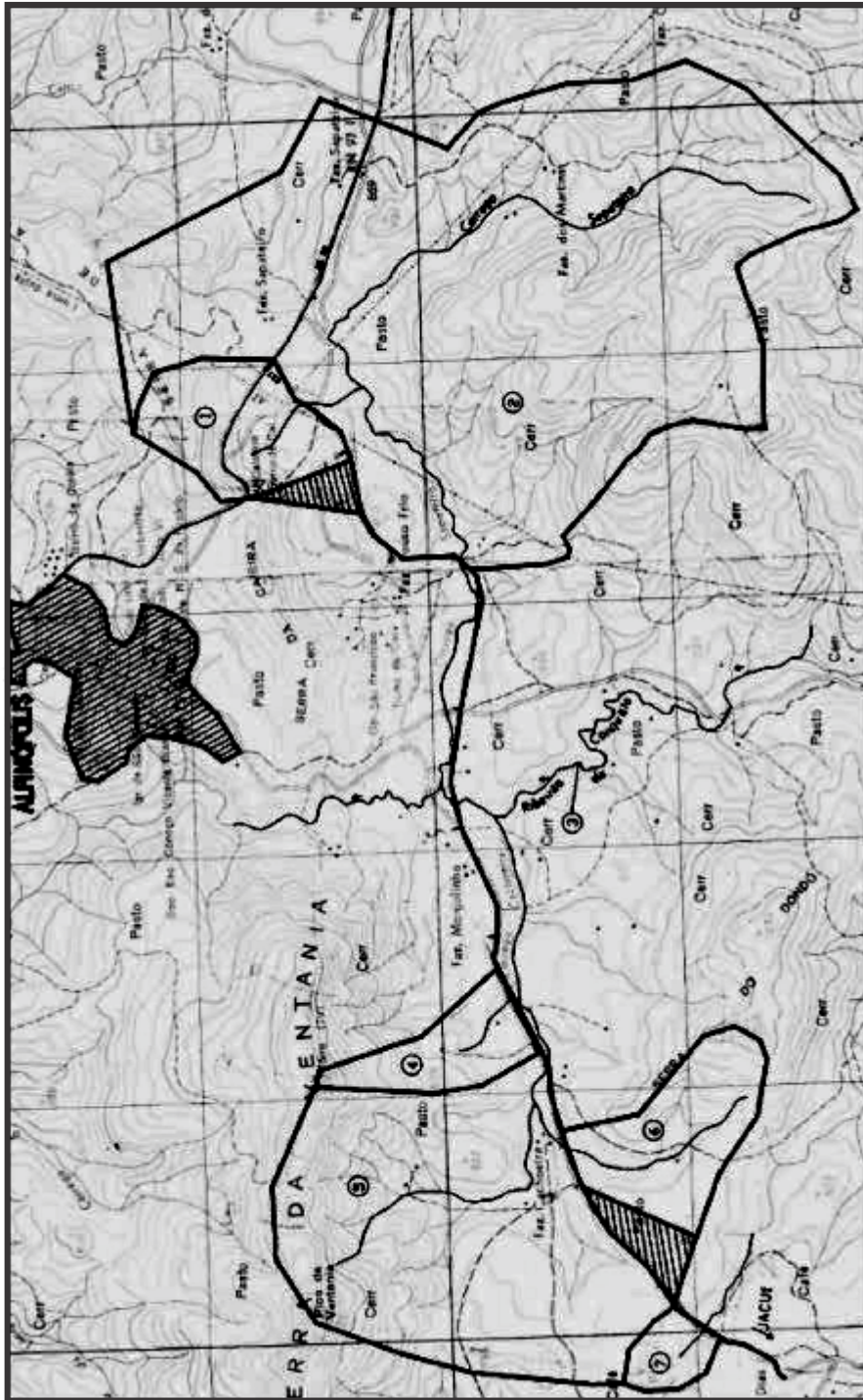
$$Q_{50} = \frac{0,20836 \times 11,00 \times 40}{1,90}$$

$$Q_{50} = 48,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Exemplo de Planilhas de Cálculo de Vazões

As planilhas a serem apresentadas como exemplo são do projeto de drenagem elaborado no ano de 2006 para a rodovia: BR 265, trecho: Alpinópolis - Jacuí, no estado de Minas Gerais, tendo sido utilizado os dados pluviométricos do posto pluviográfico de São Simão-SP, por ser este mais representativo para o trecho em questão.

Para melhor entendimento será apresentada a seguir, parte do Mapa de Bacias do trecho.



Mapa de Bacias
Escala: 1:50.000

1 • Método Racional - Área $\leq 4\text{Km}^2$

Tempo de Concentração e Coeficientes de Deflúvio
• Peltier/Bonnenfant

BACIA	Superfície		Alongamento		Declividade I	Run-off C	Tempo de concentração				Intensidade I	Descarga Q	Dimensões da Obra Existente		Dimensões da Obra Projetado	
	Area(A) √A	Ha	L	Hm			α=L/√A	t1	t'1	T ₂ =T ₂ .β			Tc=T ₁ +T ₂	mm/h	m ³ /seg.	tubo ou caixa
Nº	ESTACA															
1	27	103	10,1	6,5	0,6	0,30	16	38,5	51,975	68	59,5	5,1		BDTC Ø 1,00	2,0	
4	327	71	8,4	7,5	0,9	0,36	11	21,0	28,35	39	81,8	5,9		BTTC Ø 1,00	1,5	
6	390	163	12,8	17,0	1,3	0,30	16	46,0	62,1	78	54,3	7,4		BTTC Ø 1,00	2,0	
7	494	24	4,9	2,5	0,5	0,36	9,5	6,0	8,1	18	118,7	2,9		BSTC Ø 1,20	1,4	
8	626	11	3,3	2,0	0,6	0,36	9	4,0	5,4	14	133,3	1,5		BSTC Ø 1,00	1,2	
12	1583	47	6,9	4,0	0,6	0,36	11,5	9,5	12,825	24	104,0	4,9		BDTC Ø 1,00	1,8	
13	1646	187	13,7	24,3	1,8	0,30	16	98,0	132,3	148	34,8	5,5		BTTC Ø 1,00	1,4	
14	1706	13,5	3,67	4,0	1,1	0,36	12,5	6	8,1	21	108,0	1,5		BSTC Ø 1,00	1,2	
15	1719	92,5	9,62	15,0	1,6	0,30	16	58	78,3	94	47,8	3,7		BDTC Ø 1,00	1,5	
16	1760	22	4,69	6,5	1,4	0,36	12,5	11,4	15,39	28	95,7	2,1		BSTC Ø 1,00	1,6	
17	1778	53	7,28	9,0	1,2	0,36	11,5	18,0	24,3	35	88,0	4,7		BDTC Ø 1,00	1,8	
18	1782	12	3,46	6,0	1,7	0,36	8,5	6,5	8,775	11	120,0	1,5		BSTC Ø 1,00	1,2	
19	1795	27,5	5,24	9,0	1,7	0,30	16	21,0	28,35	44	76,8	1,8		BSTC Ø 1,00	1,4	
20	1851	50	7,07	7,0	1,0	0,30	16	17,0	22,95	39	81,8	3,4		BSCC Ø 1,50 x 1,50	0,8	
21	1917	260	16,12	36,0	2,2	0,30	16	143,0	193,05	209	27,9	6,0		BSCC Ø 2,00 x 2,00	0,75	

Posto: São Simão - SP

Tempo de Concentração e Coeficiente de Deflúvio - Peltier/Bonnetant

$Q=2.8 \times 10^{-3} \times A \times C \times I$

Rodovia: BR 265/MG

Trecho: Alpinópolis - Jacuí

MÉTODO RACIONAL $A < 4,0 \text{ Km}^2$

2 • Método Racional com Coeficiente
de Retardo $4\text{Km}^2 < A \leq 10\text{Km}^2$

Tempo de Concentração de Kirpich e
Coeficiente de Deflúvio • Burkli/Ziegler

3 • Hidrograma Triangular Unitário $A > 10\text{Km}^2$

Tempo de Concentração de Kirpich e
tabela de CN • Jabôr

IDENTIFICAÇÃO DA BACIA	TR	K	GEOMETRIA			HIDROLOGIA		HIDROGRAMA TRIANG. SINTÉTICO			DESCARGA Q	
			ÁREA A	ALONG L	DECLIVIDADE	DIF. NÍVEL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	PRECIPITAÇÃO P	TEMPO DE PONTA	CN		DEFLÚVIO qm
TRAVESSIA	Nº	ANOS	Km ²	Km	m/m	m	tc - Horas	mm	tp - Horas		m ³ /seg.	
Cor. Sapateiro	2	100	19,5	8,1	0,023		1,44	89,48	2,1	74	31,93	62
Est. 127							BCCC 3,50 x 3,00					
Rib. Conquista	3	100	218	31	0,006		6,69	146,86	6,6	62	49,41	340
Est. 242							PONTE					
Rio São João	9	100	251	33	0,002		10,76	164,47	9,7	62	61,59	332
Est. 1376							PONTE					
Rio São João	23	100	236	40,7	0,003		10,77	164,5	9,7	62	61,61	312
Est. 2061							PONTE					
Rib. Mamote	24	100	106	28,5	0,004		7,33	150,1	7,1	64	55,90	174
Est. 2185							PONTE					
Cór. Lenhoso	26	100	36	8,0	0,013		1,69	98,22	2,31	70	31,5	102
Est. 2787							PONTE					

$$Tp = \sqrt{Tc + 0.6 Tc}$$

$$Tc = 3.98 (L/Vi)^{0.77}$$

$$S = \frac{1000 - 10}{CN}$$

$$TC = \text{MINUTOS}$$

$$L = \text{Km}$$

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

$$qm = \frac{(P - 5.08 \times S)^2}{P + 20.32 \times S} \times \frac{A}{Tp}$$

$$Q = 0.20836 \times A \times qm$$

A > 10Km² RODOVIA: BR 265/IMG
 POSTO: SÃO SIMÃO - SP TRECHO: ALPINÓPOLIS - JACUI

II - Projeto de Drenagem

Dimensionamento dos Dispositivos
de Drenagem e Notas de Serviços

1• Introdução

O projeto de drenagem é desenvolvido com os dados obtidos dos Estudos Hidrológicos, compreendendo o dimensionamento, a verificação hidráulica, a funcionalidade e o posicionamento das obras e dispositivos.

Nesta fase é onde os dispositivos de drenagem são Dimensionados, Projetados e Detalhados.

Pode-se definir DRENAGEM como a ciência que tem por objetivos, através de um Sistema de Drenagem completo e eficaz, remover e ou impedir tecnicamente o excesso das águas superficiais e profundas, a fim de proteger e melhorar tudo sobre que possam elas 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, com o mais baixo custo de implantação e manutenção.

Os dispositivos de drenagem têm como objetivos de um modo geral, captar e conduzir para local adequado toda a água que sob qualquer forma venha a atingir o corpo estradal.

Segue abaixo a relação dos dispositivos que fazem parte de um **Sistema de Drenagem** em uma rodovia:

- Obras de arte correntes;
- Obras de arte especiais;
- Valetas de proteção de corte e aterro;
- Mureta de proteção de corte em rocha;
- Sarjetas de corte e aterro;
- Saídas d'água de corte;
- Entradas d'água em aterro/saídas d'água em aterro;
- Descidas d'água de corte e aterro;
- Soleiras de dispersão/dissipadores de energia;
- Caixas coletoras;
- Sarjetas de banquetas de corte e aterro;
- Dreno profundo longitudinal;
- Dreno transversal;
- Dreno espinha de peixe;
- Colchão drenante;
- Dreno de talvegue;
- Dreno de pavimento;
- Dreno sub-horizontal.

Para a implantação correta de um Dispositivo de Drenagem, é fundamental entender a função a que se destina. Entender a função também muito importante na sua implantação, evitando com isto: dispositivos mal posicionados, incompletos, inadequados, etc....

*"Para que se possa obter um Projeto de Drenagem de boa qualidade, o **Projetista** ao conceber o sistema de drenagem, precisa pensar também na sua execução e nos serviços de manutenção ao longo da **vida útil**." (Marcos A. Jabôr)*

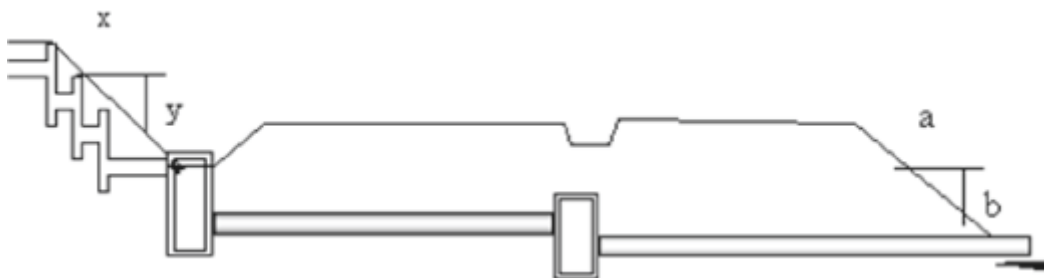
*"**Vida útil** de uma rodovia: é o tempo estimado para a manutenção das principais características técnicas consideradas na elaboração do Projeto"(Marcos A. Jabôr)*

A partir do momento que a rodovia atinge o limite de sua vida útil, será necessário a execução de serviços de restauração e/ou reconstrução. Os serviços de manutenção não irão mais garantir as principais características estabelecidas no projeto executivo de engenharia que balizou a implantação da rodovia.

2 Obras de Arte Corrente - Bueiros de Greide e Bueiros de Grotá

2.1 Bueiros de Greide

São dispositivos que tem como função, captar as águas coletadas por dispositivos de drenagem superficial como sarjetas, valetas, descida d'água e outros, de forma a permitir a sua transposição de um lado para outro da rodovia.



Posicionamento dos bueiros de greide:

- Nas extremidades dos comprimentos críticos das sarjetas de corte em seção mista ou quando, em seção de corte pleno, for possível o lançamento de água coletada (com desague seguro) por "janela-de-corte".
- Nos cortes em seção plena, quando não for possível o aumento da capacidade da sarjeta ou a utilização de abertura de janela no corte a jusante, projeta-se um bueiro de greide longitudinalmente à pista até o ponto de passagem de corte para aterro.
- Nos pés das descidas d'água dos cortes (pontos baixos de valeta de proteção de corte), recebendo as águas das valetas de proteção de corte e/ou valetas de banquetas, captadas por caixas coletoras.
- Nos pontos de passagem de corte-aterro, evitando que as águas provenientes das sarjetas de corte deságüem no terreno natural com possibilidade de erosão.
- Nas rodovias de pista dupla, conduzindo ao desague as águas coletadas pelas caixas coletoras do canteiro central.

Os bueiros de greide são implantados transversal ou longitudinalmente ao eixo da rodovia. As alturas mínimas de aterro/de recobrimento deverão ser de acordo com o tipo de material:

- Tubos de concreto – devem ser de acordo com a classe do tubo segundo a ABNT- NBR- 8890;
- Tubos PEAD, Rib Loc e tubos Metálicos, devem ser de acordo com as recomendações dos fabricantes.

2.1 Bueiros de Grotta

São dispositivos/bueiros que são assentados nos locais onde o traçado da rodovia intercepta o fluxo d'água, preferencialmente no fundo do talvegue e tem como função permitir a transposição do fluxo d'água de um lado para outro da rodovia/ferrovia.

Talvegue - É o caminho mais ou menos sinuoso, no fundo do vale, por onde as águas da chuva e ou nascentes passa; canal mais profundo do leito de um curso de água.

Os bueiros podem ser classificados:

- Quanto aos materiais de construção:

- alvenaria de pedra
- concreto simples
- concreto armado
- chapas metálicas
- PVC
- PEAD

- Quanto a forma da seção transversal:

- circulares
- elípticos
- quadrados
- retangulares
- ovóide

- Quanto a rigidez, segundo o grau de deformação:

- Rígidos - concreto
- Flexíveis – metálico, PVC e PEAD

O projeto de drenagem de grotta tem como objetivo o dimensionamento de bueiros de forma a garantir a transposição das águas de forma segura, de um lado para outro da rodovia.

Dentro de uma visão mais ampla, pode-se dizer que o projeto de drenagem de grotta compreende o dimensionamento de novos bueiros e a avaliação das obras existentes na rodovia, quanto a seu funcionamento, estado de conservação, suficiência de vazão e o seu posicionamento.

O dimensionamento hidráulico das obras de arte correntes é feito com base nas vazões calculadas para as bacias hidrográficas interceptadas pelo traçado da rodovia, fornecidos pelos Estudos Hidrológicos e informações de campo.

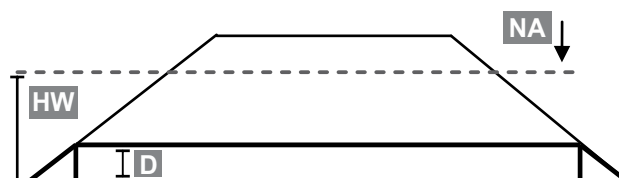
Uma vez calculada a vazão máxima provável nas bacias hidrográficas, inicia-se o dimensionamento dos bueiros, podendo ser: tubulares de concreto, tubulares metálicos, tubulares em PEAD, tubulares em PVC helicoidal (rib loc) ou celulares de concreto (galerias).

Os bueiros celulares de concreto, poderão ser moldados "in loco" ou em peças pré-moldadas/aduelas.

No DER-MG, para rodovias normais (rodovias com maior volume de tráfego), as Obras de Arte Correntes, bueiros tubulares, são dimensionados considerando o tempo de recorrência de 25 anos funcionando como orifício admitindo-se uma carga hidráulica a montante. Os bueiros celulares são dimensionados considerando o tempo de recorrência de 25 anos funcionando como canal e verificando sua vazão considerando o tempo de recorrência de 50 anos, neste caso funcionando como orifício. Para rodovias com baixo volume de tráfego os tempos de recorrência são aqueles citados na página 38 (item 3.2.1).

Os bueiros implantados nas rodovias, em quase sua totalidade, são considerados condutos curtos. O seu dimensionamento hidráulico se faz através dos nomogramas com controle de entrada (páginas 96, 97 e 98), considerando a teoria dos orifícios.

Para o dimensionamento de bueiros tubulares de concreto e bueiros metálicos corrugados (ARMCO) com diâmetro até 1,20m a serem implantados (novos), admite-se, no máximo, a relação $HW/D=2$ (vazão calculada para $Tr = 25$ anos, sendo o **HW** a altura da lâmina d'água na boca montante do bueiro e **D** o seu diâmetro.



Para os bueiros celulares e bueiros metálicos com diâmetro $> 1,20m$, novos, admite-se, no máximo, a relação $HW/D= 1,2$ (vazão calculada para $Tr= 50$ anos), onde o **HW** é a altura da lâmina d'água na boca montante e **D** a altura da galeria/diâmetro do bueiro.

No dimensionamento dos bueiros com controle de entrada, admite-se a ascensão do NA acima da boca montante do bueiro desde que a altura de aterro permita esteja garantida uma boa proteção no talude de aterro e não haja benfeitorias a montante que possa ser prejudicada pelo nível d'água admitido.

Para o estudo de aproveitamento de bueiros existentes pode-se admitir, **$HW/D > 2$ para bueiros tubulares e $HW/H > 1,2$ para os bueiros celulares/galerias**, desde que a altura da lamina d'água admissível esteja numa cota máxima de 0,50m abaixo da cota do subleito. Esta consideração tem o objetivo de garantir a integridade do pavimento e é válido somente para Bacias com área menor que 10,0 km² e que tenham tempo de concentração baixo. Para que esta consideração seja válida, deverá ser verificado que a altura máxima admissível do NA não esteja causando prejuízos aos proprietários situados à montante do bueiro, e também não esteja provocando erosão a jusante.

Os bueiros trabalhando como orifício, dimensionados com controle de entrada, a sua capacidade de escoamento é influenciada apenas pela dimensão do bueiro, pela altura da lâmina d'água a montante e pelo tipo de boca. Neste caso a rugosidade, a declividade de assentamento e seu comprimento não influenciam na vazão.

Os bueiros que, ao acontecer a cheia de projeto na bacia e ele se encontrar afogado pela cheia de um curso d'água a jusante, ou que tiverem comprimento maior que 60,0m deverão ser dimensionados através dos nomogramas de controle de saída. Para estes bueiros a rugosidade, a declividade de assentamento e seu comprimento influenciam na sua vazão.

Nesta apostila iremos tratar do dimensionamento somente dos bueiros com controle de entrada.

Os bueiros tubulares de concreto serão representados nas listagens de drenagem (notas de serviço) conforme descrito abaixo:

- **BSTC** Bueiro simples tubular de concreto;
- **BDTC** Bueiro duplo tubular de concreto;
- **BTTC** Bueiro triplo tubular de concreto.

Os bueiros tubulares metálicos corrugados (ARMCO) serão representados nas listagens de drenagem (notas de serviço) conforme descrito abaixo:

- **BSTM** Bueiro simples tubular metálico;
- **BDTM** Bueiro duplo tubular metálico;
- **BTTM** Bueiro triplo tubular metálico.

Os bueiros tubulares em PVC helicoidal (rib loc) serão representados nas listagens de drenagem (notas de serviço) conforme descrito abaixo:

- **BST.PVCH** - Bueiro simples tubular PVC helicoidal;
- **BDT.PVCH** - Bueiro duplo tubular PVC helicoidal;
- **BTT.PVCH** - Bueiro triplo tubular PVC helicoidal.

Os bueiros tubulares corrugados em Polietileno de Alta Densidade – PEAD serão representados nas listagens de drenagem (notas de serviço) conforme descrito abaixo:

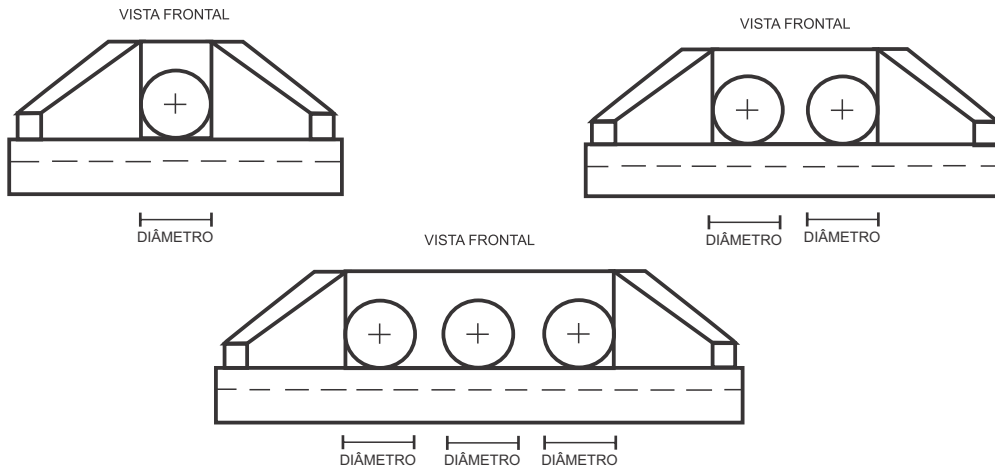
- **BST. PEAD** - Bueiro simples tubular de polietileno de alta densidade;
- **BDT. PEAD** - Bueiro duplo tubular de polietileno de alta densidade;
- **BTT. PEAD** - Bueiro triplo tubular de polietileno de alta densidade.

Os bueiros celulares (galerias) serão representados nas listagens de drenagem (notas de serviço) conforme descrito abaixo:

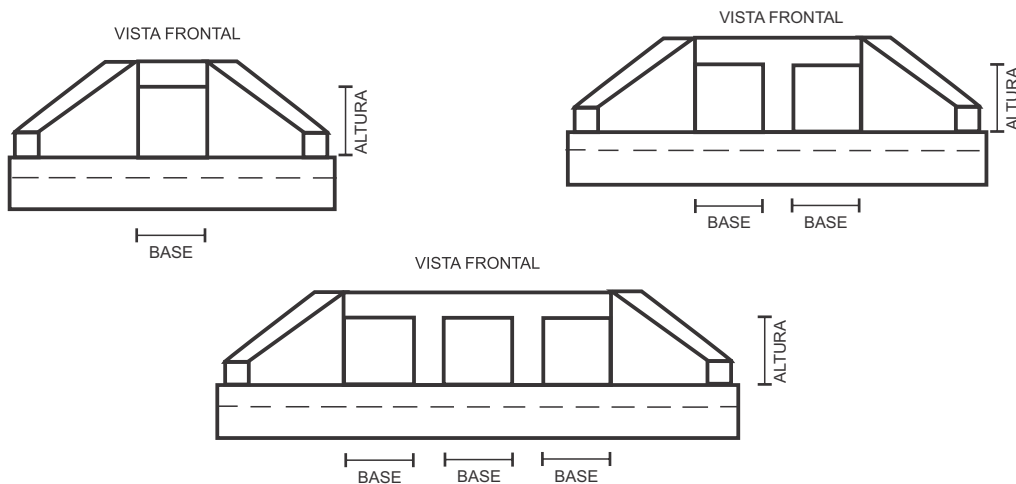
- **BSCC** - Bueiro simples celular de concreto;
- **BDCC** - Bueiro duplo celular de concreto;
- **BTCC** - Bueiro triplo celular de concreto.

Será apresentado a seguir as bocas de bueiros tubulares e celulares:

Bocas de Bueiros Tubulares Simples, Dupla e Tripla



Bocas de Bueiros Celulares Simples, Dupla e Tripla



As listagens dos bueiros no projeto de drenagem são as notas de serviço que irão fornecer os dados/elementos **necessários** para a sua implantação.

Recomenda-se na implantação de bueiros tubulares, sempre que possível, que a sua declividade de assentamento seja maior que 1,5% e menor que 2,0%.

Recomenda-se na implantação de bueiros celulares, sempre que possível, que a sua declividade de assentamento seja maior que 0,5% e menor que 1,0%.

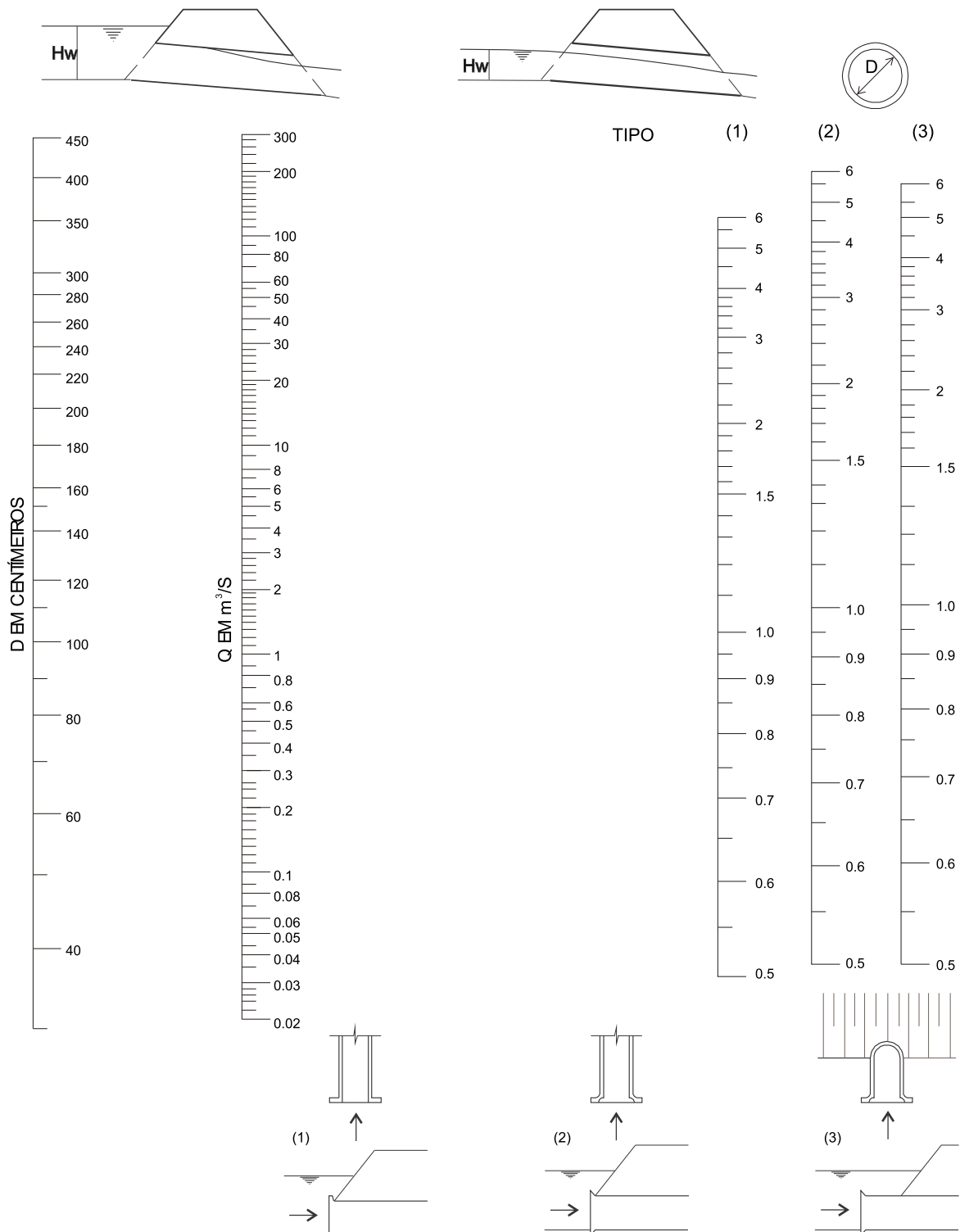
As recomendações acima indicam de uma forma geral que declividades abaixo das recomendadas terão uma maior propensão ao processo de assoreamento nos bueiros e as declividades acima das recomendadas poderão apresentar um processo de erosão mais rápido e maior a jusante dos bueiros. O não atendimento às recomendações irá provocar o aumento dos serviços de manutenção da via.

Para o dimensionamento dos bueiros funcionando como orifício deverá ser utilizado nomogramas elaborados pelo **“U.S. Bureau of Public Roads”**.

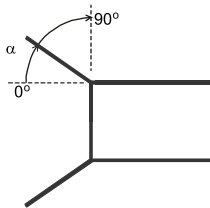
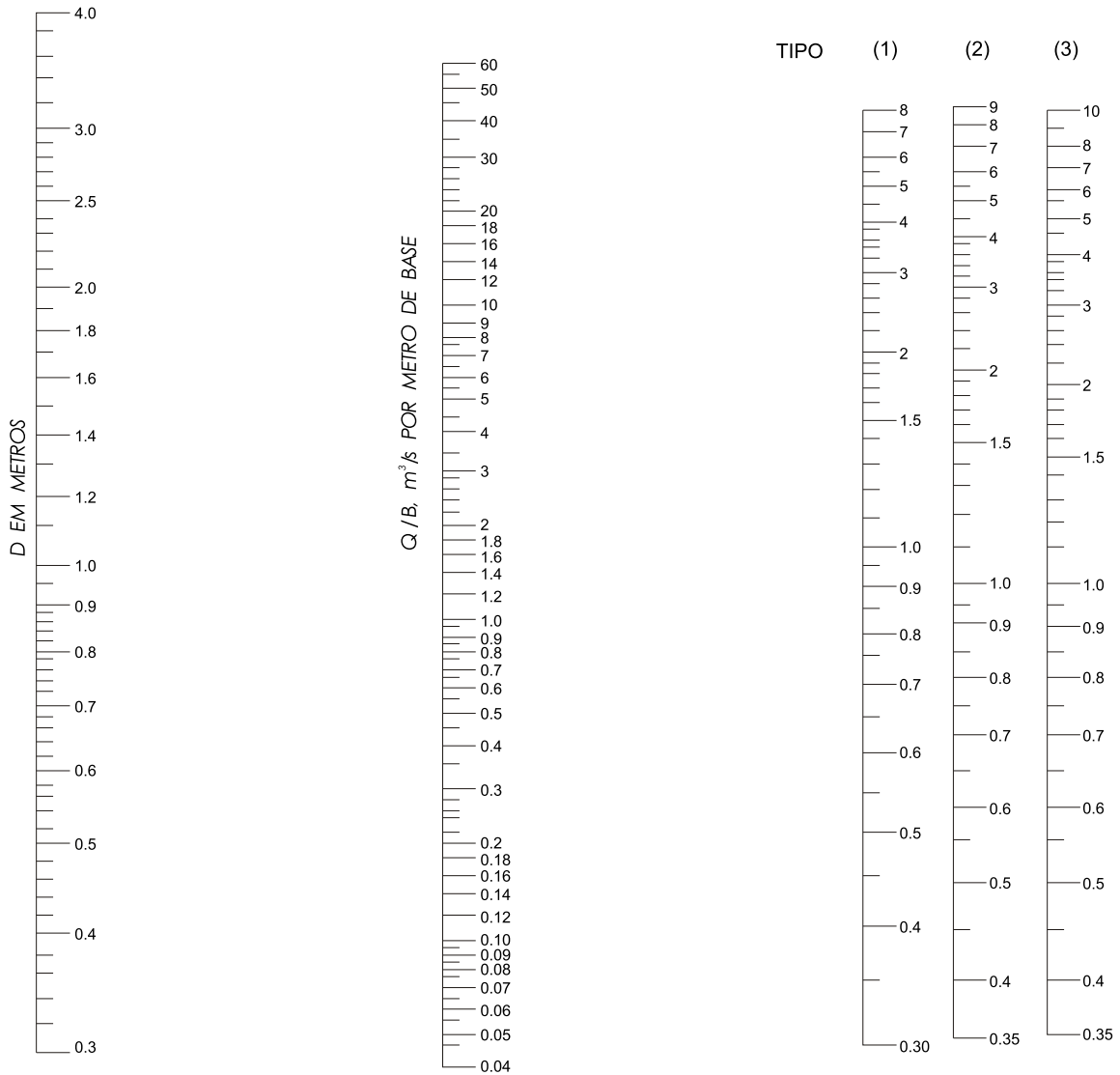
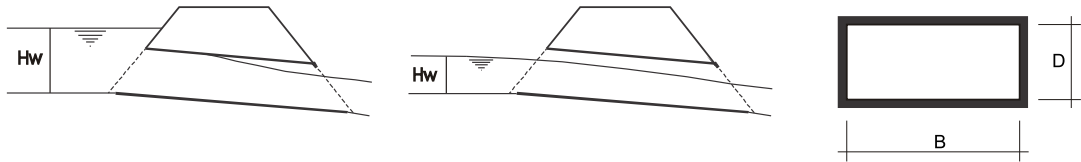
A seguir serão apresentados os Nomogramas para dimensionamento de bueiros tubulares e celulares, com controle de entrada.

Para o dimensionamento dos bueiros funcionando como orifício, deverão ser utilizados nomogramas elaborados pelo "U.S. Bureau of Public Roads", apresentados a seguir:

Carga Hidráulica Permissível a Montante (Tubos de Concreto - Controle de Entrada)



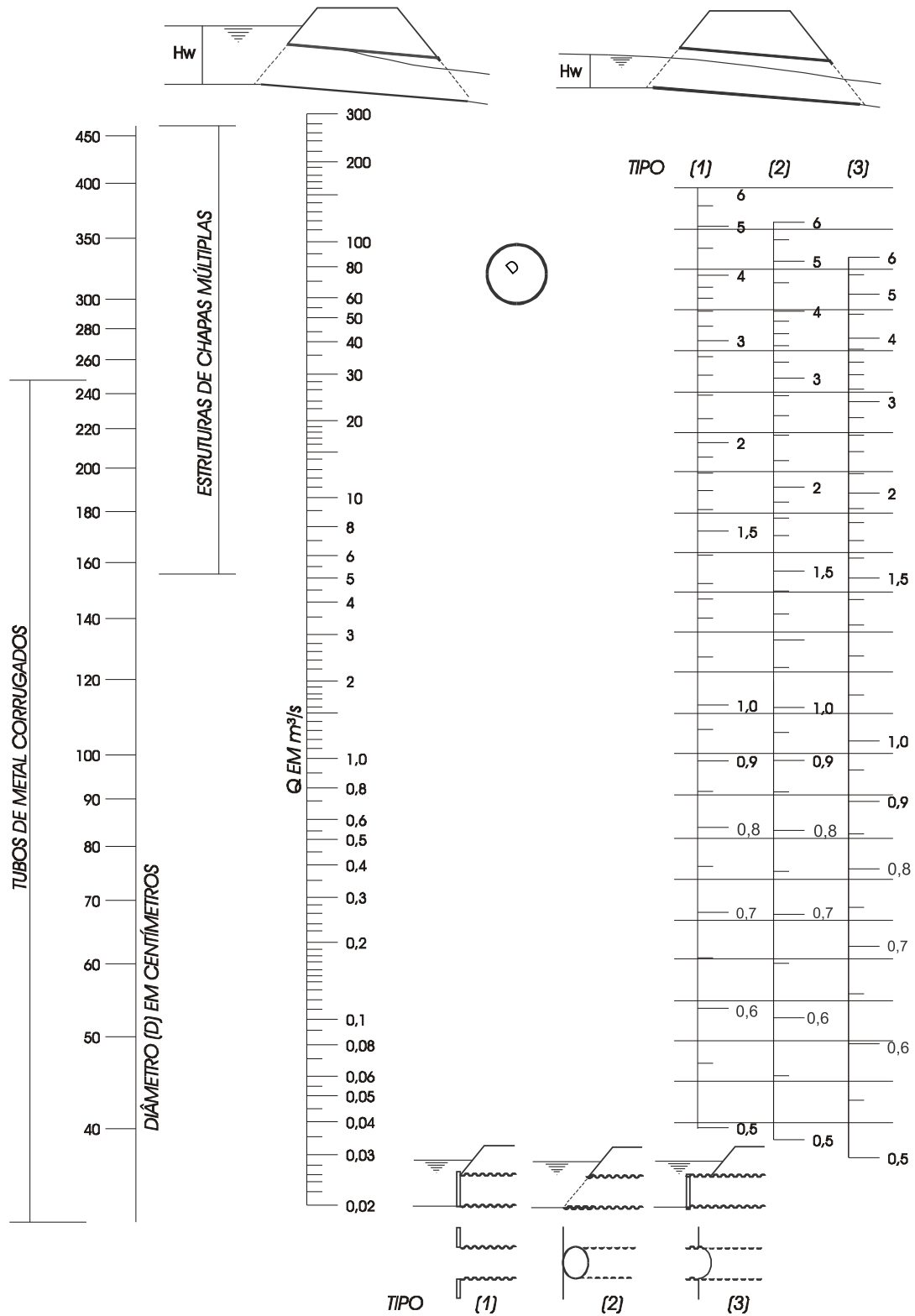
Carga Hidráulica Permissível a Montante (Bueiros Celulares de Concreto - Controle de Entrada)



TIPO	α
(1)	30° a 75°
(2)	90° e 15°
(3)	0°

Carga Hidráulica Permissível a Montante

(Bueiros Corrugados Metálicos - Controle de Entrada)



Após os estudos elaborados no escritório deverá ser feita uma visita ao trecho para o aperfeiçoamento do projeto, pois as particularidades das bacias que influenciam no seu escoamento final, somente podem ser identificadas "in loco" no campo.

Esta etapa é muito importante para que se obtenha um projeto boa qualidade, com alto grau de confiabilidade.

O projetista deverá planejar a visita a campo de forma que o tempo a ser gasto, seja suficiente para que faça as seguintes observações dos bueiros existentes:

- o comportamento e o funcionamento da obra;
- suficiência/insuficiência para a vazão de projeto;
- fatores que possam influenciar no aumento ou redução da vazão estimada no projeto;
- estado de conservação e condições estruturais;
- carga hidráulica a montante que está trabalhando e a que poderá se admitida.
- altura/cota de máxima cheia.

Caso a rodovia seja implantada em uma linha onde não haja bueiros existentes, poderão ser observadas obras próximas ao local, para servir como referência no dimensionamento.

Informações de problemas ocorridos e as cotas de máximas cheias nos córregos e rios, coletadas junto aos moradores mais próximos, principais usuários da via (caminhão de leite, linhas de ônibus, etc.) e com os técnicos do órgão administrador da via (Prefeitura, DER e outros), são elementos fundamentais em um projeto de drenagem, que tem como objetivo principal fazer o ajuste da Teoria (projeto elaborado no escritório) com a Prática (confirmação do que, e como realmente ocorrem as vazões máximas no campo).

• **Exemplo de Dimensionamento de Bueiros** - Um projeto de drenagem nunca poderá ser desenvolvido sem as viagens a campo. É praticamente impossível elaborar um projeto de drenagem com qualidade e confiabilidade sem que o projetista tenha ido a campo.

- Bueiro Tubular de Concreto - Controle de Entrada

*O exemplo do dimensionamento é para a vazão calculada, considerando uma rodovia com baixo volume de tráfego, pelo Método Racional - $A \leq 4,0\text{km}^2$ com tempo de concentração e coeficiente de deflúvio de Peltier-Bonnenfant da **pág. 52**, sendo:*

Área da Bacia: $A = 18,0 \text{ Ha}$

Vazão Calculada para $TR = 15$ anos: $Q = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$

A seguir será apresentado as seguintes considerações para o dimensionamento:

- Aterro com altura total de 3,5 m;
- $H_w/D = 2,0$ (máximo permitido por norma para obras novas);
- Será dimensionado com controle de entrada;
- Tubos de concreto com encaixe tipo macho e fêmea.

Para tubos de concreto utiliza-se o nomograma da página • 97.

Utilizaremos a coluna de carga hidráulica tipo (1), pois os tubos a serem utilizados são do tipo macho e fêmea. Quando o tubo for do tipo ponta e bolsa a coluna a ser utilizada será a do tipo (2).

A seguir será descrito como dimensionar um bueiro tubular de grotá:

- No nomograma da • **pág. 97** pegar o ponto 2 ($H_w/D=2$) na coluna 1 da carga hidráulica, ligar na coluna onde está a vazão em m^3/s , que para o exemplo é 2,3, **estende-se esta reta** até a coluna onde está o diâmetro em centímetros, obtendo a dimensão de 100cm.

Portanto o diâmetro necessário para escoar uma vazão calculada de $2,3m^3/s$ admitindo-se a relação $H_w/D=2$ é de 100,00 cm, ou seja, o bueiro dimensionado será um BSTC Ø 1,00 - bueiro simples tubular de concreto de diâmetro igual a 1,0m.

- Bueiro Celular de Concreto (Galeria)

O exemplo de dimensionamento é para a vazão calculada, considerando uma rodovia com baixo volume de tráfego, para o Método Racional com Coeficiente de Retardo $4,0km^2 < A < 10,0km^2$ da pág. 57, sendo:

Área da Bacia: $A = 8,5km^2$

Vazão Calculada para $TR=25$ anos: $Q = 17,9 m^3/s$

O bueiro será dimensionado como canal, pois o $Tr = 25$ anos

Para o dimensionamento serão feitas as seguintes considerações:

- O aterro possuiu uma altura total de 4,0 m;
- $H_w/D = 1,0$ – máximo permitido por norma para $4,0km^2 < A < 10,0km^2$ e $TR = 25$ anos;
- Será dimensionado com controle de entrada;

Para o dimensionamento de bueiro celular utiliza-se o nomograma da página 98. Utilizaremos a coluna de carga hidráulica tipo (1), pois as alas das galerias que usamos em nossos projetos têm o ângulo de abertura situado no intervalo entre 30° e 75° .

A seguir as etapas que deverão ser seguidas no dimensionamento:

- Estimar uma largura para a galeria. Neste exemplo será de 2,50m
- Dividir a vazão calculada para a bacia ($Q = 17,9 m^3/s$) pela largura estimada para a galeria ($B = 2,5m$): $Q/B = 17,9/2,5$, portanto a relação $Q/B = 7,16$.

- No nomograma da pág. 98, pegar o ponto 1,0 ($HW/D=1,0$) da coluna 1 da carga hidráulica e ligar no número 7,16 na coluna da relação vazão/largura da galeria estendendo a linha até a coluna a esquerda onde tem a altura D , obtendo então o valor de 2,40m.

Portanto o dimensionamento da galeria para escoar uma vazão calculada de $17,9 \text{ m}^3/\text{s}$, o bueiro trabalhando como canal, relação $HW/D= 1,0$ é um BSCC 2,50 x 2,40 (bueiro celular de concreto com 2,50m de largura com uma altura de 2,40m).

- Bueiro Tubular Metálico (ARMCO)

Para o dimensionamento dos bueiros metálicos adota-se a mesma sistemática adotada para os bueiros tubulares de concreto.

Será utilizado o mesmo exemplo usado para o bueiro tubular de concreto, conforme descrito abaixo:

O exemplo do dimensionamento é para a vazão calculada, considerando uma rodovia com baixo volume de tráfego, pelo Método Racional - $A \leq 4,0 \text{ km}^2$ com tempo de concentração e coeficiente de deflúvio de Peltier-Bonnenfant da pág. 52, sendo:

Área da Bacia: $A= 18,0 \text{ Ha}$

Vazão Calculada para $TR=15$ anos: $Q= 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Segue abaixo as seguintes considerações para o dimensionamento:

- Aterro com altura total de 3,5 m;
- $HW/D= 2,0$ - máximo permitido por norma;
- Será dimensionado com controle de entrada;
- Bueiro tubular metálico (ARMCO)

Para bueiros metálicos utiliza-se o nomograma da página •99.

Utilizaremos a coluna de carga hidráulica tipo (1).

Os tipos de entrada do tipo (2) e tipo (3), não são muito comuns a sua utilização no Brasil.

A seguir será descrito como dimensionar um bueiro tubular metálico:

- No nomograma da pág. 99 pegar o ponto 2 ($HW/D=2$ que é o máximo permitido) na coluna 1 da carga hidráulica, ligar na coluna onde está a vazão em m^3/s , que para o exemplo é 2,3, estende-se esta reta até a coluna onde está o diâmetro em centímetros, obtendo a dimensão de 100cm.

Portanto o diâmetro necessário para escoar uma vazão calculada de $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ admitindo-se a relação $Hw/D=2$ é de 100 cm, ou seja, o bueiro dimensionado será um BSTM Ø 1,00 - bueiro simples tubular metálico de diâmetro igual a 1,0m.

- Bueiro Tubular PEAD

Para o dimensionamento dos bueiros com tubo PEAD adota-se a mesma sistemática adotada para os bueiros tubulares de concreto. Será adotado o mesmo nomograma utilizado para os tubos de concreto (página 96), porém deverá ser utilizada a linha 1 da relação Hw/D.

Considerações/Recomendações para elaboração de um Projeto de Drenagem de Obras de Arte Correntes

- O diâmetro mínimo a ser adotado para bueiro de grotta e greide, deverá ser aquele que atenda a vazão calculada, evite entupimentos (função do local a ser implantado) e facilite os trabalhos de limpeza.

O DER-MG recomenda na implantação de obras novas que o diâmetro mínimo para bueiro de greide seja 0,60m e para bueiros de grotta o diâmetro mínimo 0,80m. Para o estudo de aproveitamento de obras existentes não há restrições para o diâmetro mínimo, porém deverá ser justificado pelo projetista. Para o aproveitamento dos bueiros existentes deverão ser considerados os seguintes aspectos: que tenha boas condições estruturais, que haja boas condições de limpeza e que não possua erosão a jusante. Caso exista erosão a jusante, esta deverá ser avaliada, quanto à viabilidade de sua recuperação.

O DNIT recomenda que o diâmetro mínimo para bueiro de greide seja 0,80m e para bueiro de grotta o diâmetro mínimo 1,00m.

- O diâmetro máximo, para tubos de concreto, recomendado e adotado nos projetos rodoviários é de 1,20m.

A utilização de tubos de concreto com diâmetro superior a 1,20m somente é recomendada nas redes de drenagem pluvial urbana nas grandes cidades, pois é onde as fábricas que produzem tubos de grande diâmetro estão instaladas.

No caso da utilização nas obras rodoviárias, na sua maioria está muito distante dos grandes centros, como conseqüência o transporte irá aumentar muito o custo da obra, e ainda tem a dificuldade da construção devido ao seu peso. Ex: Um tubo de concreto do tipo macho e fêmea de diâmetro 1,50m e comprimento de 1,00m chega a pesar 2.780kg, sendo que um tubo de concreto de diâmetro 1,20m e comprimento de 1,00m pesa 1.195k, ou seja, pesa 57% a menos.

Na área urbana não se recomenda a utilização de linha dupla ou tripla da rede pluvial, principalmente porque com a divisão das vazões a velocidade do escoamento será reduzida e com isto aumentará a probabilidade de assoreamento e entupimento dos bueiros, o que implicará na necessidade de um número maior de intervenções de serviços de conservação e manutenção da rede pluvial. Portanto em rede pluvial urbana é comum a utilização de bueiros tubulares de grande diâmetro. Na área rural, desde que haja espaço para a implantação, não tem nenhum inconveniente para se projetar bueiros duplos, triplos ou até mesmo, quando necessário e adequado, uma bateria de bueiros.

A implantação de bueiros com tubos de concreto com diâmetro igual ou superior a 1,50m exigirá a utilização de equipamentos pesados (Pá Carregadeira, Guindastes, etc...) que irão encarecer substancialmente os seus custos.

- Altura mínima e máxima de aterro sobre a geratriz superior dos bueiros tubulares de concreto, conforme tabela abaixo utilizada pelo DER-MG:

TUBOS CLASSE	DIÂMETRO INTERNO	ALTURA DE ATERRO SOBRE O TUBO NA VIA	
		MÍNIMA	MÁXIMA
NBR 8890	m	m	m
PS - 2	0.30, 0.40, 0.50 e 0.60	0,55	4,60
PA - 1	0.70 e 0.80	0,55	4,75
	0.90	0,55	4,75
	1.00	0,55	4,75
	1.20 e 1.50	0,55	4,75
PA - 2	0.30, 0.40, 0.50 e 0.60	0,50	5,75
	0.70 e 0.80	0,50	6,15
	0.90	0,50	6,40
	1.00	0,45	7,05
	1.20 e 1.50	0,40	8,00
PA - 3	0.30, 0.40, 0.50 e 0.60	0,35	11,00
	0.70 e 0.80	0,35	11,15
	0.90	0,30	11,45
	1.00	0,30	11,75
	1.20 e 1.50	0,30	12,15

OBS:

PS-2 = Classe de tubo de concreto simples (não armado)

PA-1, PA-2 e PA-3 = Classe de tubos de concreto armado.

- Os tubos de concreto armado podem ser do tipo macho e fêmea ou ponta e bolsa e deverão atender à norma da **ABNT - NBR 8890**.
- A norma **ABNT - NBR 8890** apresenta uma tabela para tubos em concreto armado, onde identifica a sua classe em função da carga mínima de fissura e carga mínima de ruptura, inclusive para tubo de classe **PA-4**.
- Recomenda-se sempre que possível, quando da utilização de tubos de concreto, o uso tubos do tipo ponta e bolsa para rede pluvial urbana e bueiros de grota.
- Os bueiros celulares de seção retangular ou quadrada podem ser de dois tipos: moldadas "in loco" e de aduelas pré-fabricadas de concreto.
- Quando o bueiro celular for do tipo aduelas de concreto pré-fabricadas, este deverá atender o prescrito na Norma ABNT NBR 15396 "Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-fabricadas Requisitos e métodos de ensaios".
- A execução de bueiros tubulares de concreto e bueiros celulares do tipo aduelas de concreto pré-fabricadas deverá ser de acordo com o prescrito na Norma NBR 15645 – "Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto".

- As alturas máximas e mínimas de terraplenagem sobre os Bueiros Metálicos Corrugados (ARMCO) são determinadas pelo fabricante, sendo em função do tipo de chapa utilizado e do diâmetro.
- As alturas máximas e mínimas de terraplenagem sobre os bueiros tubulares do tipo PEAD, são determinadas pelos fabricantes. Portanto o projetista sempre que for projetar este tipo de tubo, deverá consultar as especificações contidas nos catálogos dos fabricantes (Armco Staco, Tigre-ADS e Kanaflex).

2.1 • Bueiros Executados por Método não Destrutivo

Método não Destrutivo pode ser definido como o método de execução de um bueiro através de túnel, sem abertura do corpo de aterro de forma a não causar interferência com o tráfego e com a superfície do terreno que se estiver atravessando.

É indicado principalmente, nas seguintes situações:

- Em rodovias com alto volume de tráfego, onde a execução pelo método convencional com abertura de aterro irá gerar insegurança e risco de acidente para os usuários da via.
- Nos locais onde o aterro seja alto (normalmente, maior que 6,00m). A partir de uma determinada altura, o custo para execução da obra por meio convencional torna-se mais cara, inclusive requerendo um maior tempo de execução. Deverá ser avaliada para cada obra a altura limite a partir da qual será viável economicamente a utilização deste método.
- Na área urbana na implantação de uma nova rede pluvial, na recuperação estrutural de uma rede já implantada ou mesmo para reforço hidráulico de uma rede existente em locais de alta densidade demográfica, vias com alto volume de tráfego e em locais onde não há espaço físico para execução de rede pelo método convencional.

Os métodos mais conhecidos para execução de bueiros pelo método não destrutivo são:

TUNNEL LINER (ARMCO STACO), TUNEL BALA (COMPLETA ENGENHARIA), MND/PHD, PIPE-JACKING e NATM - New Austrian Tunneling Method,

Definições:

TUNNEL LINER (ARMCO STACO) - São estruturas em chapas de aço corrugadas unidas por parafuso formando seções geométricas de forma circular, lenticular, elíptica, ovóide e arcos.

TUNEL BALA (COMPLETA ENGENHARIA) - São estruturas em concreto, onde para sua construção são utilizadas peças pré-moldadas em concreto de alto desempenho ($f_{ck} > 50\text{MPa}$).

MND/PHD - Método não destrutivo executado com Sonda Dirigida ou Perfuração Dirigida, utilizando tubo PEAD.

JACKING – PIPE

Trata-se da execução de túneis em vários diâmetros através da “cravação” de tubos de concreto de alta resistência (50 a 80 Mpa).

NATM - New Austrian Tunneling Method,

Método recomendado para obras de grandes dimensões

OBS: Para a execução de um bueiro por qualquer um dos cinco métodos citados anteriormente, existem etapas construtivas a serem obedecidas que dependerão do conhecimento dos seguintes parâmetros:

- **Tipo de solo do maciço a ser atravessado.**
- **Nível do lençol freático.**
- **Recobrimento sobre a travessia.**
- **Carga dinâmica (trem - tipo) aplicada sobre a travessia.**
- **Forma geométrica e dimensão da seção transversal do processo adotado.**

Para a definição das etapas construtivas, deverá o estudo ser elaborado por profissional altamente experiente na implantação do processo não destrutivo.

Será descrito a seguir os métodos de implantação de bueiros por processo não destrutivos:

2.1.1 • “Túnel Liner” - ARMCO STACO

Projeto

O projeto para implantação de um bueiro pelo método não destrutivo deverá conter as seguintes informações:

- Seção longitudinal com as cotas da superfície do terreno e da geratriz superior da estrutura.
- Seção transversal com forma e dimensão da estrutura.
- Boletins das sondagens dos furos ao longo do eixo da travessia, indicando a classificação do solo, o nível do lençol freático e o índice de resistência a penetração do solo (SPT-Standard Penetration Test), bem como a qualificação do maciço rochoso (RQD-Rock Quality Designation):
- Indicar o tipo de emboque que deverá ser adotado, bem como suas dimensões.
- Indicar o tipo de tratamento prévio que deverá empregado no maciço a ser atravessado, em função das características do solo, da geometria do “TUNNEL LINER”, do recobrimento da travessia e do trem-tipo aplicado.
- Indicar o sistema de rebaixamento do lençol freático em função da permeabilidade do solo, da altura do gradiente, da geometria do “TUNNEL LINER” e profundidade da escavação.

• **Locação**

Os pontos referenciais do alinhamento, nivelamento e de emboque da travessia, locados por equipe de topografia, deverão ser transferidos para frente de trabalho.

A obra deverá ser iniciada, preferencialmente, pelo lado jusante, a fim de que a água, proveniente do maciço, escoe pelo fundo da estrutura, na medida em for sendo implantada.

A obra que por necessidade seja iniciada pelo lado montante deverá prever a escavação de uma valeta com largura de 0,20m, abaixo e ao longo da cota de fundo da estrutura, com profundidade inicial igual a do desnível entre as bocas de montante e jusante. A valeta deverá ser preenchida posteriormente com brita, a fim de que a água proveniente do maciço escoe por este dreno cego.

• **Emboque**

O emboque da obra, em função do relevo do terreno, poderá ser:

Indireto - quando há necessidade de executar poço de ataque para atingir a cota da travessia e, por consequência, ocorre o transporte vertical de solo por intermédio de guincho de coluna.

1 - O poço de ataque deverá ser executado com o mesmo tipo de estrutura, porém com diâmetro 0,80m maior do que o da travessia. É recomendável limitar o diâmetro do poço ao mínimo de 2,40m, para a operação segura do guincho de coluna.

2 - A profundidade do poço deverá exceder a cota de fundo da travessia em 0,46m, no mínimo.

3 - O poço deverá exceder a superfície do terreno em 0,92m, no mínimo.

4 - Após a execução do poço, a execução deverá prosseguir de acordo com as etapas descritas para o emboque direto, conforme segue:

Direto - quando o início (emboque) da travessia ocorre diretamente no talude, sem a necessidade de transporte vertical de solo.

1 - Executa-se a montagem prévia de 02 anéis da estrutura, que deverão ser alinhados e nivelados de acordo com os pontos topográficos da obra.

2 - Estes dois primeiros anéis, devidamente alinhados e nivelados, deverão ser calçados por intermédio de solo, a fim de que sejam utilizados como guia do emboque da travessia no talude.

Implantação

A escavação manual deverá ser feita dentro de um perímetro o mais justo possível a circunferência externa da estrutura e com profundidade aproximada de 0,46 m.

Imediatamente após esta etapa, executa-se a montagem de um anel, iniciando-se pela instalação da chapa de topo, a fim de proteger a câmara de trabalho.

O prosseguimento da obra se dará pela execução sucessiva destes procedimentos.

Os anéis deverão ser solidarizados entre si por intermédio de parafusos e porcas de 5/8" x 1 ½", distribuídos ao longo dos flanges internos das chapas.

As chapas, de cada anel, deverão ser emendadas por transpasse de parafusos e porcas, de mesmas dimensões definidas acima, porém de pescoço quadrado e providos de arruelas elásticas. Estes parafusos deverão ser previamente colocados nos furos quadrados das chapas, aprisionados pelas arruelas elásticas.

Assim, o aperto de porcas, tanto da costura circunferencial quanto da longitudinal, poderá ser realizado, sempre, pelo lado interno da estrutura.

Inicialmente os parafusos deverão ser apertados apenas com a mão no intuito de prosseguir as etapas construtivas, sendo que o aperto final deverá preceder a execução da injeção.

Re-aperto

Ao término da implantação, os parafusos deverão ser apertados com o torque recomendado pelo fabricante do TUNNEL LINER entre 86 e 130 lb.ft (117 e 176 N.m / 12 e 18 kgf.m).

Injeção

O espaço vazio, ou seja, a coroa formada entre a superfície externa da estrutura e o terreno natural, deverá ser preenchida para evitar recalques posteriores.

Para isso, deverá ser utilizado material de preenchimento flexível e de boa resistência à compressão, sendo usualmente aplicada argamassa de solo-cimento com traço 10:1 e elevada fluidez, homogeneizada pelo preparo em misturadores elétricos (capacidade 100 litros).

O solo aglutinante é injetado, na coroa formada entre a superfície externa do TUNNEL LINER e o solo escavado, através de furos existentes nas chapas metálicas, apropriados para tal fim.

A injeção é executada por bomba apropriada, de deslocamento positivo, recalçando a massa com pressão suficiente (de serviço até 20 bar) para preencher os vazios, em especial, os decorrentes do perfil das chapas.

Tamponamento e Limpeza

Após a conclusão da injeção, os furos existentes nas chapas, apropriados para esta finalidade, deverão ser tamponados com argamassa cimento-areia, a fim de evitar a possibilidade de fuga da argamassa de solo-cimento por estes pontos, dada às dimensões dos mesmos.

Então, deverá ser realizada a limpeza do interior da estrutura, removendo os resíduos de material escavado.

Ventilação

Em função do diâmetro e da extensão do túnel, é recomendável utilizar ventilação forçada para renovar o ar na frente de trabalho:

- $\varnothing \leq 1,80\text{m}$, a partir de 40m.
- $\varnothing \geq 2,00\text{m}$, a partir de 60m.

A renovação de ar poderá obtida por intermédio do emprego de ventoinha que sugue o ar fresco e o insufla através de tubulação com diâmetro de 1", transportando-o para frente trabalho.

Alinhamento e Nivelamento

O alinhamento e nivelamento, definidos em projeto, deverão ser controlados, ao final da montagem de cada anel, através de métodos práticos e por intermédio de aparelhos topográficos a cada 03 dias.

A ARMCO STACO S/A - Indústria Metalúrgica, empresa que desenvolveu com tecnologia exclusiva o sistema não destrutivo "TUNNEL LINER", largamente utilizado no Brasil e no exterior, fabrica as estruturas metálicas apresentadas em seu catálogo de produtos, do qual foi obtida a seqüência ilustrativa do processo da implantação que se dá sem a interferir na superfície e no tráfego, conforme figuras a seguir:



A implantação do processo não destrutivo "TUNNEL LINER" compreende, no mínimo, as etapas: escavação do maciço, retirada do material escavado, montagem da estrutura metálica e injeção de solo-cimento.

Obs: Diâmetro mínimo de execução 1,20m e o diâmetro máximo é de 5,00m.

2.1.2 • Túnel Bala - COMPLETA ENGENHARIA

O formato dos túneis com essa tecnologia é o de uma ogiva, o que lembra uma bala. Este fato inspirou o nome TÚNEL BALA.

O método é normatizado pelo DNIT, Norma 096/2006 – ES (Bueiros de Concreto Mini Túnel sem Interrupção de Tráfego)



Vantagens do TÚNEL BALA

- Execução pelo processo não destrutivo
- Grande durabilidade
- Elevada resistência à abrasão
- Elevado coeficiente de impermeabilidade
- Adequação a grandes centros urbanos, evitando maiores transtornos a população

Aspectos Técnicos

- Existem 154 opções de seção, que variam de 0,80 m de vão por 1,40 m de altura, até 2,20 m de vão por 3,00 m de altura.

Investigação do Terreno

Previamente à execução da obra deverão ser feitas sondagens à percussão, objetivando a determinação do perfil geotécnico do solo a ser escavado para que sejam determinadas técnicas a serem adotadas bem como os recursos específicos para execução dos serviços.

Implantação do TÚNEL BALA

Caso não seja viável o emboque direto, em função das condições locais, deverão ser abertos, em pontos convenientes, poços de ataque, de seção 2,50m x 2,50m, quadrangular com perfis metálicos. Quando necessário deverão ser usados equipamentos específicos de escoramento progressivo da câmara de trabalho. O processo progressivo de escavação, montagem das peças pré-moldadas e concretagem do piso constituem o corpo do Túnel.

Dependendo das condições locais, a injeção de solo-cimento sob pressão para o preenchimento dos vazios entre a face externa do corpo do Túnel e o terreno natural é realizada durante a execução do Túnel ou após a sua conclusão, evitando-se assim, recalques na superfície.

Controle Tecnológico

A declividade e o alinhamento são controlados topograficamente, a cada etapa da montagem, com um aparelho de nível a laser.

O controle é reforçado por serviços periódicos de topografia.

Será feito controle geométrico, que consistirá na conferência, por processos topográficos correntes, do alinhamento, declividade, esconsidade, comprimentos e cotas dos bueiros executados.

As condições de acabamento serão apreciadas em bases visuais.

Dada a sua complexidade e responsabilidade a Completa Engenharia não credencia nenhuma outra empresa a fazer a montagem do TÚNEL BALA.

Obs: As dimensões mínimas: 0,80m x 1,40m e as dimensões máximas: 2,20m x 3,00m .

2.1.3 Método não Destrutivo com Sonda Dirigida – MND, também chamado de Perfuração Dirigida – Tubo PEAD

Uma tecnologia de travessia subterrânea, dirigível da superfície a qual está sendo executada.

A Perfuração Dirigida segue as seguintes etapas:

- Execução de um furo piloto;
- Alargamento desse furo piloto ao diâmetro adequado ao tubo a ser instalado,
- Puxada do tubo PEAD a ser instalado.

Os alargadores têm como objetivo alargar o furo até o diâmetro definitivo. Recomenda-se que o alargamento seja feito entre 20% a 50% maior que o diâmetro externo do tubo a ser instalado.

As etapas construtivas podem ser classificadas em: Planejamento, Projeto, Execução e Serviços Finais.

Na etapa de projeto é importante que se gaste tempo e energia na Pesquisa, Estudo e Levantamentos. Os cadastros das possíveis interferências, principalmente em perímetros urbanos, e os estudos geotécnicos, devem ser feitos com bastante critério e rigor, pois daí depende o sucesso da execução da perfuração dirigida. A falta da investigação geotécnica é a principal responsável pelos insucessos de obras de perfuração dirigida.

Obs: Diâmetro mínimo de execução 5,0cm e o diâmetro máximo é de 1,20m.

2.1.4 Método não Destrutivo Jacking Pipe – Tubo de Concreto

É um sistema de encapsulamento utilizado especificamente para instalação de dutos (tubos de concreto) subterrâneos, que impacta minimamente a superfície permitindo a execução de bueiros/rede pluvial sem interrupção do tráfego e sem necessidade de rebaixamento de lençol freático.

A execução de bueiros por esse sistema necessita de um escavador e um cravador, denominados shield e jackin pipe respectivamente, além disso, são necessários no mínimo dois poços para entrada e saída dos materiais e equipamentos (emboque e desemboque). Depois de construídos os poços instala-se o cravador no emboque e inicia-se o trabalho com o escavador. Em seguida são cravados os tubos de concreto que empurrarão o escavador até o poço de desemboque. É importante observar que o Jacking Pipe é um método linear de execução de bueiros/rede pluvial, ou seja, para que se tenha curvas ao longo da sua implantação é necessário que no desemboque se inicie um novo emboque com a direção angular pretendida.

Obs: Diâmetro mínimo de execução 0,30 m e o diâmetro máximo é de 1,50m.

2.1.5 NATM – New Austrian Tunneling Method

Trata-se de uma maneira segura e eficiente de construir túneis. Basicamente, logo após a escavação parcial do maciço é instalada a estrutura de suporte. Esta estrutura é feita com concreto projetado e complementada, quando necessário, por tirantes e cambotas. Nesta metodologia, que a primeira vista parece simples, estão embutidos conceitos fundamentais.

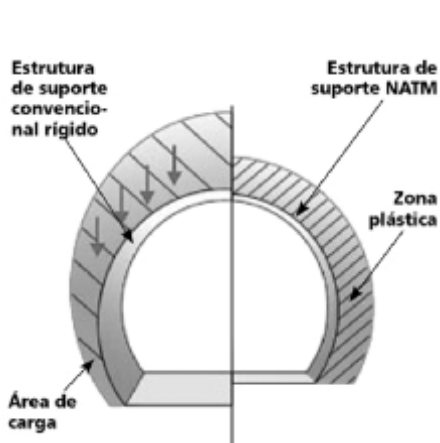
O maciço que circunda o túnel, que inicialmente atua como elemento de carga, passa a se constituir em elemento de escoramento. Isto se deve à mobilização de suas tensões de resistência. É o princípio da estabilização pelo alívio das tensões por deformações controladas. (Figura abaixo)

A acomodação excessiva do solo faz com que o maciço perca sua capacidade de auto-suporte e passe a exercer um esforço sobre a estrutura. A aplicação imediata do revestimento de concreto projetado impede esta acomodação, bem como a formação de vazios na junção estrutura-macício, mantendo sua qualidade. A aplicação deste revestimento possibilita que o suporte aja em toda a superfície escavada, melhorando sua interação com o maciço.



O avanço e a parcialização adequada da frente de escavação se dão em função do comportamento do maciço, que se traduz no tempo de auto-sustentação e deformidade do material. Quanto maior o número de etapas, menor a área unitária de escavação, maior o tempo de auto-suporte da abertura, que não está escorada, e menores os recalques. Também influem na forma de parcialização: equipamentos disponíveis, prazo para execução da obra e custos. Em geral, é procurada uma solução que resulte na maior velocidade de execução. O suporte do túnel trabalha como um anel contínuo, que deve ser concluído o mais brevemente possível. Por questões de organização construtiva, quando é previsto o avanço pronunciado da abóbada do

túnel, muitas vezes é colocado um fechamento provisório do anel, para estabilizar aquela área do maciço enquanto as demais áreas são escavadas. Quando a escavação é finalizada, este piso é retirado para a construção do piso definitivo.



Duas questões são importantes na colocação do suporte: sua própria deformidade e o momento da aplicação. Quando o suporte é aplicado muito cedo, ou quando há pouca deformação, sua capacidade de resistência deve ser superior àquela realmente necessária para o caso ótimo, pois ele precisará trabalhar com níveis de tensões mais elevados, uma vez que o maciço ainda pode sofrer um alívio e, portanto, a aplicação de menor carga.

O comportamento da interação maciço- estrutura recebe fortes influências dos seguintes fatores: deformidades do maciço e do suporte; tamanho da abertura da escavação; defasagem entre escavação e aplicação do suporte; espessura do suporte; método de avanço da escavação

Quando necessário, e para melhorar as condições de sustentação, são adicionados elementos estruturais ao concreto projetado, como cambotas ou treliças metálicas embutidas no concreto, e ancoragem no maciço do tipo tirante ou chumbador e enfilagem.

A colocação sistemática da ancoragem permite a mobilização da capacidade portante do maciço, impondo que as tensões confinantes ao redor da abertura se mantenham em níveis compatíveis, limitando as deformações. Para estabilizar previamente trechos a serem escavados, ou os emboques, são utilizadas enfilagens, cravadas ou injetadas.

No NATM, o volume de solo escavado é somente o necessário para aplicação do revestimento de concreto projetado, sem necessidade de qualquer sobre-escavação.

Na construção do túnel, deve-se evitar escavogeometrias com cantos vivos, eliminando locais com concentração de tensões, que podem levar à ruptura.

Sempre que houver a ocorrência de água, a colocação de drenos entre a estrutura e o solo permite o alívio destas pressões sobre a superfície de suporte do túnel, melhorando as condições de segurança da obra e facilitando a escavação. Também com este objetivo, a aplicação de rebaixamento induzido do lençol freático é muito eficiente.

Obs: 1- Solução recomendada para obras de grandes dimensões.

2 - O texto sobre o Método NATM foi transcrito do Portal Met@lica na página: <http://www.metalica.com.br/tunel-natm>.

2.2 • Fases do desenvolvimento de um Projeto de Bueiros de Grotas

- Elaboração do Mapa de Bacias;
- Obtenção dos dados físicos da bacia: área, comprimento do talvegue e declividade efetiva;
- Preencher as planilhas de cálculo de vazões, ordenando as bacias em ordem crescente com os dados físicos: área, comprimento do talvegue e declividade efetiva do talvegue;
- Escolha do posto pluviométrico/pluviográfico mais próximo do trecho em estudo;
- Coleta dos dados pluviométricos do posto representativo;
- Definir o método/equação de chuva que será utilizado no projeto;
- Cálculo da vazão das bacias de acordo com o método compatível com a sua área;
- Dimensionamento das obras, considerando o aproveitamento dos bueiros existentes quando possível. Este dimensionamento ainda não é definitivo, pois somente após a visita a campo será possível definir e dimensionar o bueiro de forma definitiva;
- Visita a campo com o projeto elaborado no escritório (pré-dimensionamento) e as folhas de cadastro dos bueiros existentes, quando deverá ser adotado os seguintes procedimentos que irão dar consistência ao projeto:
 - 1- Informações sobre a suficiência hidráulica dos bueiros existentes junto aos moradores localizados próximos às obras, quando houver;

2 - Informações junto aos usuários da via. Ex: motoristas dos ônibus que passam naquele trecho, caminhão de leite, etc.;

3 - Informações junto ao órgão que é responsável pela conservação da rodovia: DNIT, DER, Prefeitura. Nestes casos é recomendável procurar o encarregado do órgão que trabalha ou já trabalhou naquele trecho.

• Inspeção dos bueiros existentes objetivando a análise de suas condições estruturais e funcionamento hidráulico. Neste momento o projetista poderá tomar as seguintes decisões:

1 - *Diagnóstico: Bueiro existente em bom estado estrutural e com suficiência hidráulica para a vazão calculada.*

Solução:

Aproveitar o bueiro como está. Fazer limpeza e prolongamento caso seja necessário

2 - *Diagnóstico: Bueiro existente em bom estado estrutural, porém com insuficiência hidráulica para a vazão calculada.*

Solução: *Fazer limpeza e prolongamento do bueiro existente, caso seja necessário e executar um novo bueiro ao lado do existente para que haja a complementação hidráulica de forma a atender a vazão de projeto.*

3 - *Diagnóstico: Bueiro existente com problema estrutural localizado, porém com suficiência hidráulica.*

Solução: *Indicar a recuperação estrutural de forma a aproveitá-lo. Fazer limpeza e prolongamento do bueiro existente, caso seja necessário.*

4 - *Diagnóstico: Bueiro existente com problema estrutural localizado, porém com insuficiência hidráulica.*

Solução: *Indicar a recuperação estrutural de forma a aproveitá-lo. Fazer limpeza e prolongamento do bueiro existente, caso seja necessário e executar um novo bueiro ao lado do existente para que haja a complementação hidráulica de forma a atender a vazão de projeto.*

5 - *Diagnóstico: Bueiro existente com problema estrutural generalizado e que não é viável a sua recuperação.*

Solução: *Remover o bueiro existente e construir outro, se possível, no mesmo local.*

6 - *Diagnóstico: Bueiro existente assoreado comprometendo a seção de vazão*

Solução: *Verificar a viabilidade da limpeza e a sua condição estrutural. Caso a limpeza seja viável, ou seja, o assoreamento ocorre somente no local da obra e próximo a transposição do curso d'água, o bueiro deverá ser limpo e se for necessário também será prolongado. No caso do assoreamento estiver presente em toda a região, a limpeza do bueiro não será viável. O bueiro existente deverá ser abandonado e construir um novo ao lado com seção hidráulica de forma a atender a vazão de projeto. A cota de assentamento do novo bueiro deverá ser a cota do assoreamento no momento da elaboração do projeto.*

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- Após a visita a campo, rever o cálculo de vazão das bacias e o dimensionamento dos bueiros de forma a compatibilizar os dados teóricos com as observações e informações de campo;
- Elaboração das listagens definitivas dos bueiros de grotá;
- Rever os textos dos estudos hidrológicos e do projeto de drenagem para que as informações contidas estejam compatíveis com as listagens apresentadas.

A seguir será apresentada a folha de cadastro de bueiros do DER-MG:

CADASTRO DAS OBRAS DE ARTES EXISTENTES				Folha Nº _____													
Rodovia:		Trecho:		Estaca:													
I - D A D O S D A O B R A E X I S T E N T E																	
TIPO : _____ DIMENSÃO : _____ ESCONDSIDADE°E°D Estado de conservação da Obra: COTA MONTANTE: COTA JUSANTE: LADO DE MONTANTE: COMPRIMENTO TOTAL: M MONTANTE: M JUSANTE: M SEÇÃO DE VAZÃO: M ² <input type="checkbox"/> SUFICIENTE <input type="checkbox"/> INSUFICIENTE			CROQUIS POSIÇÃO EM RELAÇÃO A RODOVIA E SENTIDO DA CORRENTE (SE NECESSÁRIO USAR O VERSO)														
SITUAÇÃO DA BOCA <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTANTE</td> <td style="text-align: center;">JUSANTE</td> </tr> <tr> <td>ACIMA DO TALVEGUE</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>NO NÍVEL DO TALVEGUE</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>ABAIXO DO TALVEGUE</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				MONTANTE	JUSANTE	ACIMA DO TALVEGUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO NÍVEL DO TALVEGUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ABAIXO DO TALVEGUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	MONTANTE	JUSANTE															
ACIMA DO TALVEGUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
NO NÍVEL DO TALVEGUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
ABAIXO DO TALVEGUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
CAIXA COLETORA LOCALIZAÇÃO : LARGURA : PROFUNDIDADE : CONSERVAÇÃO :																	
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA BOCA <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">MONTANTE</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">JUSANTE</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOM</td> <td style="text-align: center;">RUIM</td> <td style="text-align: center;">BOM</td> <td style="text-align: center;">RUIM</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			MONTANTE		JUSANTE		BOM	RUIM	BOM	RUIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IV - OBSERVAÇÃO		
MONTANTE		JUSANTE															
BOM	RUIM	BOM	RUIM														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
II - D A D O S D A B A C I A LARGURA DO TALVEGUE : LÂMINA D'AGUA : DECLIVIDADE DA ENCOSTA <input type="checkbox"/> SUAVE <input type="checkbox"/> MODERADA <input type="checkbox"/> ABRUPTA TIPO DE VEGETAÇÃO <input type="checkbox"/> RALA <input type="checkbox"/> Densa <input type="checkbox"/> FECHADA TIPO DE TERRENO <input type="checkbox"/> SUAVE <input type="checkbox"/> MODERADA <input type="checkbox"/> ABRUPTA			PRESENÇA DE EROSÃO M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> BREJO M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> ASSOREAMENTO M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> NECESSITA VALETA M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> SEÇÃO ESTRANGULADA M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> CORPO TRINCADO SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> CORPO QUEBRADO SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> CORPO SELADO SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> INFILTRAÇÃO D'AGUA SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> PAVIMENTO SOBRE BUEIRO <input type="checkbox"/> TRINCAS <input type="checkbox"/> ABATIMENTO <input type="checkbox"/> NORMAL														
EMPRESA CONTRATADA ENG° RT: DESENHO: ESCALA: Eng° Fiscal - CREA/MG				DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS													
ENG° PROJETISTA DESENHISTA: VERIFICADO: APROVADO: Eng° Diretor da DP				RODOVIA: TRECHO:		CADASTRO DAS OBRAS DE ARTES EXISTENTES FOLHA:											

2.3 • Fases para a implantação de um Bueiro de Grotta

- Desmatamento e limpeza da faixa de domínio;
- Verificar a real necessidade do bueiro, pois pode haver erro no projeto;
- Confirmar o local adequado para a implantação do bueiro;
- Tirar a nota de serviço do bueiro a ser implantado, tendo em vista a nova cota de assentamento devido à limpeza do terreno;
- Projetar o bueiro na cota do talvegue. A sua implantação abaixo da cota do talvegue implicará num rápido assoreamento com perda da seção útil da obra diminuindo a sua capacidade de vazão;
- Verificar a necessidade de reforço da fundação da obra (empedramento) ou até mesmo de estaqueamento utilizando peças de madeira ou trilhos;
- Fazer a locação da nova obra, procurando manter o bueiro no talvegue com a esconsidade necessária;
- Executar o reforço de fundação caso seja necessário:
- Executar a calçada do berço com concreto ciclópico (70% de concreto de 11,0 MPa e 30% de pedra de mão);
- Assentar as manilhas dentro do alinhamento e esconsidade do projeto;
- Executar a concretagem do contra berço com ciclópico (70% de concreto de 11,0 MPa e 30% de pedra de mão);
- Fazer o rejuntamento interno e externo das manilhas;
- Executar boca ou caixa coletora a montante e a boca de jusante com concreto ciclópico (70% de concreto de 11,0 MPa e 30% de pedra de mão);
- Executar reaterro manual até 40,0 cm sobre a geratriz superior do bueiro.
- Executar a terraplenagem ou a pavimentação de acordo com o projeto.

3 - Obras de Arte Especiais/Pontes

A forma mais indicada para o estudo da seção de vazão /seção hidráulica (definição do comprimento e altura da nova ponte) das obras de arte especiais é através do estudo da vazão de projeto utilizando dados estatísticos, quando se dispõe de dados fluviométricos no local do projeto ou próximo a ele. Como o Brasil não dispõe de uma rede ampla de postos fluviométricos, a vazão máxima provável é quase sempre estabelecida através de cálculos utilizando o Método do Hidrograma Triangular Sintético, conforme já apresentado nos Estudos Hidrológicos. O projeto de obras de arte especiais pode ser dividido em três fases: Estudo hidrológico, Estudo Hidráulico e o Projeto Estrutural.

1ª fase: Estudo Hidrológico, etapas a serem seguidas:

- Definição do posto pluviométrico/equação de chuva representativa para o estudo;
- Coleta dos dados pluviométricos;
- Processamento dos dados pluviométricos coletados, elaboração dos histogramas, definição da curva de intensidade x freqüência;
- Elaboração do mapa de bacias;
- Dados físicos da bacia tirados a partir do mapa elaborado;
- Cálculo da vazão da bacia;

2ª fase: Estudo Hidráulico, etapas a serem seguidas:

- Levantamento topográfico no local da travessia, com todas as informações necessárias para o estudo (seção batimétrica, declividade de passagem, etc...);
- Informação e definição da cota de máxima cheia histórica ocorrida no local ou próximo da travessia;
- Definição no campo do coeficiente de rugosidade de manning;
- Estudo da verificação hidráulica na seção de travessia do curso d'água, com as dimensões da nova ponte.

3ª fase: Projeto Estrutural, etapas a serem seguidas após a definição da seção hidráulica:

- Definição do tipo de estrutura a ser adotada no projeto;
- Marcação/definição dos pilares;
- Solicitação de Sondagem nos locais dos pilares para estudo da fundação;
- Projeto estrutural.

No estudo hidráulico, com os elementos fornecidos pelo estudo hidrológico, calcula-se a seção de vazão necessária para permitir o escoamento da vazão de projeto da bacia, obtendo-se, assim, o comprimento e altura da obra.

Neste caso também é importante a verificação de campo, com as informações de máxima cheia no local da travessia e máximas cheias em obras existentes próximas ao local da obra a ser projetada. Estas informações serão decisivas na aferição do cálculo de vazão e na determinação do comprimento e altura da ponte.

O cálculo do remanso e a sua consideração na máxima cheia de projeto somente são necessários quando tratar-se de projeto em locais virgens, onde a máxima cheia histórica não for referenciada por uma existente.

Deverá ser evitado, sempre que possível, o projeto de corta rios, pois o que a princípio poderia ser uma boa solução hidráulica, com o aumento da velocidade em função da correção aumenta o risco do surgimento de erosões nas suas margens gerando assim um problema permanente para os serviços de manutenção e para o meio ambiente.

Serão apresentadas a seguir as orientações do DER-MG para elaboração de projeto de pontes:

Procedimentos para Elaboração de Projetos de Obras de Arte Especiais.

Estudos Hidrológicos

Nos Estudos Hidrológicos a serem elaborados devem ser considerados os seguintes aspectos:


- Tempo de recorrência a ser adotado conforme tabela abaixo:

Tempo de Recorrência	
Rodovia com Baixo Volume de Trafego	Rodovia Normal
50 anos e verificar para 100 anos	100 anos

A metodologia para determinação das vazões dependerá da disponibilidade de dados fluviométricos e do número de anos de observações. Quando não se dispõe de dados fluviométricos, recomenda-se o Método do Hidrograma Triangular Sintético / Unitário ("Ven Te Chow"). O cálculo de vazão deve ser apresentado, no mínimo, conforme a Planilha a seguir:

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

Apresentar texto com as principais informações das obras existentes, no mínimo com as informações de ficha modelo apresentada a seguir:

OBRAS DE ARTE ESPECIAIS EXISTENTES				
DADOS DA OBRA EXISTENTE			INFORMAÇÕES	
Nome do Córrego				
Estaca Inicial e Final				
Tipo da OAE (concreto, madeira e etc.)				
Ano da Construção				
Estado de Conservação				
Suficiência Hidráulica				
Assoreamento do Leito do Curso d'água				
Ano e frequência da Máxima Cheia Histórica				
Barragem/Dolina a Montante e Jusante				
Erosões nas Margens do Curso d'água				
Outros				
EMPRESA CONTRATADA		DIRETORIA DE PROJETOS		
ENGº	RT:	DESENHO:	ESCALA:	
ENGº PROJETISTA		DESENHISTA:	VERIFICADO:	APROVADO:
				ENGº Diretor da DP
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS				
RODOVIA:		TRECHO:		
CADASTRO DAS OBRAS DE ARTES EXISTENTES				FOLHA:

- Apresentar informações relativas à ocorrência de águas agressivas, sob o aspecto tóxico;
- Apresentar informações relativas à serviços de regularização, dragagem, retificações, cortamentos, proteção das margens, em execução ou planejados;
- Apresentar informações relativas às obras-de-arte implantadas nas proximidades da obra a ser projetada, tais como: tipo estrutural, extensão, número vãos, altura, seção de vazão, tipo de fundação, existência ou não de erosão nas fundações, margens e encontros ou qualquer outro dado de interesse;
- Verificar a necessidade de proteção das margens do curso d'água nas proximidades da obra;
- Verificar a necessidade de proteção contra erosão dos aterros de encabeçamento e indicar o tipo de proteção;

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- O Mapa de Bacias deve ser apresentado com cores diferentes na marcação da rodovia, limite das bacias e talvegue. Deverá constar na legenda: escala utilizada, indicação de marcação da rodovia, do limite das bacias, do talvegue principal e da numeração da bacia;
- Deve ser apresentado quadro, conforme modelo abaixo, com as coordenadas geográficas, nos locais das obras de arte especiais (existentes e/ou projetadas):

Rodovia:		Trecho:				
Nº Bacia	Localização (estaca)	Nome do Curso d'água	Coordenadas			
			Latitude	Longitude	Norte	Este

Visita ao local da obra após a elaboração dos Estudos Hidrológicos

- Verificar o comprimento, largura e altura útil (face inferior da viga até o espelho do NA), da ponte existente mais próxima do local onde a obra está sendo projetada;
- Informar-se, junto a moradores próximos ao local da OAE e/ ou usuários da via, qual foi a máxima cheia histórica e em que ano ocorreu. Caso esta máxima cheia histórica tenha se repetido, verificar a frequência em que ocorre (intervalo de tempo);
- Verificar qual o tipo de vegetação existente nas margens do curso d'água (montante e jusante);
- Verificar qual o tipo de solo nas margens do curso d'água (montante e jusante). Se for possível verificar o tipo de solo também no leito;
- Verificar a sinuosidade do curso d'água, a montante e jusante do local da travessia;
- Verificar a existência de erosão nas margens do curso d'água (montante ou à jusante da ponte);
- No caso de ponte existente a ser aproveitada, verificar se há erosão nos encabeçamentos da mesma;
- Avaliar a velocidade da água no local da ponte existente mais próxima e também no local da obra projetada;
- Verificar se a ponte existente é em pegão (pilar reforçado de grandes proporções, implantado nas margens do curso d'água e que serve de apoio para a super estrutura da ponte) ou se possuiu encabeçamento e verificar a presença de erosão nestas situações;
- Verificar se há algum problema estrutural que comprometa a estabilidade da obra existente e encaminhar para averiguação do setor competente;
- Verificar a necessidade de proteção contra erosão na saia dos aterros que estejam próximos de cursos d'água;
- Fotografar e filmar tudo que for observado na visita.

Obs: Esta visita é muito importante para aferição da vazão de cálculo obtida no escritório. Será importante também para Estudo da Verificação Hidráulica, principalmente na definição do coeficiente de rugosidade n.

Estudo de Verificação Hidráulica

O Estudo de verificação hidráulica deve ser apresentado para:

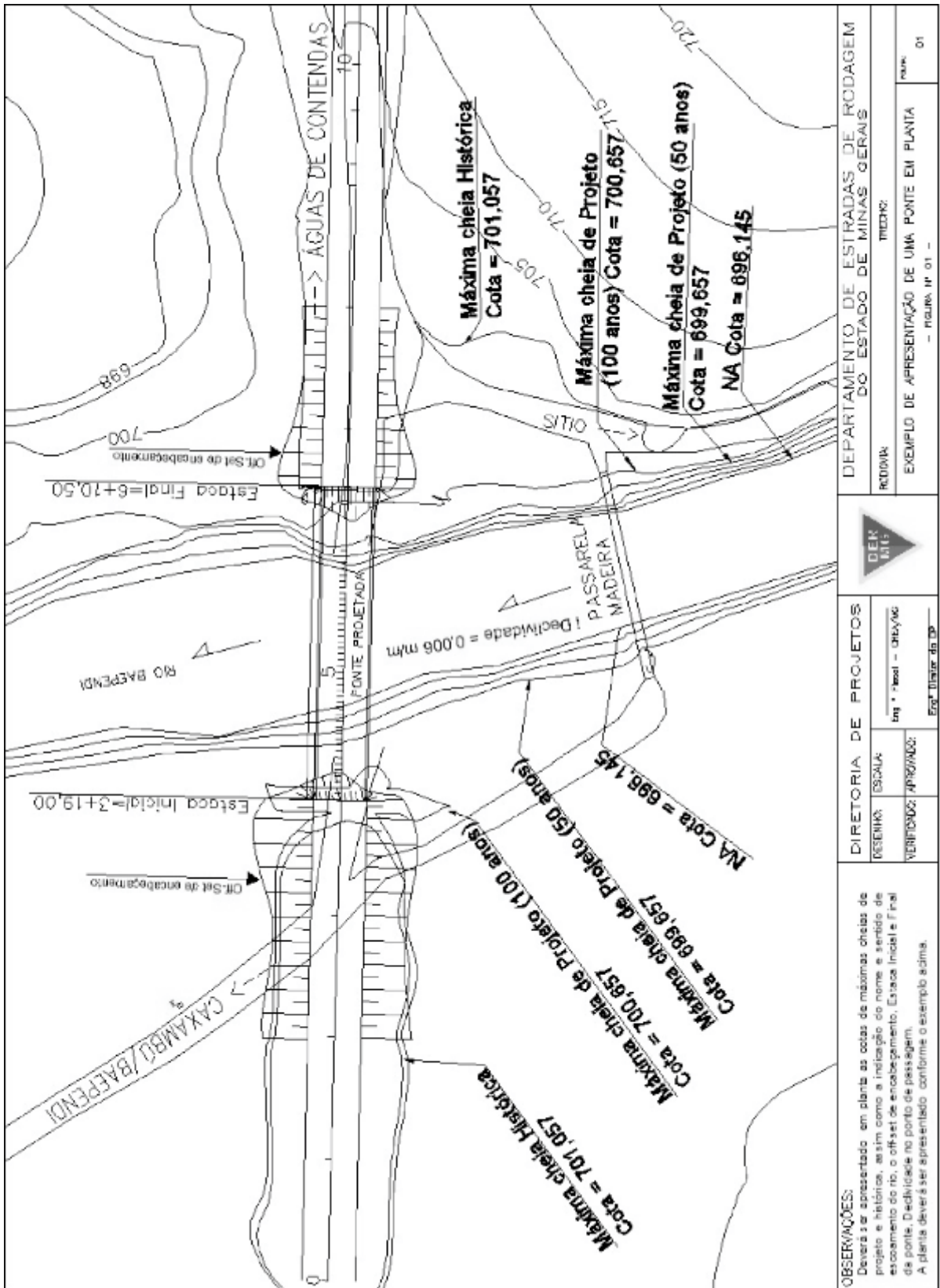
- Pontes projetadas;
- Pontes existentes a serem aproveitadas ou removidas;
- Pontilhões existentes a serem aproveitados ou removidos;
- Pontes existentes a serem demolidas, localizadas à montante ou à jusante do local da obra projetada;

Na **verificação hidráulica das pontes** devem ser apresentados os seguintes itens:

a) **Planta** contendo:

- A escala mínima de 1 : 200;
- O eixo estaqueado;
- A estaca inicial e final da ponte;
- As curvas de nível de metro em metro e a indicação das cotas de 5 em 5 m;
- A indicação do nome do curso d'água e sentido de escoamento;
- A indicação do *off-set* de encabeçamento;
- A indicação, quando necessário, da representação em planta das proteções de taludes para máxima cheia de 50 anos e a representação de corta-rios e outros;
- A marcação, com cores diferentes, das curvas de nível da máxima cheia de vestígio ou histórica e da máxima cheia de projeto (50 anos e 100 anos);
- A identificação da parte da ponte a ser alargada, quando for o caso;
- A indicação do valor, em m/m, da declividade do ponto de passagem;

Obs.: Modelo de apresentação, ver Figura a seguir.



b) Perfil (batimetria) contendo:

- A seção batimétrica, no mínimo, na escala 1: 100, sendo a mesma escala na horizontal e a vertical;
- A estaca inicial e final de ponte;
- Cota do NA da Máxima cheia de projeto (50 e 100 anos), Máxima cheia histórica / vestígio e a cota da face inferior da viga principal (longarina) da ponte;
- A data de leitura do NA, na seção batimétrica, e quando possível, informar a data (ano) da máxima cheia histórica;
- Colchão de ar de:

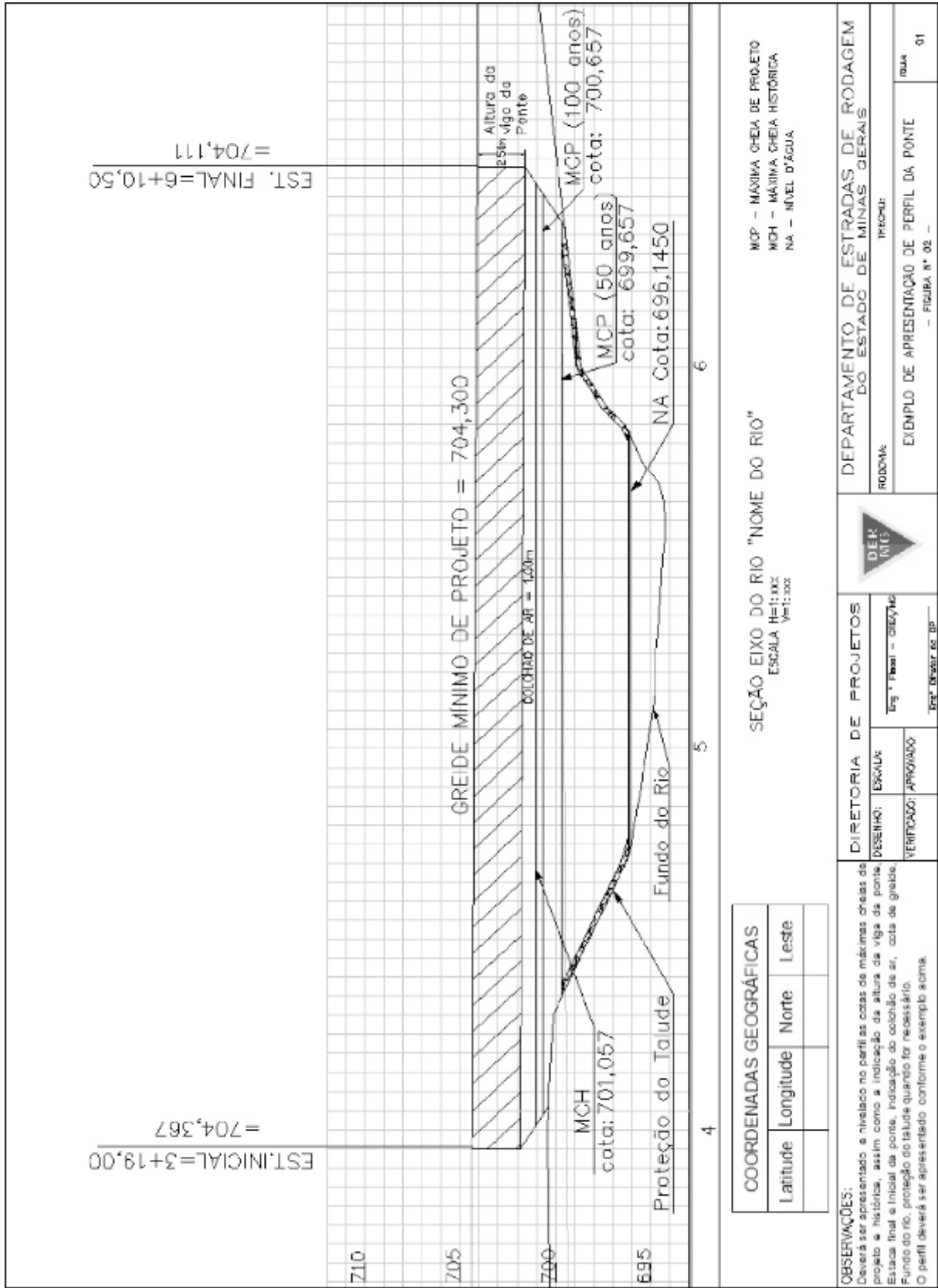
- 0,50 m a 1,00 m entre a face inferior da viga principal (longarina) da ponte e máxima cheia, com TR = 50 anos para rodovia de baixo volume de tráfego;
- 1,00 m entre a face inferior da viga principal (longarina) da ponte e máxima cheia, com TR = 100 anos para rodovias normais;
- Para TR= 100 anos, o nível d'água deverá, no máximo, tangenciar a face inferior da viga principal (longarina) da ponte, no caso de aproveitamento da ponte existente.

O colchão de ar tem como função principal permitir que objetos sólidos, principalmente troncos de árvores, passem livres sob a ponte sem impactar com a longarina, pois isto poderia colocar em risco a sua estabilidade.

Obs: as recomendações acima são válidas para o Estado de Minas Gerais. Em cada lugar que estiver sendo elaborado o projeto, deverá ser analisado qual a altura do colchão de ar adequado para aquele curso d'água em estudo.

- Informar a altura da viga principal (longarina) da ponte;

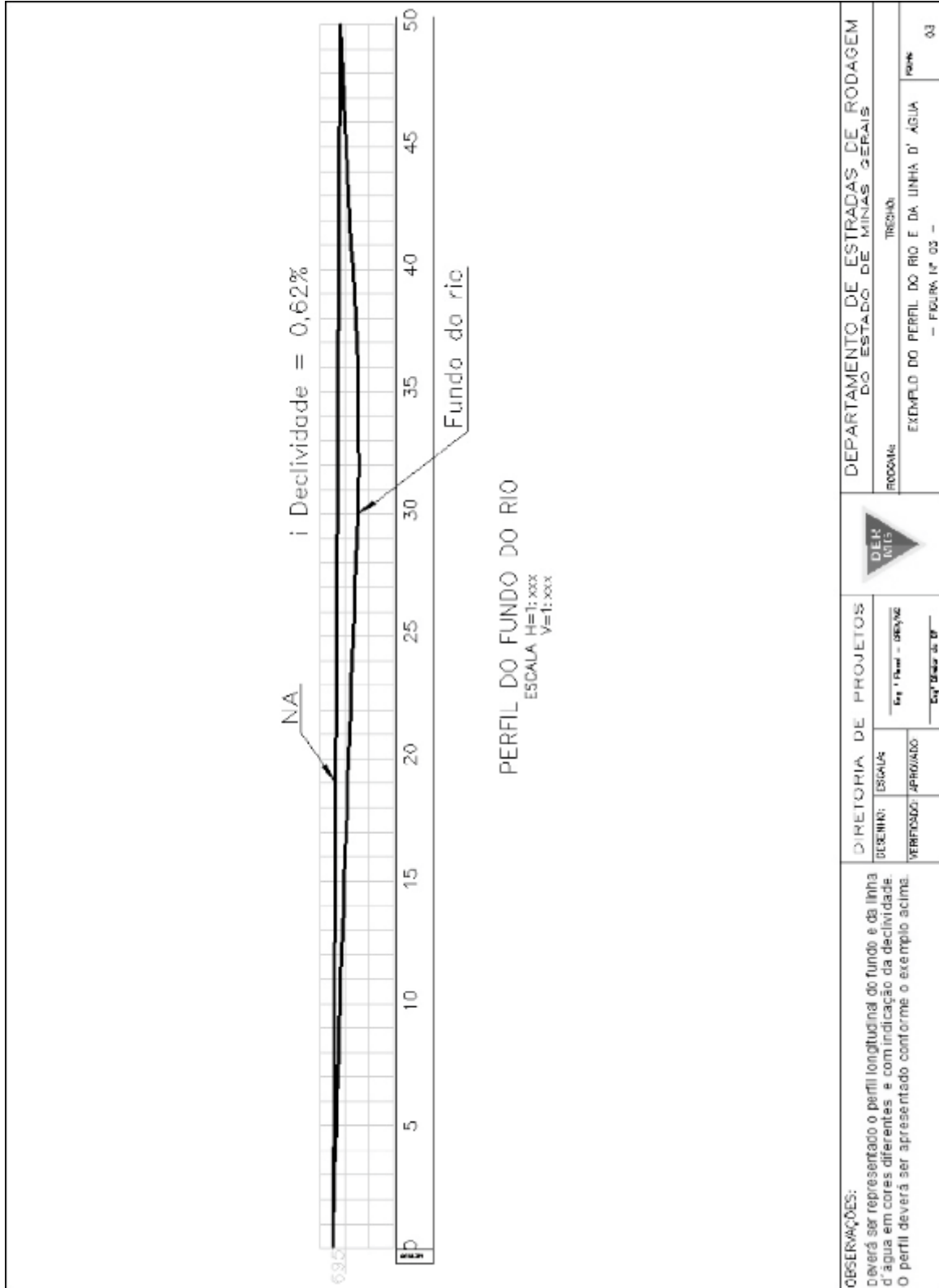
Obs.: Modelo de apresentação, ver Figura a seguir:



• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- Perfil longitudinal do fundo do rio e da linha d'água, no local de implantação da ponte, de forma a abranger uma extensão mínima de 100 m à montante e à jusante do eixo e que atinja, no mínimo, 30 cm de desnível.

Obs.: Modelo, ver Figura a seguir:



Resumo do Estudo Hidrológico/Hidráulico

Apresentar resumo dos Estudos Hidrológicos e Hidráulicos, conforme modelo apresentado a seguir:

Trecho :		
Nº da Bacia :	Nome da Travessia:	
Quadro Resumo dos Estudos Hidrológicos		
Variáveis	Unidade	Valor
Área da bacia	Km ²	
Comprimento do talvegue	Km	
Declividade efetiva do talvegue	m/m	
CN (Runoff)	-	
Qprojeto TR = 50 anos	m ³ /s	
Qprojeto TR = 100 anos	m ³ /s	

Quadro Resumo dos Estudos Hidráulicos (PONTE PROJETADA OU EXISTENTE A SER APROVEITADA)					
Variáveis	Unidade	Verificação Hidráulica			
		Tempo de Recorrência		MCH	MCV
		50 anos	100 anos		
Am (área molhada)	m ²				
Pm (perimetro molhado)	m				
I	m/m				
η					
RH (Raio Hidráulico)	m				
V(Velocidade)	m/s				
Q _H (Vazão Hidráulica)	m ³ /s				
Comprimento da Ponte	m				
Estacas		Inicial:		Final:	
Conclusão		Q _H = Q _P		Obra com suficiência hidráulica	
		Q _H < Q _P		Obra sem suficiência hidráulica	
Obs.					
MCH - Máxima Cheia Histórica			η - Coeficiente de rugosidade		
I - Declividade do ponto de passagem			MCV - Máxima cheia de Vestígio		

Quadro Resumo dos Estudos Hidráulicos (PONTE EXISTENTE QUE NÃO SERÁ APROVEITADA)			
Variáveis	Unidade	Verificação Hidráulica	
		MCH	MCV
Am (área molhada)	m ²		
Pm (perimetro molhado)	m		
I	m/m		
η			
RH (Raio Hidráulico)	m		
V (Velocidade)	m/s		
Q _H (Vazão Hidráulica)	m ³ /s		
Obs.			
MCH - Máxima Cheia Histórica		η - Coeficiente de rugosidade	
I - Declividade do ponto de passagem		MCV - Máxima cheia de Vestígio	

A) Observações Gerais

- No caso do não aproveitamento e/ou alargamento da ponte existente (devido à situação hidráulica / geométrica / estrutural / tombada pelo patrimônio histórico) deve ser apresentada justificativa;
- Apresentar, (na fase final do projeto), a nota de serviço do pavimento acabado e, no intervalo da ponte, apresentar de metro em metro;
- Apresentar o Relatório de Projeto, conforme as Orientações para Análise da Minuta do Projeto de Drenagem, juntamente com os enfoques e as alterações que constam nesta orientação;

Após a conclusão dos Estudos Hidrológicos e da Verificação Hidráulica, a Consultora deverá encaminhar para a Diretoria de Projetos duas cópias dos estudos completos.

Atendimento Ambiental - Circular de Atendimento ao IGAM

Com o objetivo de atender as exigências do IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de Águas), devem ser apresentados no Relatório de Projeto (Estudos Hidrológicos), para todos os cursos d'água interceptados pela rodovia, os seguintes dados:

Coordenadas Geográficas e UTM, conforme modelo abaixo:

Rodovia:		Trecho:				
Nº Bacia	Localização (estaca)	Nome do curso d'água	Coordenadas			
			Latitude	Longitude	Norte	Este

- Mapa de Bacias na mesma escala da carta do IBGE, sendo que a escala deve ser indicada no selo do formato;
- Legenda, com cores diferentes, para a indicação do trecho em projeto, para a limitação das bacias hidrográficas, para a indicação do talvegue principal e para a numeração da bacia;
- Trecho estaqueado no mapa de bacias (a indicação do estaqueamento pode ser em intervalos de 50 em 50 estacas ou intervalos maiores, se necessário);
- Estudo Hidráulico das pontes existentes e a construir:
 - Planta na escala 1:200 (no mínimo) e perfil H = V = 1:100 (no mínimo) da travessia. A planta deverá conter os "off-sets" do encabeçamento e no perfil deverá constar o N.A mínimo, máxima cheia histórica e de projeto (TR = 50 e TR = 100 anos) e a viga principal (longarina) da ponte;
 - Perfil longitudinal do fundo do rio e da linha d'água no local da instalação da ponte, abrangendo uma extensão mínima de 50 a 100 m à montante e à jusante do eixo, desde que atinja no mínimo 30 cm de desnível.

- Apresentar a solução de proteção contra erosão para os encabeçamentos da ponte, quando forem necessários, em planta e perfil.

• Para a elaboração do **mapa de bacias**, recomenda-se:

- Numerar, no mapa de bacias, somente as bacias com grotas definidas. As bacias difusas, não devem ser numeradas e nem incluídas na planilha de cálculo de vazões dos Estudos Hidrológicos. As obras referentes às bacias difusas devem ser incluídas somente nas Listagens do projeto;

- Ao se indicar as bacias difusas no mapa, estas devem ter legenda indicando que se trata de uma bacia difusa.

4 • Drenagem Superficial

O projeto de drenagem superficial tem como objetivo o dimensionamento dos dispositivos para que tenham capacidade de coletar e conduzir as águas que precipitam sobre a rodovia e suas adjacências, para um local de deságue seguro, garantindo a integridade do corpo estradal e o fluxo contínuo dos veículos com segurança.

O cuidado principal que se deve ter num projeto de drenagem superficial é o seu local de deságue.

É muito importante o projetista identificar com segurança os locais onde poderá ocorrer erosão no deságue dos dispositivos de drenagem superficial, e uma referência a ser consultada para a tomada de decisão é a tabela abaixo, fonte Manual de Drenagem de Rodovias DNIT - 2007, sobre a velocidade máxima admissível para os diversos tipos de solo;

COBERTURA SUPERFICIAL	Velocidade máxima (m/s)
Gramma comum firmemente implantada	1,50 - 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 - 1,20
Argila	0,80 - 1,30
Argila coloidal	1,30 - 1,80
Lodo	0,35 - 0,85
Areia fina	0,30 - 0,40
Areia média	0,35 - 0,45
Cascalho fino	0,50 - 0,80
Silte	0,70 - 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento portland	4,50
Aglomerados resistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 - 4,00

Além da tabela anterior mostrada, outro fator importante a ser considerado é a verificação de campo, pois de acordo com a bibliografia existente sobre velocidades máximas de erosão de solos, haveria necessidade de dispositivos de proteção (dissipadores de energia) praticamente em todos os deságües, entretanto o comportamento de campo não confirma totalmente os valores estabelecidos, o que vem a comprovar a importância da observação de campo. O projetista deverá visitar trechos pavimentados próximo ao local do projeto para observar e analisar os locais que estão se comportando bem, sem erosão mesmo não tendo dissipador, para que possa aplicar o mesmo critério, mesma concepção no projeto em elaboração.

A necessidade ou não da proteção no local de deságüe está diretamente ligada às condições do solo e principalmente sua geomorfologia.

O projeto de drenagem superficial está ligado diretamente aos custos de manutenção, ou seja, quanto mais perfeito for o projeto de drenagem, menores serão os serviços de manutenção.

Nos Projetos de Drenagem de Rodovias procura-se sempre utilizar os projetos tipo constantes do Caderno de Dispositivos de Drenagem do DNIT ou dos Departamentos de Estradas de Rodagem Estaduais DERs.

Obs: *Caso o dispositivo de drenagem projetado não faça parte do "Caderno de Dispositivos de Drenagem Padrão" do órgão contratante, deverá ser apresentado no projeto de drenagem o seu desenho (projeto e detalhamento) com os quantitativos de materiais e serviços.*

4.1 • Valetas de Proteção de Corte e Aterro

Valeta de Proteção Corte - Tem como objetivos, impedir que as águas procedentes das encostas de montante atinjam a rodovia, de forma que não haja uma sobrecarga de volume d'água na sarjeta (risco de aquaplanagem) e reduzir os riscos de erosões/desestabilização do talude de corte, garantindo assim sua estabilidade.

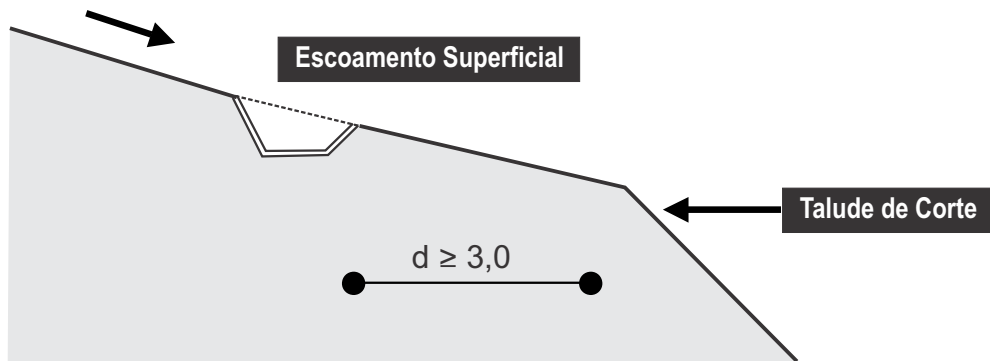
Valeta de Proteção de Aterro: Tem como objetivo proteger o pé da saia de aterro, para que não ocorra erosão provocada pelas águas procedentes das encostas.

A valeta pode ter a forma retangular ou trapezoidal, sendo que a trapezoidal possuiu uma melhor eficiência hidráulica.

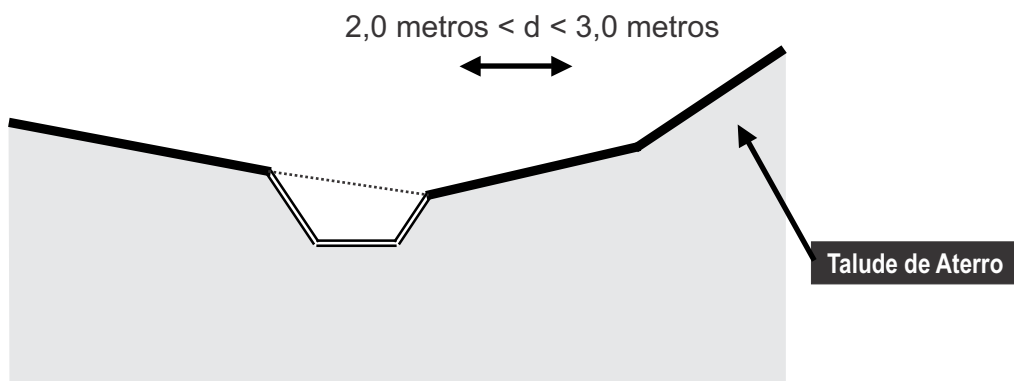
Recomenda-se que sua localização seja a uma distância mínima de 3.00 m da linha de off-set (crista do corte e/ou pé do aterro), que o material removido na escavação seja removido e transportado até local adequado.

Nos cadernos de projetos tipo de dispositivos de drenagem existentes no Brasil, exceto o do DER-MG é recomendado que o material escavado da valeta de proteção de corte seja depositado no lado de jusante e que seja apilado, porém este é um serviço que quase sempre não é realizado e que traz como conseqüências uma maior manutenção no serviço de limpeza das sarjetas de corte, pois como o material escavado não é apilado, é apenas depositado solto sem nenhum tipo de adensamento, nas primeiras chuvas ele é carregado para as sarjetas de corte aumentando os serviços de manutenção. Portanto recomenda-se que o material escavado da Valeta de Proteção de Corte seja removido para local adequado.

• **Valeta de Proteção de Corte**



• **Valeta de Proteção de Aterro**



Recomenda-se também a não fazer cantos com ângulos superiores a 45° , no caso de não ser possível deve-se colocar uma curva.

As águas coletadas pelas valetas serão conduzidas para o bueiro mais próximo, ou para a linha d'água mais próxima. Nos casos onde for projetada valeta revestida de concreto e o seu deságüe ocorrer em solo natural, e este for propenso à erosão, deverá ser projetado dissipador de energia na sua saída/local de deságüe.

• **Dimensionamento hidráulico**

Para o dimensionamento hidráulico das valetas, calcula-se a descarga de contribuição, através do método racional.

A expressão da fórmula racional é: **1 •**
$$Q = \frac{c \cdot i \cdot A}{3,6 \cdot 10^6}$$

Onde:

- Q** = vazão de contribuição em m³/s;
- c** = coeficiente de escoamento/coeficiente de deflúvio, adimensional, fixado de acordo com complexo solo- cobertura vegetal e declividade do terreno, dependendo do tipo de tabela a ser utilizada;
- i** = intensidade de precipitação, em mm/h para a chuva de projeto, fixada no estudo hidrológico;
- A** = área de contribuição (limitada pela própria valeta e pela linha do divisor de águas da vertente a montante) em m².

Após o cálculo da vazão de contribuição, procede-se o dimensionamento hidráulico através da fórmula de Manning associada a equação da continuidade.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \text{ (Fórmula de Manning)}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

2 • $Q = A \cdot V \text{ (equação da continuidade)}$

onde:

- V** = velocidade de escoamento, em m/s;
- I** = declividade longitudinal da valeta, em m/m;
- n** = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional, função do tipo de revestimento adotado;
- R** = raio hidráulico, em m;
- A** = área molhada, em m²;
- P** = perímetro molhado;
- Q** = vazão admissível ou capacidade de escoamento na valeta, em m³/s;

No dimensionamento hidráulico a vazão da equação 2 que mede a capacidade hidráulica da valeta de proteção deverá ser maior que a vazão da equação 1 que é a vazão de contribuição. Portanto:

$$\text{equação 2 - } Q = A \cdot V > \text{equação 1 - } Q = \frac{c \cdot i \cdot A}{3,6 \cdot 10^6}$$

Existem dois tipos de Valeta de Proteção de Corte/Aterro:

- Valeta de Proteção de Corte/Aterro em Solo (**sem revestimento**) quando a valeta é implantada em solo coesivo, ou seja, solo argiloso ou com predominância argilosa.
- Valeta de Proteção de Corte/Aterro revestida em Concreto Quando a valeta é implantada em solos não coesivos, que são os solos siltosos, arenosos ou com predominância arenosa ou siltosa. Recomenda-se neste caso que o revestimento em concreto tenha 7,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias $F_{ck} > 11,0$ Mpa.

A valeta de Proteção revestida com grama não é recomendada, pois quando da execução dos serviços de manutenção, este revestimento é removido. Portanto o seu tempo de vida útil é limitado aos primeiros serviços de manutenção.

Pode-se concluir que "O revestimento de uma valeta de proteção de corte ou de aterro é definido em função da natureza do solo".

Para o projeto de Valetas de Proteção utilizam-se:

- as seções transversais para identificar através da inclinação do terreno a necessidade ou não da sua indicação;
- o boletim de sondagem do subleito, para verificação do tipo de solo no local da valeta, para definir o seu tipo de revestimento;
- e principalmente a visita a campo, que o projetista de posse do projeto feito no escritório, as listagens dos locais, lado e tipo da valeta, poderá fazer a confirmação visual do tipo de solo em cada segmento de corte e aterro com exatidão, podendo identificar os tipos de dispositivos e onde serão necessários.

Nos projetos de Drenagem procura-se sempre utilizar os projetos tipo constantes do Caderno de Dispositivos de Drenagem do DNIT ou dos DERs, quando existir. Nestes casos quase sempre não há a necessidade de se calcular o comprimento crítico, tendo em vista que na definição de suas dimensões, estas foram consideradas para funcionar com certa folga para que houvesse tempo para a execução dos serviços de manutenção.

Serão apresentadas abaixo situações onde existem pontos obrigatórios de descarga dos volumes de água interceptados e conduzidos pela valeta:

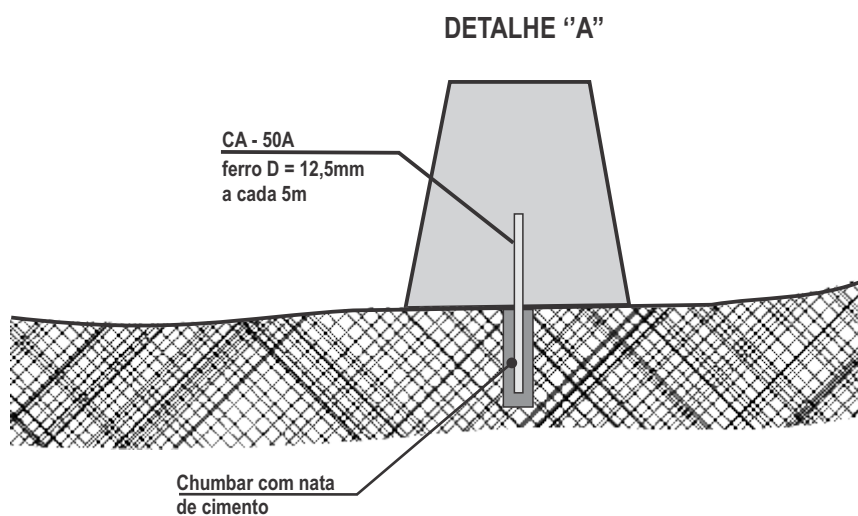
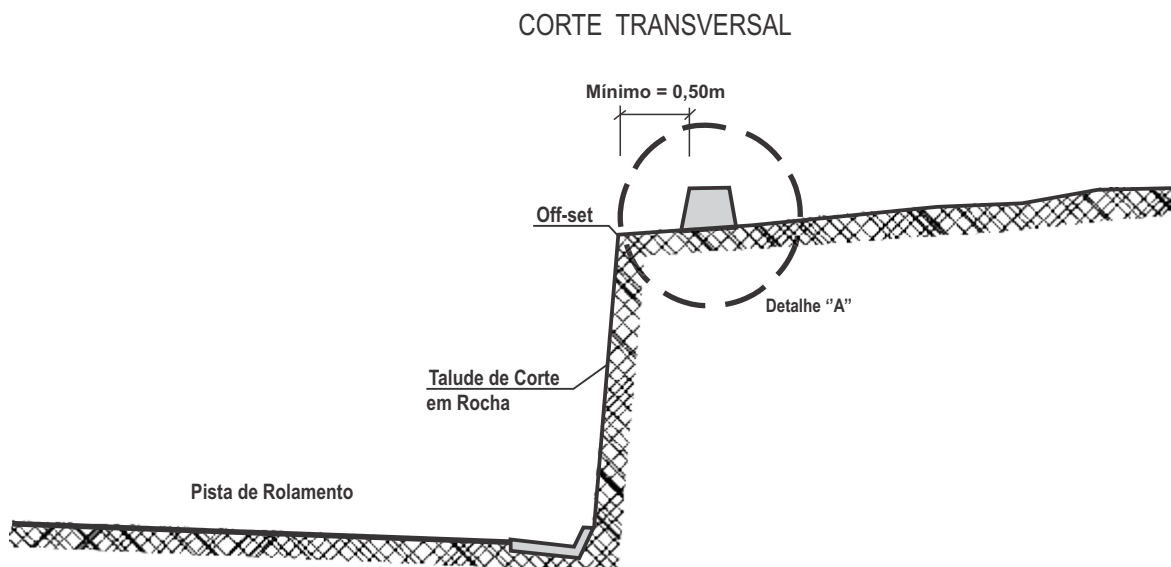
- Cortes muito extensos e de pequena declividade onde o comprimento crítico da valeta é atingido e o aumento da capacidade de vazão obrigaria a construção de seção com grandes dimensões;
- Existência de um talvegue secundário bem definido, ocasionando a concentração de água num único local;

- Perfil longitudinal da valeta sinuoso com vários pontos baixos, obrigando, para que haja em escoamento contínuo, grandes profundidades da valeta. Nesses casos, o dispositivo de saída d'água da valeta de proteção de corte para a plataforma é comumente denominado descida d'água.

4.1.1 • Mureta Proteção em Corte em Rocha

Nos cortes em rocha ou encostas com solo rochoso, deverá ser implantado a Mureta de Proteção (meio fio) com a finalidade de interceptar as águas da encosta e conduzir até o local adequado impedindo que estas venham a sobrecarregar as sarjetas de bordo de pista.

MPC - MURETA PARA PROTEÇÃO DE CORTE



4.2 • Sarjetas de Corte e Aterro

- Sarjeta de Corte

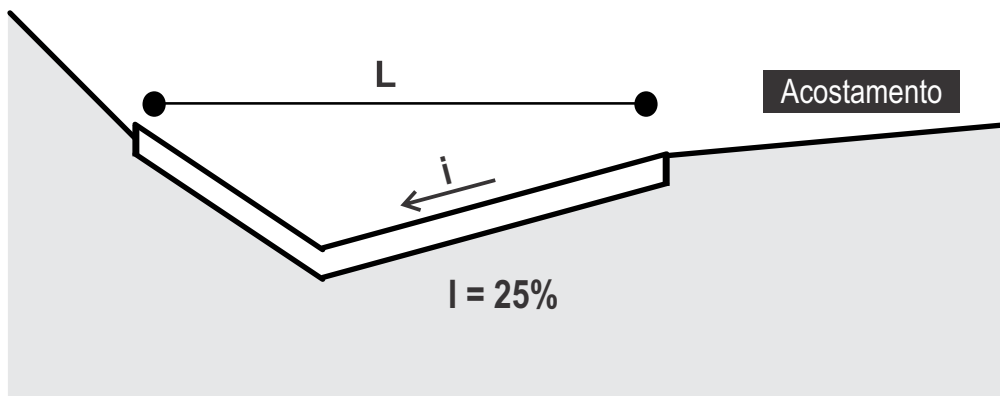
Tem como objetivo captar as águas que precipitam sobre a plataforma e taludes de corte e conduzi-las, longitudinalmente à rodovia, até a transição entre o corte e o aterro, de forma a permitir a saída lateral para o terreno natural ou, então, para a caixa coletora de um bueiro de greide.

As principais funções da sarjeta de corte revestida em concreto são:

- Impedir a erosão do bordo do pavimento e do pé do corte;
- Aumentar o comprimento crítico (extensão do comprimento de desague);
- Impedir a travessia de água na pista, impedindo que ocorra o efeito de aquaplanagem em pontos localizados da rodovia.

As sarjetas de corte podem ter diversos tipos de seção, sendo mais comum a de forma triangular, obedecendo aos seguintes critérios:

Sarjeta Triangular como mostra a figura abaixo, a sarjeta deverá ter do lado de montante a declividade máxima de 25%. Segundo estudos realizados nos Estados Unidos, a declividade acima de 25% gera uma condição de insegurança para os veículos.



Obs: A sarjeta de concreto em corte "SCC" tem o seu comprimento (L) limitado, sendo definido pela seção transversal tipo indicada para o projeto.

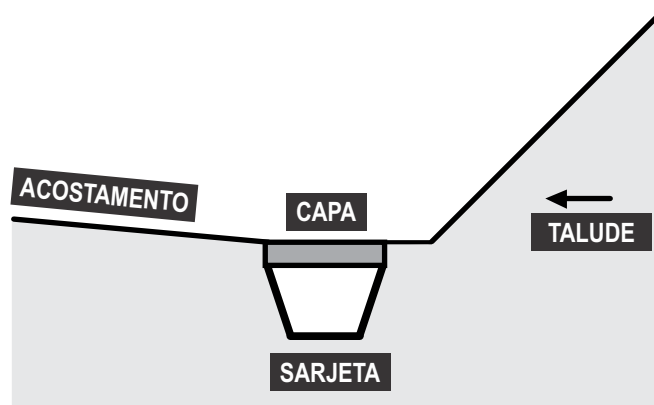
• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- Sarjeta Trapezoidal - é adotada quando a sarjeta triangular de máximas dimensões permitidas for insuficiente para atender às condições impostas pela descarga de projeto e ao comprimento crítico.

Existem dois tipos de sarjeta trapezoidal: com barreira e com capa

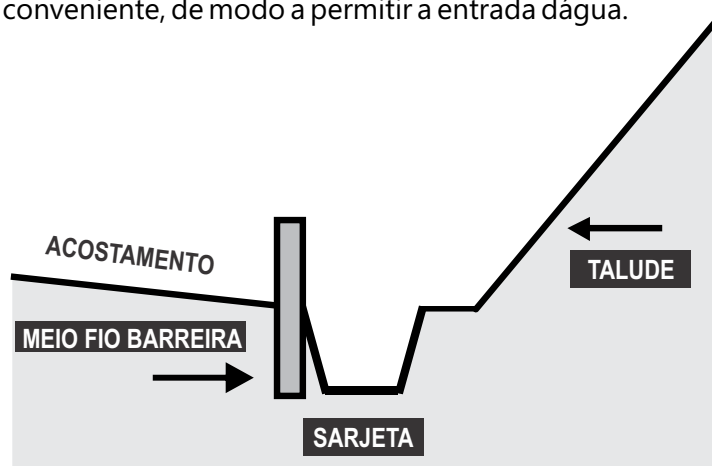
- com capa:

Pode-se projetar a sarjeta capeada descontinuamente do modo que permita a entrada d'água pela abertura existente entre as duas placas. As placas são de concreto armado.



- com barreira:

A barreira constituída com meio fio tem a finalidade de servir como balizador orientando os veículos para afastarem daquele ponto. Por outro lado, possui aberturas calculadas, em espaçamento conveniente, de modo a permitir a entrada d'água.



Esta solução deverá se utilizada somente quando se esgotarem todas as outras soluções possíveis e mais seguras, pois com o tempo os meio fios são quebrados pelos veículos eliminando a proteção visual que ele exercia. Mesmo com os meio fios, durante a noite e com chuva, não oferecem segurança, pois não são visíveis.

• **Dimensionamento Cálculo do comprimento crítico**

Para o dimensionamento de uma sarjeta de corte, utilizamos para o cálculo da vazão de contribuição a fórmula do Método Racional:

$$Q = \frac{c.i.A}{3,6.10^6}$$

A sarjeta dimensionada deverá possuir uma área com capacidade maior ou igual a da vazão de contribuição. O cálculo da vazão da sarjeta é feito utilizando a Equação da Continuidade associada a fórmula de Manning:

$$Q' = S.V$$

A fórmula de manning nos dá

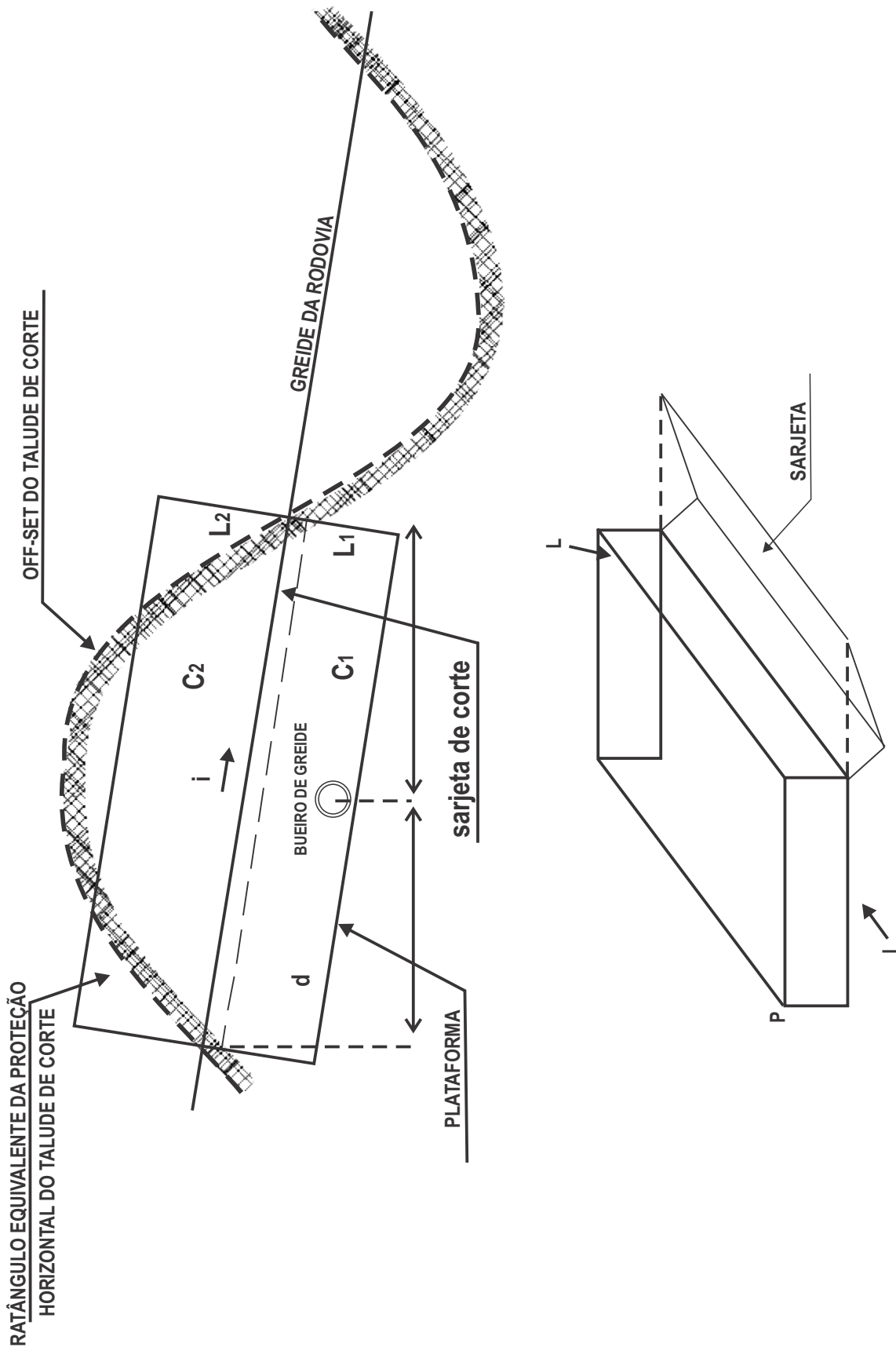
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

• **Bacia de Contribuição para Sarjeta de Corte**

A bacia de contribuição para uma sarjeta é um paralelepípedo de altura igual à precipitação pluvial(P) cuja largura (l) é a largura do implúvio e o comprimento(L) é o comprimento crítico a se determinar.

A largura de implúvio (l) é a projeção horizontal da largura de contribuição.

O comprimento crítico(L) é definido como o comprimento máximo de utilização da sarjeta, para que não haja transbordamento d'água para a pista que afetaria a segurança da via através da aquaplanagem e/ou o transbordamento para o talude de aterro onde poderá iniciar um processo erosivo.



Onde:

L_1 = faixa da plataforma da rodovia que contribui para a sarjeta. Será a largura da semiplataforma nos trechos em tangente e toda a plataforma contribuinte para a sarjeta na borda interna das curvas. Será nulo ou se restringirá à largura do assentamento contíguo para a sarjeta na borda externa das curvas;

L_2 = largura da proteção horizontal equivalente a $2/3$ da maior altura do talude de corte;

C_1 = coeficiente de escoamento superficial da plataforma da rodovia;

C_2 = coeficiente de escoamento superficial do talude de corte.

Havendo escalonamento de taludes, a largura máxima L_2 a ser considerada no cálculo do implúvio é referente à projeção horizontal do primeiro escalonamento, já que os demais terão as águas conduzidas por meio de dispositivos próprios para fora do corte.

A valeta de corte é implantada a uma distância de 3,0 m da crista do corte. Portanto esta largura deverá ser considerada no cálculo da vazão da bacia de contribuição e será designada por L_3 .

Determinação do comprimento crítico pelo Método de Equivalência de Vazões.

A vazão decorrente de precipitações pluviais é dada pela fórmula:

$$1 \cdot Q = \frac{c \cdot i \cdot A}{3,6 \cdot 10^6}$$

Onde:

Q = descarga de contribuição em m^3/s ;

c = coeficiente de escoamento, adimensional, fixado de acordo como complexo solo-cobertura vegetal e declividade do terreno;

i = intensidade de precipitação, em mm/h para a chuva de projeto, fixada no estudo hidrológico;

A = área de contribuição, em m^2 ($A = L \times l$)

L = comprimento crítico

l = largura de implúvio

$$1 \cdot Q = \frac{c \cdot i \cdot L \cdot l}{3,6 \cdot 10^6}$$

Para sarjetas de corte adota-se $c = 0,70$ e para sarjetas de aterro $c = 0,90$.

A vazão Q deverá ser equivalente à vazão Q' na sarjeta:

$$2 - Q' = S \cdot V$$

A fórmula de Manning nos dá

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Portanto:

$$Q' = S \cdot \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

Onde:

- V** = velocidade de escoamento, em m/s;
- I** = declividade longitudinal do greide, em m/m;
- n** = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional, função do tipo de revestimento adotado;
- R** = raio hidráulico, em m;
- A** = área molhada, em m²;
- P** = perímetro molhado;
- S** = seção de vazão, em m²;
- Q** = vazão em m³/s;

Determinação da largura de implúvio (l)

A largura de implúvio, no caso mais geral, é uma soma de 4 parcelas:

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

l_1 = contribuição da pista de rolamento;

l_2 = contribuição do acostamento;

l_3 = contribuição do talude corte;

l_4 = contribuição da área compreendida entre a crista do corte e a valeta de proteção.

Para o valor de l_3 , toma-se, normalmente, 2/3 da altura máxima do corte

Igualando as duas equações:

$$\frac{c.i.L.l}{3,6.10^6} = S \cdot \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

Portanto o comprimento crítico de uma sarjeta é dado pela fórmula:

$$L = \frac{3,6 \times 10^6 \times S \times R^{2/3} \times I^{0,5}}{n \times c \times i \times l}$$

Por ser mais prática a sua utilização, em um projeto de drenagem é elaborada uma tabela de comprimento crítico para cada sarjeta considerando todas as situações de declividade de greide e de largura de implúvio.

A seguir será apresentado um modelo de tabela de comprimento crítico de sarjeta de corte.

Projeto de Drenagem Comprimento Crítico de Sarjeta de Corte								
TIPO:	SCC 50/15							
i=m/m	LARGURA DE IMPLÚVIO (m)							
	7	10	12	15	18	21	24	27
0,005	89	62	51	41	34	29	25	23
0,01	126	88	73	58	48	42	36	32
0,015	156	107	90	71	59	51	45	39
0,02	178	125	103	82	69	59	51	46
0,025	199	139	115	92	77	66	57	51
0,03	218	152	126	102	84	72	63	56
0,04	252	176	147	117	98	83	73	65
0,05	282	197	164	131	109	93	81	72
0,06	309	216	180	144	120	103	90	80
0,07	363	233	195	155	129	111	97	86
0,08	334	249	207	166	138	118	103	92
0,09	378	264	220	176	147	126	110	98

Não é recomendada a utilização de sarjeta de corte com comprimento superior a 250,0m, mesmo que o cálculo do comprimento crítico permita.

Comprimentos muito longos aumentam a probabilidade de ocorrer alguma obstrução, que pode ser uma lata ou garrafa de refrigerante, sacolas de plástico, pedra e outros, que trará como conseqüências a inundação da pista colocando em risco a vida dos usuários da via em vista do risco de perder o controle do veículo devido à aquaplanagem.

O revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 7,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 11,0$ Mpa.

A seguir será apresentado um exemplo de cálculo de comprimento crítico de sarjeta de corte.

Exemplo:

No trecho que liga a cidade de Belo Horizonte a Nova Lima existe um corte com 140,0m de comprimento com greide com declividade longitudinal de 1,5%, com as seguintes características:

- A largura disponível para a implantação da sarjeta é de 0,90m;
- O segmento do corte é em tangente com uma semi-plataforma (incluindo pista e acostamento) de 5,50m;
- O local onde o talude de corte possuiu a maior altura é de 6,0m;
- Revestimento da sarjeta em concreto acabado com desempenadora;
- O posto adotado foi o de Belo Horizonte, equação do Otto Pfastetter.

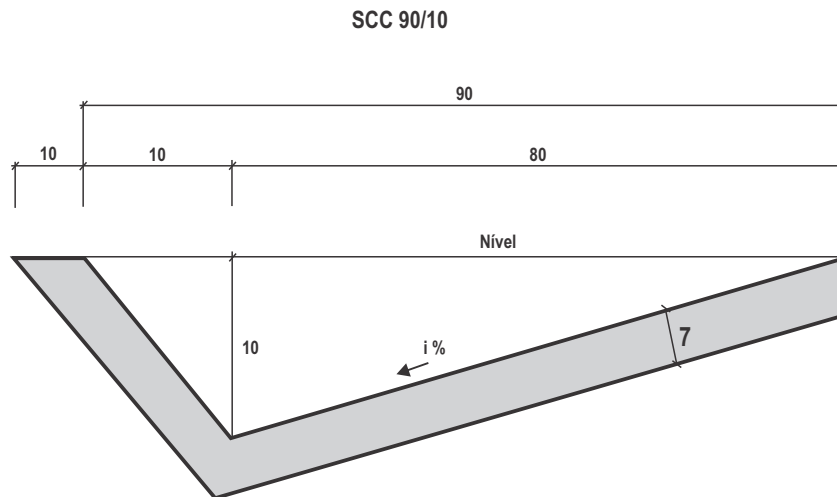
Pergunta: Qual a sarjeta que deverá ser implantada para vencer os 140,00 m de comprimento em tangente com uma declividade de greide de 1,5%?

Solução deverá seguir as seguintes etapas

- 1.** Definir as dimensões da sarjeta em função da largura disponível que foi definida pelo setor de Projeto Geométrico.

Neste exemplo a largura para implantação da sarjeta de corte é de 0,90m. A sarjeta deverá ser uma SCC 90/? (sarjeta de corte em concreto com 90,00cm de largura e profundidade a ser definida por tentativa);

- 2.** Por questões de segurança viária devemos calcular o comprimento crítico sempre com a menor altura disponível das sarjetas constantes no Caderno de Dispositivos de Drenagem Projeto Tipo, do órgão para o qual estamos projetando. Neste exemplo o projeto é para o DER-MG, portanto faremos a primeira tentativa com a SCC 90/10. Caso o comprimento crítico não atenda, deverá ser calculado o comprimento crítico para a SCC 90/15. É importante lembrar que por questões de segurança do usuário da via, não devemos projetar sarjeta onde a declividade do espelho seja superior a 25%.



O comprimento crítico de uma sarjeta é dado pela fórmula:

$$L = \frac{3,6 \times 10^6 \times S \times R^{2/3} \times I^{0,5}}{n \times c \times i \times l}$$

S= seção de vazão da sarjeta, em m²;

Iremos fazer por tentativa considerar a profundidade da sarjeta de 10,0cm, portanto a sarjeta será uma SCC 90/10 e a sua seção de vazão:

$$S = \frac{B \times h}{2}$$

Portanto

$$S = \frac{0,9 \times 0,1}{2} \Rightarrow S = 0,045m^2$$

R = raio hidráulico, em m;

R = S/P

S = área molhada da sarjeta, em m²;

P = perímetro molhado da sarjeta;

I = declividade longitudinal do greide = 1,5%;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional, função do tipo de revestimento adotado concreto acabado com desempenadora = 0,015;

c = coeficiente de escoamento, adimensional, fixado de acordo como complexo solo-cobertura vegetal e declividade do terreno = 0,70;

I = intensidade de precipitação, em mm/h para a chuva de projeto, fixada no Estudo Hidrológico (TR= 10 anos e Tc = 10 minutos, Posto de Belo Horizonte)

i = 129,84mm/h;

l = largura de implúvio

Determinação da largura de implúvio (l)

A largura de implúvio, no caso mais geral, é uma soma de 3 parcelas:

$$l = l_1 + l_2 + l_3$$

l_1 = contribuição da pista de rolamento + acostamento = 5,50m;

l_2 = contribuição do talude corte = 4,0m (2/3 da maior altura que é de 6,0m);

l_3 = contribuição da área compreendida entre a crista do corte e a valeta de proteção = 3,00m.

$$\text{Portanto } l = 5,50 + 4,0 + 3,0$$

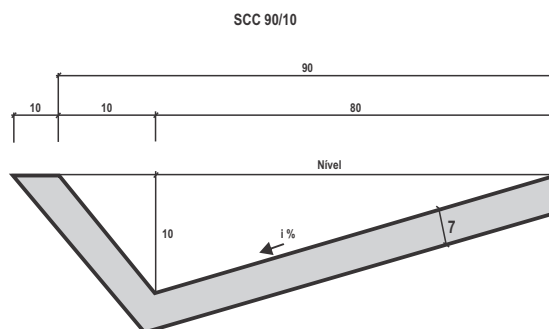
$$l = 12,50m$$

Calcular o raio hidráulico $R = S/P$

$$S = \frac{(0,10 + 0,80) \times 0,10}{2}$$

$$S = 0,045m^2$$

Aplicar o Teorema de Pitágoras para acharmos os comprimentos laterais da sarjeta para que possamos obter o perímetro molhado:



$$X^2 = 0,10^2 + 0,10^2 \text{ portanto } X^2 = 0,01 + 0,01$$

$$X = \sqrt{0,01 + 0,01} \quad X = 0,14m$$

$$Y^2 = 0,10^2 + 0,80^2 \text{ portanto } Y^2 = 0,01 + 0,64$$

$$Y = \sqrt{0,01 + 0,64} \quad Y = 0,81m$$

$$\text{Perímetro molhado} = X + Y$$

$$P = 0,95m$$

$$R = \frac{S}{P} \quad R = \frac{0,045}{0,95}$$

$$R = 0,047m$$

$$L = \frac{3,6 \times 10^6 \times 0,045 \times 0,047^{2/3} \times 0,015^{0,5}}{0,015 \times 0,70 \times 129,84 \times 12,50}$$

Portanto $L = 150,0m$

Comprimento crítico 150,0m > extensão do corte de 140,0m

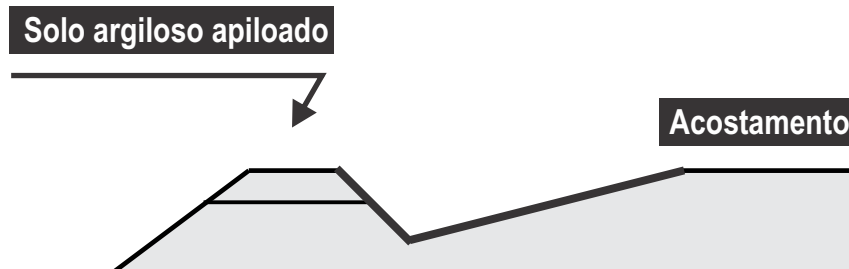
Conclusão

A sarjeta SCC 90/10 poderá ser utilizada, pois atende ao comprimento crítico.

• Sarjeta de Aterro

Tem como objetivo captar as águas precipitadas sobre a plataforma de modo a impedir que provoquem erosões na borda do acostamento e ou no talude do aterro conduzindo-as ao local de deságue seguro.

É dimensionada de forma análoga a de corte, porém a contribuição a ser considerada nos cálculos será somente da pista.



O cálculo do comprimento procede da mesma forma que na sarjeta de corte, mudando o coeficiente de rugosidade (n) e a largura de implúvio que neste caso temos somente a contribuição de meia pista (segmento de tangente) ou pista inteira (segmento em curva).

Recomenda-se a utilização de sarjeta de aterro com a forma triangular, porém respeitando a declividade máxima do espelho de 25% (segurança).

$$L = \frac{3,6 \times 10^6 \times S \times R^{2/3} \times I^{0,5}}{n \times c \times i \times l}$$

L = comprimento crítico

R = raio hidráulico, em m;

S = seção de vazão, em m²;

c = coeficiente de escoamento, adimensional, fixado de acordo como complexo solo-cobertura vegetal e declividade do terreno;

I = intensidade de precipitação, em mm/h para a chuva de projeto, fixada no estudo hidrológico;

l = largura de implúvio

i = declividade longitudinal da valeta, em m/m;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional, função do tipo de revestimento adotado;

Por ser mais prática a sua utilização, em um projeto de drenagem é elaborada uma tabela de comprimento crítico para cada sarjeta considerando todas as situações de declividade de greide e de largura de implúvio.

A seguir será apresentado um modelo de tabela de comprimento crítico de sarjeta de aterro:

Projeto de Drenagem - Comprimento Crítico de Sarjeta de Aterro					
TIPO	SCA 30/15			SCA 30/20	
	LARGURA DE IMPLÚVIO (m)			LARGURA DE IMPLÚVIO (m)	
	3,7	8,0		3,7	8,0
0,005	104	47	0,005	195	89
0,0075	128	58	0,0075	240	109
0,01	148	67	0,01	276	126
0,0125	165	75	0,0125	310	141
0,015	181	82	0,015		154
0,0175	195	89	0,0175		167
0,02	209	95	0,02		178
0,0225	222	101	0,0225		189
0,025	234	106	0,025		201
0,0275	245	107	0,0275		209
0,03	256	116	0,03		218
0,0325	267	121	0,0325		228
0,035	277	126	0,035		236
0,0375	287	130	0,0375		244
0,04		135	0,04		253
0,0425		138	0,0425		260
0,045		143	0,045		268
0,0475		147	0,0475		276
0,05		150	0,05		282
0,055		158	0,055		
0,06		165	0,06		
0,065		172	0,065		
0,07		178	0,07		
0,075		184	0,075		
0,08		191	0,08		

Largura de implúvio para sarjeta de aterro é considerado somente a semi pista quando o segmento estiver em tangente e toda a largura da pista em locais de curva.

Não é recomendada a utilização de sarjeta de aterro com comprimento superior a 150,0m, mesmo que o cálculo do comprimento crítico permita.

Comprimentos muito longos aumentam a probabilidade de ocorrer alguma obstrução, conforme já relatado anteriormente na sarjeta de corte, porém neste caso além dos riscos aos usuários já citados, poderá também ocorrer erosões nos taludes de aterro.

O revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 7,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 11,0$ Mpa.

4.3 • Saídas D'água

4.3.1 • Saídas D'água de Corte

Saída d'água de corte é o dispositivo que capta as águas da sarjeta de corte, desaguando-as no terreno natural, conduzindo-as para o canal de lançamento ou descida d'água.

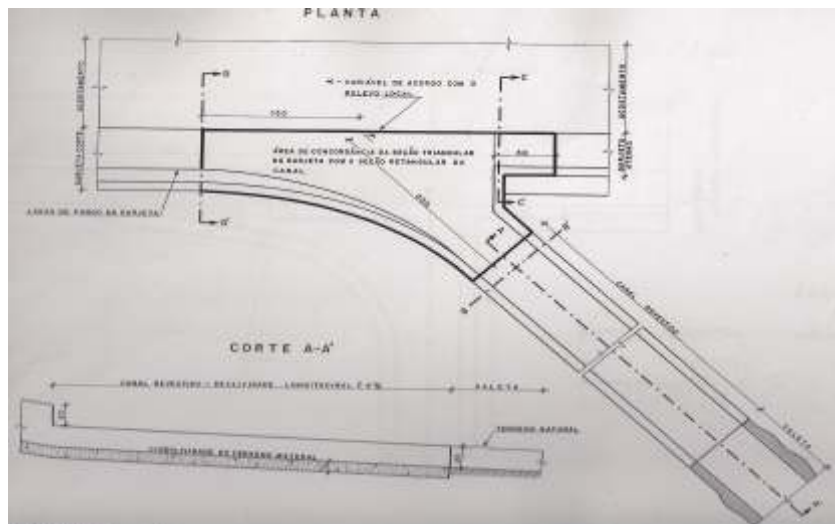
Serão posicionadas nos pontos de passagem de corte para aterro e ao final das sarjetas de corte, conduzindo as águas superficiais para fora do corpo estradal.

Para o deságue das sarjetas que não atinjam valor superior a 80% de sua capacidade máxima, desde que as condições topográficas permitam, a própria sarjeta poderá ser utilizada para fazer a função deste dispositivo.

Em todos os tipos de saída d'água, o terreno de fundação deverá ser regularizado e apiloado manualmente. O concreto deverá ser constituído de cimento Portland, água e agregados, com resistência $F_{ck} > 15,0$ Mpa.

As formas deverão ser constituídas de chapas de compensado resinado travadas de forma a proporcionar paredes lisas e sem deformações.

O DER-MG tem em seu Caderno de Projetos Tipo de Drenagem um dispositivo padrão, conforme desenho apresentado abaixo.



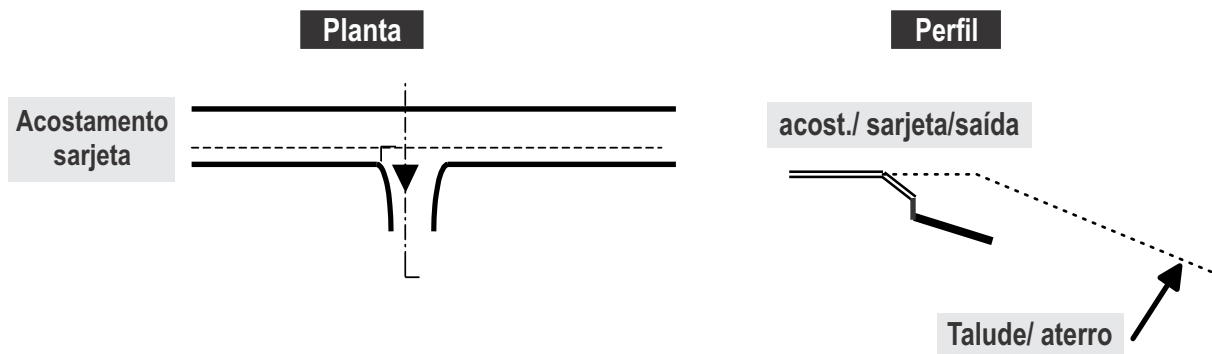
O DNIT não possuiu um dispositivo padrão para a saída d'água de corte, utiliza a própria sarjeta que poderá sofrer uma deflexão (máximo 45°), para que possa ser direcionada até o local adequado.

4.3.2 • Saídas D'água de Aterro

As saídas d'água de aterro, também denominadas entradas d'água são dispositivos que tem como objetivo coletar as águas das sarjetas de aterro, conduzindo-as para as descidas d'água.

São dois os tipos de saídas d'água de aterro:

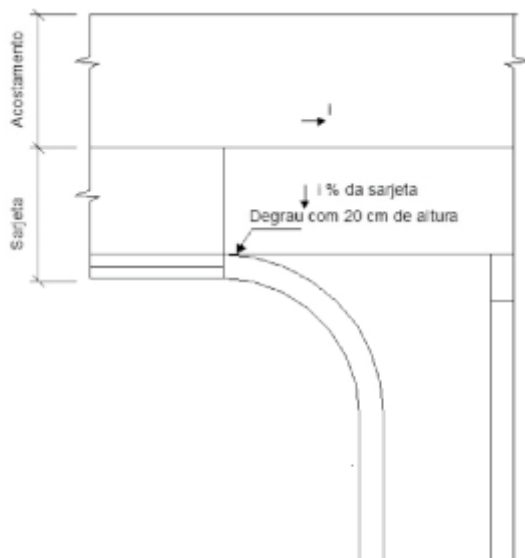
- Saída d'água simples: é utilizada quando é atingido o ponto crítico da sarjeta;
- Saída d'água dupla: nos pontos baixos das curvas verticais côncavas.



A seguir serão apresentados os Projetos Tipo de saídas d'água de aterro:

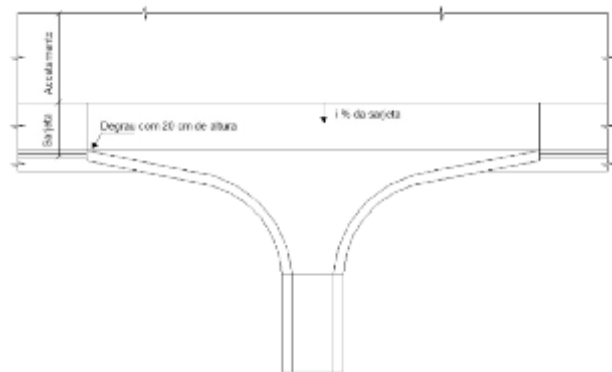
• Saída d'água simples

Saída d'água simples, em talude de aterro - tipo 02



• Saída d'água dupla de aterro

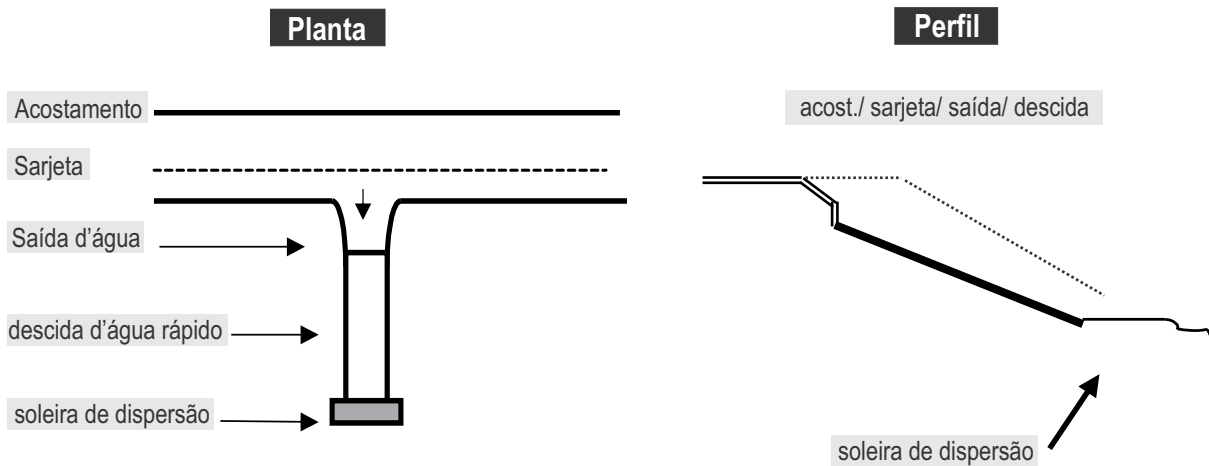
Saída d'água dupla em talude de aterro - tipo 02



4.4 • Descidas D'água em Aterro

São dispositivos que tem como objetivo, conduzi-rem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico e nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, desaguando em terreno natural.

São dois os tipos de dispositivos de descida d'água: Rápido e em degraus.



• Dimensionamento Hidráulico para descida d'água do tipo Rápido:

O dimensionamento pode ser feito através da expressão empírica seguinte, fixando-se o valor da largura (L) e determinando-se o valor da altura (H).

$$Q = 2,07.L^{0,9} . H^{1,6}$$

Onde:

Q = Descarga de projeto a ser conduzida pela descida d'água, em m³/s;

L = Largura da descida d'água, em m;

H = Altura das paredes laterais da descida, em m.

Cálculo da velocidade no pé da descida.

$$V = \sqrt{2gh}$$

Onde:

V = velocidade no pé da descida, em m/s;

g = aceleração da gravidade (9,8 m/s);

h = altura do aterro, em m.

O objetivo da determinação da velocidade no pé da descida d'água é o dimensionamento da bacia de amortecimento e da necessidade ou não de dissipadores de energia.

Teoricamente a importância de se calcular a velocidade no pé da descida se dá no sentido de podermos definir a necessidade ou não de bacia de amortecimento e/ou dissipador. Na prática esta velocidade calculada, de pouco vale. A observação de campo com a verificação do comportamento do solo no local é muito importante para a definição de se utilizar o dissipador ou não.

A descida d'água tipo rápido, poderá ser em concreto simples ou em concreto armado, de acordo com as seguintes orientações:

- Concreto simples - aterros novos com altura menor que 3,00m e em aterro implantado, consolidado com o solo coesivo.
- Concreto armado - aterros novos com altura superior a 3,00m e em aterros implantados onde o solo não é coesivo.
- Aterro com altura maior que 3,0m e menor que 10,0m a descida d'água deverá ser do tipo rápido.
- Aterro com altura maior que 10,0m a descida d'água deverá em degraus.

O revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 15,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 15,0$ MPa.

No final de uma descida d'água de aterro, quando a topografia for plana e existir vegetação fechada ou do tipo grama, não haverá necessidade de implantar dissipador de energia, independentemente do tipo solo.

• **Descida d'água em degraus**

A descida d'água em degraus, poderá ser em concreto simples ou em concreto armado, dependendo do tipo de solo e das condições para sua implantação.

O revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 15,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 15,0$ MPa.

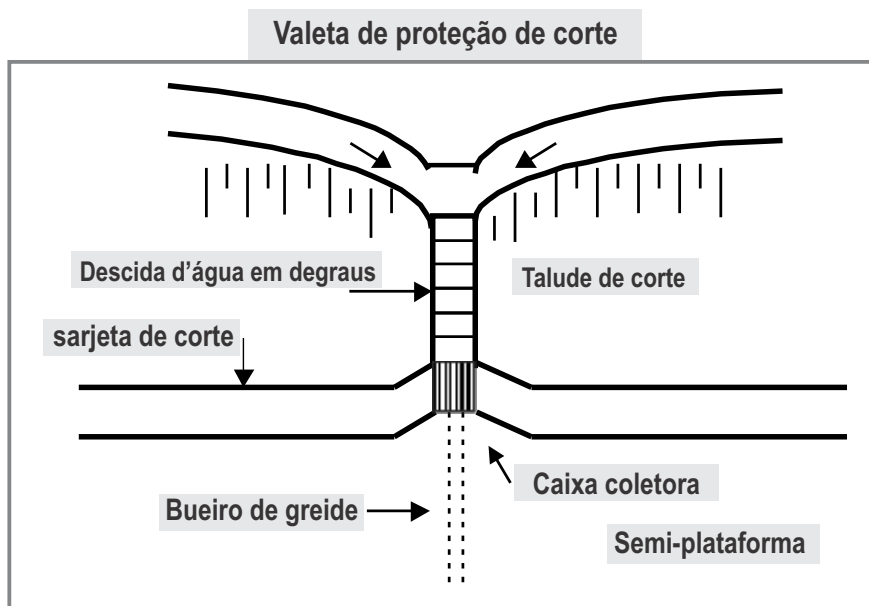
No final de uma descida d'água de aterro, quando a topografia for plana e existir vegetação do tipo grama, não haverá necessidade de implantar dissipador de energia.

4.5 • Descida D'água em Corte

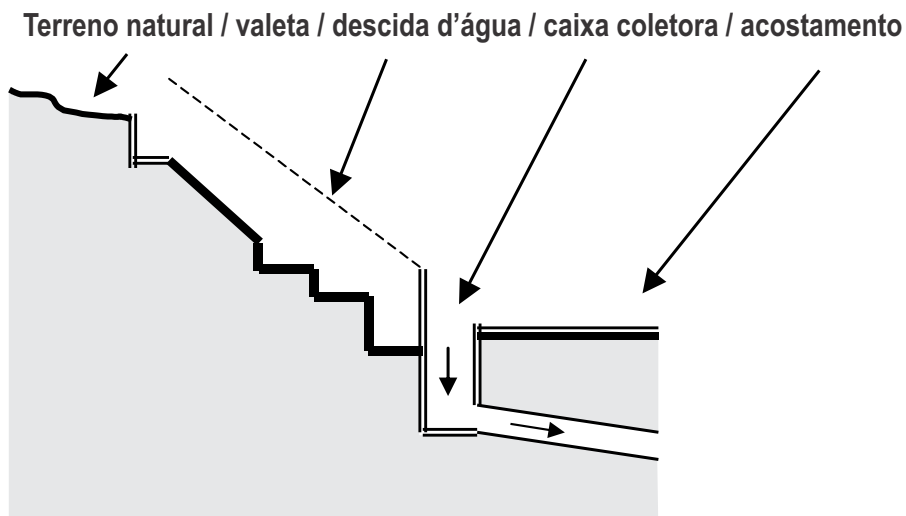
É o dispositivo que tem a finalidade de conduzir as águas proveniente da valeta de proteção de corte, promovendo o seu deságüe nas caixas coletoras dos bueiros de greide, de onde serão conduzidas para fora do corpo estradal.

A descida d'água em corte poderá ser em concreto simples ou em concreto armado, dependendo do tipo de solo e das condições para sua implantação.

Planta:



Corte:



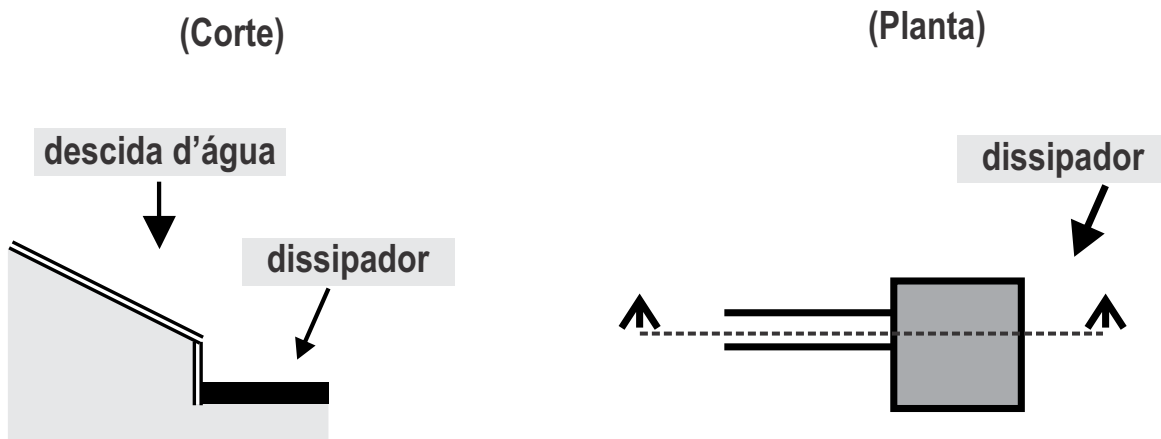
O revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 15,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 15,0$ MPa.

Os locais de descida d'água em corte, serão definidos através de:

- Uso das seções transversais, com a identificação dos pontos baixos das valetas ou pontos obrigatórios de descidas d'água. A forma mais simples de obter esta informação será através da elaboração de um gráfico (diagrama linear) utilizando as cotas de off-set da crista do corte contidas nas notas de serviço de terraplenagem;
- Visita a campo onde deverá ser confirmada a análise de escritório.

4.6 • Dissipadores de Energia

São dispositivos destinados a dissipar a energia do fluxo d'água, reduzindo conseqüentemente sua velocidade de modo que não haja risco de erosão no final das saídas d'água, descidas d'água, valetas de proteção e bueiros.



O dissipador deverá ser posicionado sempre no local de deságüe adequado.

Na execução do dissipador, o terreno de fundação deverá ser regularizado e apilado manualmente.

O dissipador é próprio para cada dispositivo.

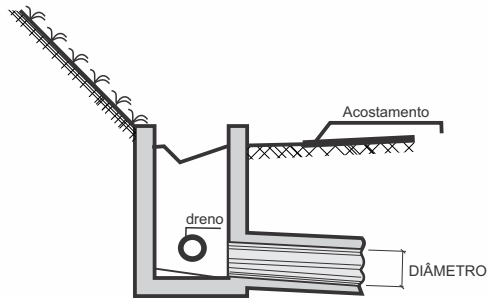
O concreto deverá ter resistência $F_{ck} > 15,0$ Mpa e a pedra de mão deverá ter um diâmetro maior ou igual a 25,0cm.

Obs: Para a definição correta dos locais onde serão necessários os dissipadores é fundamental que se faça uma viagem ao trecho em que se está trabalhando, e inspecionar outros trechos pavimentados próximo ao do projeto, que tenham o mesmo tipo de solo e o mesmo tipo de relevo, para poder avaliar o comportamento do solo nos locais de deságüe dos seguintes dispositivos: sarjetas, saídas e descidas d'água, valeta de proteção, jusante de bueiros de greide e jusante de bueiros de grotta, etc.

4.8 • Caixas Coletoras

As caixas coletoras têm por finalidade coletar as águas oriundas das sarjetas de corte, das descidas d'água dos cortes e talvegues, conduzindo-as para fora do corpo estradal através dos bueiros de greide ou bueiros de grotá.

Caixa Coletora com Desague do Dreno Profundo



A altura máxima da caixa coletora recomendável é de 2,50m, podendo chegar a casos extremos a 3,0m.

A altura máxima recomendada visa facilitar e proporcionar condições mais seguras na execução dos serviços de manutenção.

As caixas coletoras deverão ser posicionadas para dentro do corte, o mais afastado possível do bordo do pavimento. Esta recomendação visa dar maior segurança aos veículos e pedestres.

Mesmo na localização recomendada, deverá sempre ter uma tampa ou grelha de forma a promover uma maior segurança aos usuários da via. A tampa ou grelha deverá, sempre, ter a forma da sarjeta/dispositivo que estiver recebendo de forma que não haja nunca, algum degrau/ressalto que colocará em risco a segurança dos usuários da via.

4.8- Sarjetas de banquetá de Corte e Aterro

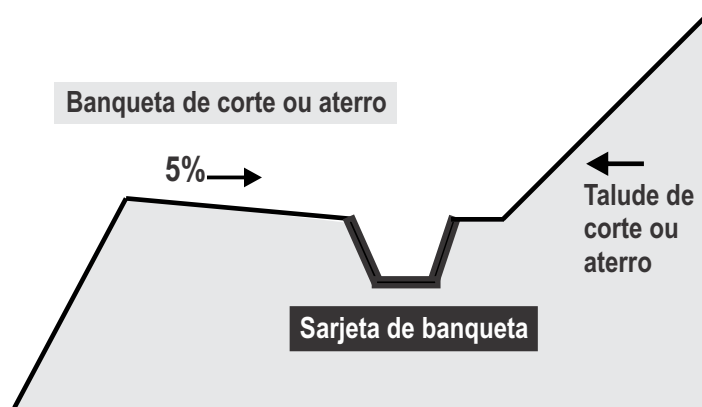
As sarjetas de banquetá são dispositivos que tem como objetivo captar e conduzir as águas superficiais provenientes das precipitações sobre os taludes e na plataforma das banquetas conduzindo longitudinalmente a um local de deságue seguro.

As sarjetas de banquetá de corte e aterro deverão ser executadas em concreto e a sua forma deverá estar de acordo com as seguintes orientações:

- Sarjeta triangular:
 1. comprimento menor que 80,0m - SCC 70/30 (projeto tipo DER-MG)
 2. comprimento entre 80,0m e 200,0m - SCC 90/30 (projeto tipo DER-MG)
- Sarjeta trapezoidal com 0,50m de base e 0,75m de abertura superior e altura variando de 0,30m a 0,50m, VP 03 (projeto tipo DER-MG), para comprimento maior que 200,00 m

Asarjeta de banquetá de corte deverá sempre que possível ser conduzida para a valeta de proteção decorte. O revestimento será em concreto com 7,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 11,0$ Mpa.

O revestimento será em concreto com 7,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias, $F_{ck} > 11,0$ MPa.



5 • Drenagem Profunda

Será apresentado a seguir, para um melhor entendimento da drenagem profunda, algumas definições relacionadas com o tema:

• Porosidade

A porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água. Quanto maior o índice de vazios, maior será a porosidade do solo, conseqüentemente maior será a percolação.

• Percolação

O movimento descendente da água no interior do solo, de cima para baixo, é chamado de percolação.

• Permeabilidade

Podemos definir permeabilidade como sendo a propriedade que os solos apresentam de permitir a passagem da água em maior ou menor quantidade.

A permeabilidade de um material é medida pelo seu coeficiente de permeabilidade (K) que é expresso em cm/s.

$$K = \frac{Q}{iA}$$

Onde: Q = vazão
 A = área
 i = gradiente hidráulico

A permeabilidade é função direta da granulometria do material. (ver pág. 170)

O projeto de drenagem profunda tem como objetivo o dimensionamento dos dispositivos e a especificação dos materiais mais adequados, para promover a interceptação e/ou remoção, coleta e condução das águas provenientes do lençol freático e da infiltração superficial nas camadas do pavimento, de modo a garantir a vida útil estimada para o pavimento.

A visita técnica ao campo é de fundamental importância para a garantia de um bom projeto.

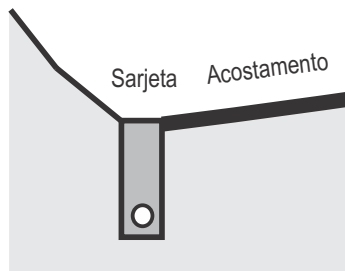
Os principais indicadores da necessidade da implantação de um dreno profundo longitudinal no pé do corte são:

- Afundamentos em trilhas de roda (trecho pavimentado)
- Existência de vegetação característica de regiões úmidas, ex: samambaia;
- Informações junto aos usuários da via de atoleiros no período chuvoso;
- Altura dos cortes;
- A extensão e conformação da encosta de montante;
- Cursos d'água próximos ao trecho em estudo.

São integrantes da drenagem profunda os seguintes dispositivos:

- Dreno profundo longitudinal;
- Dreno espinha de peixe;
- Dreno subhorizontal;
- Colchão drenante;
- Dreno subsuperficial de pavimento;
- Dreno de talvegue.

5.1 • Dreno Profundo Longitudinal



O dreno profundo longitudinal é utilizado para interceptar e/ou rebaixar o lençol freático, tendo como objetivo principal proteger a estrutura do pavimento. O volume d'água interceptado deverá ser conduzido para um local adequado.

Devem ser instalados nos trechos em corte, nos terrenos planos que apresentem lençol freático próximo do subleito, bem como nas áreas eventualmente saturadas próximas ao pé dos taludes.

A indicação de drenos longitudinais profundos é feita após análise conjunta dos resultados de sondagens e ensaios, verificações da umidade natural do solo x umidade ótima do subleito, informação das alturas do NA e observação de campo.

Para os projetos de restauração além das análises já citadas, devemos incorporar a análise conjunta dos resultados das medições com Viga Benkelman e inventário da superfície do pavimento - PRO-08 / DNER.

Os drenos profundos mais usuais são:

- Projeto tipo DNIT, DPS-01 (Material filtrante, tubo e selo de argila) e DPS-02 (Material filtrante e tubo, sem selo) - indicado nos locais onde a umidade natural estiver acima da ótima, porém sem a presença de N.A;
- Projeto tipo DNIT, DPS-07 (Material drenante, tubo e manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala, com selo de argila) e DPS-08 (Material drenante, tubo e manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala, sem selo) - indicado nos locais com presença de N.A;
- Os drenos que não possuem o tubo condutor, são chamados de dreno cego.

5.1.1 • Recomendações para a elaboração do Projeto de Drenagem Profunda Longitudinal

1- Obras de Implantação e Pavimentação:

- Quando da execução da sondagem do subleito nos cortes, de acordo com o plano de sondagem elaborado pelo projetista de pavimentação, no momento da coleta de material, medir a umidade natural do solo para posterior comparação com a umidade ótima. Esta sondagem deverá ser realizada no período chuvoso da região em estudo, mas não deverá ser feita com chuva;
- Caso a sondagem e a visita a campo por parte do projetista, por motivos contratuais, sejam realizadas na estação seca, recomenda-se que na ida a campo, o projetista identifique algumas pessoas que utilizam diariamente durante o ano todo o trecho em estudo, para que possa mostrar os locais que no período chuvoso apresentem atoleiros e agarrador, pois são indicadores de presença de lençol freático ou excesso de umidade no corte. Estas informações obtidas no local, associada aos resultados de sondagem, com o tipo do solo e seu comportamento com a presença de água, irá auxiliar em muito no desenvolvimento do projeto.

- Quando na execução da sondagem do subleito nos cortes encontrar presença de água (NA), deverão ser feitas 04 medidas da altura do N.A para verificação de sua variação que é um dado importante para análise, por parte do projetista, para se determinar a solução de drenagem mais adequada para o local:

- 1ª medição no momento da execução da sondagem
- 2ª medição 24 horas após a 1ª leitura
- 3ª medição 48 horas após a 1ª leitura
- 4ª medição 72 horas após a 1ª leitura

Após a execução do furo de sondagem e a identificação do NA e realizada a 1ª leitura, deverá ser colocada sobre a abertura do furo uma proteção (tamponar) para impedir que sejam jogados materiais que possam comprometer as leituras seguintes. Estas leituras são importantes, pois caso haja uma variação brusca significativa da altura do NA entre a 1ª leitura e 4ª leitura, somente a implantação do dreno profundo longitudinal não resolverá o problema, ou seja, a solução de dreno profundo longitudinal somente será insuficiente para proteção do pavimento. Nos casos onde for verificada nas leituras uma variação brusca do NA, a solução para proteção da estrutura do pavimento deverá ser colchão drenante (camada bloqueadora) mais os drenos profundos longitudinais nas laterais que irão trabalhar além de coletores das águas do colchão drenante, também como interceptadores das águas provenientes do lençol freático no corte.

- Solicitar o ensaio de granulometria por sedimentação do solo para fins de estudo da faixa granulométrica ideal do material de enchimento da vala do dreno profundo longitudinal. Este estudo faz-se necessário principalmente nos segmentos onde serão projetados drenos profundos longitudinais com a indicação de areia para enchimento da vala. A areia a ser indicada no projeto deverá ter uma faixa granulométrica que tenha permeabilidade suficiente para interceptar e escoar um determinado volume de água, porém não deve permitir a realização do fenômeno de erosão interna do solo, causada pelo deslocamento da água em material poroso, cujos vazios sejam maiores que as partículas do solo (ver página 159). Vê-se facilmente, portanto, que a granulometria do filtro está estreitamente ligada à do solo a ser drenado.
- O material filtrante será definido segundo estudos de BERTRAN - TERZAGHI devendo atender as relações de permeabilidade e piping e serem isentos de impurezas orgânicas e torrões de argila. Como material drenante poderão ser utilizados produtos resultantes da britagem e classificação de rocha sã, areias e pedregulhos naturais ou seixos rolados, desde que isentos de impurezas orgânicas e torrões de argila.
- O dreno profundo sem selo é indicado quando a etapa construtiva do pavimento é realizada imediatamente após a execução do dreno profundo. Caso haja uma descontinuidade nas etapas construtivas o que é muito comum, recomenda-se a utilização do dreno profundo com selo, pois este sem o selo por um longo período, o material filtrante e/ou drenante ficará exposto às intempéries e correrá o risco de ser contaminado por solo carregado pela chuva ou até mesmo por poeira.
- A vala do dreno quando o solo for de predominância siltosa ou arenosa e o material de enchimento for de brita, deverá ser envolvido com manta geotêxtil não tecida, que terá a finalidade de formar um pré-filtro de forma a impedir o carregamento de partículas do solo para dentro do dreno garantindo a sua eficácia. É indicado nos locais com presença de N.A.

- Quando o solo na vala de escavação do dreno profundo longitudinal, no corte, for constituído por solo puramente argiloso, não haverá necessidade da utilização de manta geotêxtil não tecida para trabalhar como pré-filtro, pois se trata de solo coesivo onde não haverá perda e carreamento de finos no escoamento do fluxo do lençol freático em quantidade que possa vir causar a sua colmatação (preenchimento dos vazios do material drenante da vala por partículas finas de solo, reduzindo e até mesmo eliminando a sua permeabilidade).
- O material do selo será constituído de solo predominantemente argiloso.

2 - Obras de Restauração ou Reabilitação do Pavimento:

Nos projetos de restauração/reabilitação, além das recomendações contidas no item anterior, devemos incorporar a análise conjunta dos resultados das medições da deflexão do pavimento nos locais de corte e o inventário da superfície do pavimento, NORMA DNIT 007/2003 – PRO.

5.1.2 • Drenos Profundos Longitudinais mais usuais

1- Projeto tipo DNIT, DPS-01 - Material filtrante, tubo e selo de argila; e DPS-02 - Material filtrante e tubo, sem selo, indicados nos locais onde a umidade natural estiver acima da ótima, porém sem a presença de N.A.

Dimensões: 0,50 x 1,50

Material filtrante – areia

Tubo – diâmetro de 15,0 cm

Selo – 20,0 cm

2- Projeto tipo DNIT, DPS-07 - Material drenante, tubo e manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala, com selo de argila e DPS-08 - Material drenante, tubo e manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala, sem selo - indicados nos locais com presença de N.A;

Dimensões: 0,50 x 1,50

Manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala escavada do dreno

Material drenante – brita 1 ou brita 2 ou cascalho britado isento de finos

Tubo – diâmetro de 15,0 cm

Selo – 20,0 cm

3- Projeto tipo DER-MG, DPS-05 - Material filtrante, tubo e selo de argila; e DPS-06 - Material filtrante e tubo, sem selo, indicados nos locais onde a umidade natural estiver acima da ótima, porém sem a presença de N.A.

Dimensões: 0,40 x 1,50

Material filtrante – areia

Tubo – diâmetro de 10,0 cm

Selo – 20,0 cm

4- Projeto tipo DER-MG, DPS-10 - Material drenante, tubo e manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala, com selo de argila e DPS-11 - Material drenante, tubo e manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala, sem selo, indicados nos locais com presença de N.A;

Dimensões: 0,40 x 1,50

Manta geotêxtil não tecida envolvendo a vala escavada do dreno

Material drenante – brita 1 ou brita 2 ou cascalho britado isento de finos

Tubo – diâmetro de 15,0 cm

Selo – 20,0 cm

5- Geocomposto Drenante - É um dispositivo de drenagem profunda, composto por três elementos básicos: o drenante, que capta e conduz as águas de infiltração/percolação, saneando o solo; o filtrante, que impede o carregamento das partículas de solo para o interior do elemento drenante, o que provocaria sua colmatção e conseqüente perda da vazão, e o coletor, que conduz a água drenada para a descarga.

Geocomposto é fabricado a partir de um núcleo drenante (georrede) incompressível de alta vazão em PEAD, unido em uma ou nas duas faces a um geotêxtil não tecido. Compõe o geocomposto um tubo coletor, perfurado em PEAD.



5.1.3 • Granulometria do material filtrante

A granulometria dos materiais filtrantes, e outras considerações, são obtidas pelo processo de TERZAGHI, pelas determinações de BUREAU OF RECLAMATION E SOIL CONSERVATION SERVICE, e no caso de geotexteis pelo método do COMITÉ FRANCES DE GEOTEXTEIS e geomembranas.

As recomendações de TERZAGHI, que deverão ser atendidas no projeto de Drenagem Profunda, são as seguintes:

Condição de permeabilidade

$$d_{15\%F} \geq 5 d_{15\%S} \quad (\text{máximo de 5\% passando em peneira nº 200})$$

Condição de não entupimento do material filtrante

$$d_{15\%F} \leq 5 d_{85\%S}$$

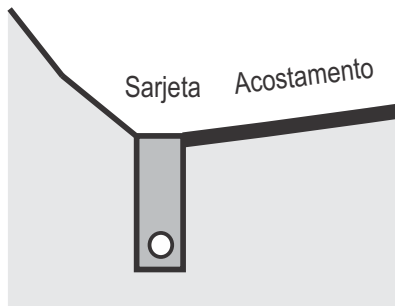
Onde:

$d_{15\%F}$ = diâmetro correspondente à porcentagem de 15% passando do material filtrante;

$d_{15\%S}$ = diâmetro correspondente à porcentagem de 15% passando do solo a drenar;

$d_{85\%S}$ = diâmetro correspondente à porcentagem de 85% passando do solo a drenar.

5.1.4 • Localização do dreno profundo longitudinal



Os drenos profundos longitudinais deverão, sempre que possível, serem implantadas no pé do corte sob a sarjeta, mantendo-se o mais distante possível da trilha de roda dos veículos pesados. É importante observar que o material de enchimento da vala não é compactado, quando muito sofre um adensamento, portanto o local do dreno não possui a mesma estabilidade ou capacidade estrutural que o solo ao lado, tornando com isto um ponto fraco sujeito a abatimento no local de sua implantação, caso seja posicionado sob a trilha de roda dos veículos

5.2 • Dreno Espinha de Peixe

São drenos destinados à drenagem de grandes áreas, pavimentadas ou não. São usados em série, em sentido oblíquo em relação ao eixo longitudinal da rodovia, ou área a drenar.

Geralmente são de pequena profundidade e, por este motivo, sem tubos, embora possam eventualmente ser usados com tubos.

Podem ser exigidos em cortes quando os drenos longitudinais forem insuficientes para a drenagem da área.

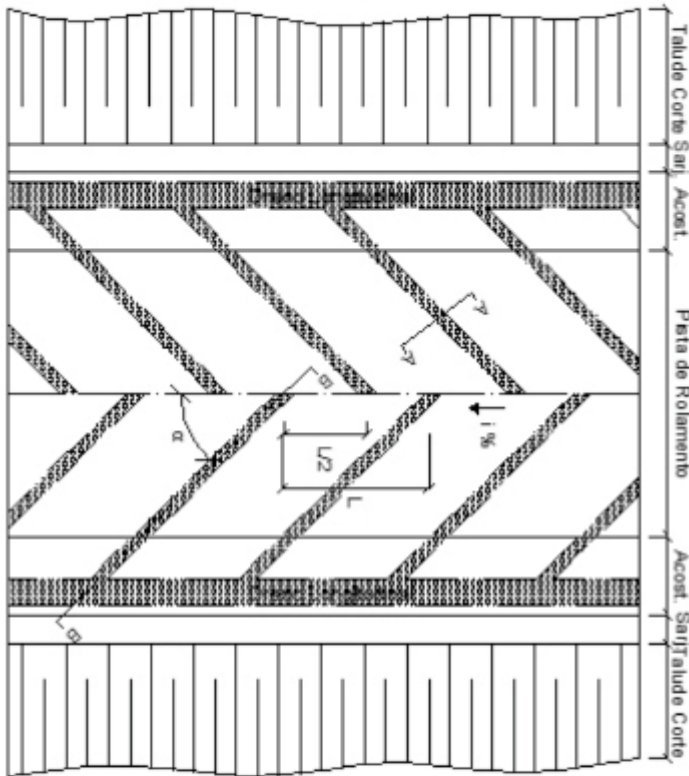
Podem ser projetados em terrenos que receberão aterros e nos quais o lençol freático estiver próximo da superfície.

A distância entre as valas e o angulo de inclinação é função da declividade do greide.

Conforme as condições existentes podem desaguar livremente ou em drenos longitudinais, conforme se vê na figura a seguir.

DEP - DRENO ESPINHA DE PEIXE

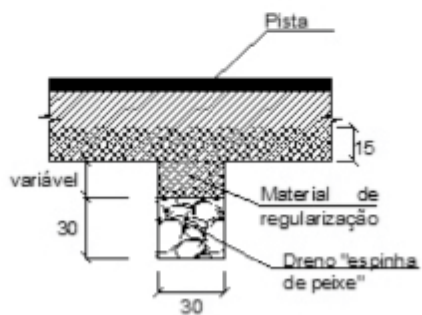
PLANTA



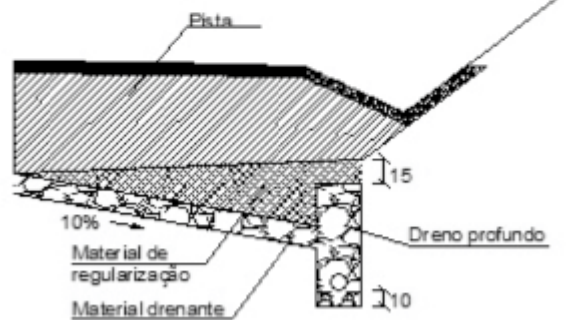
DIMENSÕES

TIPO	i%	α	L
DEP 01 ou DEP 02	0	90°	400
	1	80°	400
	2	70°	400
	3	60°	400
	4	50°	600
	5	40°	800
6	30°	1000	

CORTE A - A



CORTE B - B

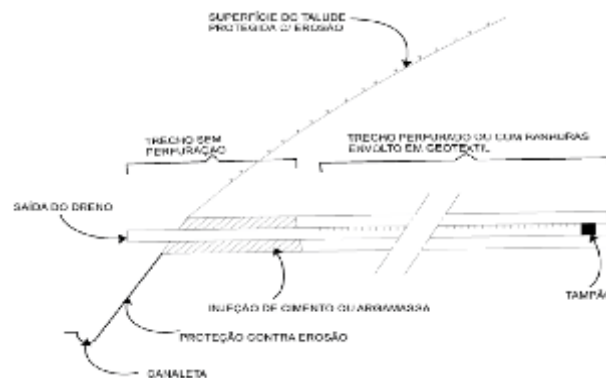


5.3 Drenos Sub-Horizontais

Drenos instalados nos taludes de cortes ou aterros que visam proporcionar o escoamento das águas retidas nos maciços de forma a aliviar o empuxo, capaz de comprometer a estabilidade dos taludes. Estes drenos geralmente são instalados no sentido ortogonal ao eixo.

Os drenos sub-horizontais são aplicados para a prevenção e correção de escorregamentos nos quais a causa determinante da instabilidade é a elevação do lençol freático ou do nível piezométrico de lençóis confinados.

Os DHPs são executados perfurando-se quase horizontalmente (com um ângulo aproximado de 5° de elevação com a horizontal) o talude a se estabilizar.



São elementos que captam as águas distantes da face do talude antes que nela aflorem. Ao captá-las, eles as conduzem ao paramento e as despejam nas canaletas. Os drenos sub-horizontais profundos, DHPs, resultam da instalação de tubos plásticos drenantes de 1¼" a 2", em perfurações no solo, de 2½ a 4". Os tubos são perfurados e recobertos por manta geotêxtil ou por tela de nylon. São drenos lineares embutidos no maciço, cujos comprimentos se situam, normalmente, entre 6 e 18 m. No entanto, o comprimento e espaçamento depende de estudos, que devem ser feitos por um projetista geotécnico.

As águas drenadas deverão ser coletadas por canaletas e impedidas de infiltrar no maciço, levando-se em conta no dimensionamento destas canaletas o escoamento superficial de águas de chuva da bacia.

O processo para a execução do dreno sub-horizental profundo é semelhante ao de poços para rebaixamento de lençol freático. A diferença é que, no caso do DHP, a condição é ser instalado horizontalmente. A técnica deve seguir os seguintes passos:

- Preparação e montagem do DHP;
- Perfuração do maciço;
- Instalação de tubos de PVC;
- Ligação do DHP até a rede de drenagem existente e tamponamento da boca do furo com selo de argila ou argamassa;
- Manutenção e limpeza periódica do DHP.

5.3.1 Método para cravação de Drenos Sub-Horizontais

1 – ROTO-PERCUSSÃO

- a) É executado um furo no terreno, usando uma perfuratriz a Roto-Percussão (Rock-Drill), com broca de 3". Este equipamento permite a execução de furos com até 25,00 m de comprimento, sem revestimento.
- b) A perfuratriz deve ser provida de comandos independentes: comando para rotação, comando para percussão e comando para avanço, este último, geralmente, hidráulico.
- c) O operador, que deverá ser altamente qualificado, coordenará perfeitamente as três operações para evitar o fechamento do furo. Além dessas operações, deverá o operador cuidar de regulagem da circulação de água para lavagem do furo.
- d) Após a execução do furo, de acordo com os itens a, b, e c, será introduzido um tubo de PVC de 2", furado e revestido com geotêxtil não tecido, conforme desenho anexo.

Este tubo terá comprimento mínimo de 9m, é composto de vários elementos com comprimento aproximado de 6,00m, introduzidos sucessivamente no furo e colados entre si (ponta e bolsa) nas extremidades.

Durante a colocação de tubo de PVC, poderão ocorrer alguns desmoronamentos internos, sendo, então, necessário a retirada do tubo para que se introduza outro de menor diâmetro, e quando com esse processo não se conseguir limpá-lo, fura-se novamente com a perfuratriz.

O tempo necessário para a execução é de aproximadamente 06:00 horas por dreno.

2 – SONDA ROTATIVA

Usa-se a sonda rotativa, quando o terreno não tem nenhum suporte e o furo se fecha rapidamente ou quando não está disponível o equipamento de roto-percussão:

- a) O furo é executado através de um processo rotativo com ferramenta cortante (vídia ou diamante). Tal equipamento permite, caso haja necessidade, a colocação de revestimento com diâmetro levemente superior ao do furo.
- b) A introdução do revestimento é feita também, pelo sistema rotativo, utilizando-se de ferramenta igualmente cortante.
- c) Após a execução do furo, de acordo com os itens a e b, se o terreno permitir retira-se o revestimento, sendo, então, necessário que o furo fique aberto por um período de 30 a 40 minutos, tempo suficiente para que se coloque o dreno.
- d) Caso o operador observe a necessidade de se colocar o dreno antes da retirada do revestimento por problemas de desmoronamento ou fechamento do furo, deve-se introduzir o dreno normalmente por dentro do revestimento e, posteriormente, retirar-se o revestimento, com cuidado para não danificar a tela e o geotêxtil.

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

O tempo necessário para a execução é de aproximadamente 10:00 horas por dreno.

A aplicação dos detalhes dos desenhos anexos está sujeita a projeto específico, ou marcação por parte da fiscalização.

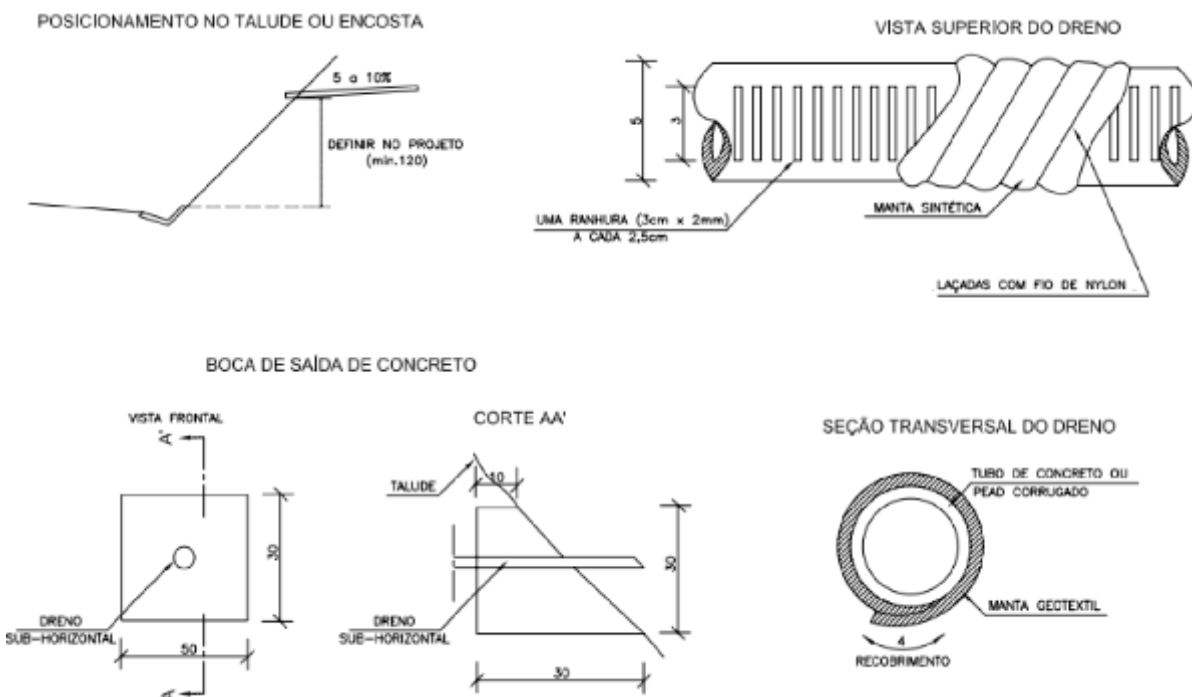
- Os taludes devem ser protegidos com grama aplicada em leivas.

O espaçamento dos drenos sub-horizontais não é rígido, devendo se concentrar as perfurações nos lugares de surgência de água.

Os comprimentos dos drenos subhorizontais serão especificados em cada caso, após efetuados os estudos necessários.

As canaletas coletoras nas saídas dos drenos deverão ter declividades mínimas de 0,005 m/m, mesmo que esta declividade se disponha em contrarrampa.

Nos casos de saída de drenos em taludes de aterro, deverá ser implantada uma plataforma protegida para instalação de dispositivo coletor a céu aberto conduzindo a tubulação longitudinal no talude do aterro.



5.3.2 • Recomendações

Os drenos sub-horizontais deverão ser implantados durante o desenvolvimento da fase de terraplenagem.

O comprimento, o número de drenos a instalar, o espaçamento entre eles, serão determinados de acordo com as dificuldades encontradas no campo, no momento da instalação, principalmente, dependendo do rendimento dos drenos de prova. Estes serão instalados um em cada 20 metros, aproximadamente em três camadas superpostas, separadas verticalmente por quatro metros, no mínimo.

Depois de verificado o rendimento dos drenos de prova, outros serão instalados nos espaços intermediários livres e em áreas onde se capte mais água. Se a instalação for em leques a distância entre eles deve ser tal que evite interferências entre drenos de leques vizinhos.

Somente poderá ser aceito o serviço de instalação dos drenos e a retirada dos equipamentos, após a vistoria dos drenos instalados e a comprovação da sua operacionalidade.

Durante todo o tempo da construção deverá ser mantido o tamponamento dos tubos e a proteção das camadas intermediárias, para impedir o entupimento das canalizações e colmatação do material permeável.

5.4 • Colchão Drenante

O colchão drenante tem como objetivo drenar as águas existentes situadas à pequena profundidade do corpo estradal, quando forem de volume tal que não possam ser drenadas pelos drenos "espinha de peixe".

Colchão drenante de corte em rocha tem a função de ser uma camada bloqueadora, para proteção do pavimento das águas provenientes do lençol freático que possa vir a surgir ao longo do tempo com escoamento direcionado de baixo para cima.

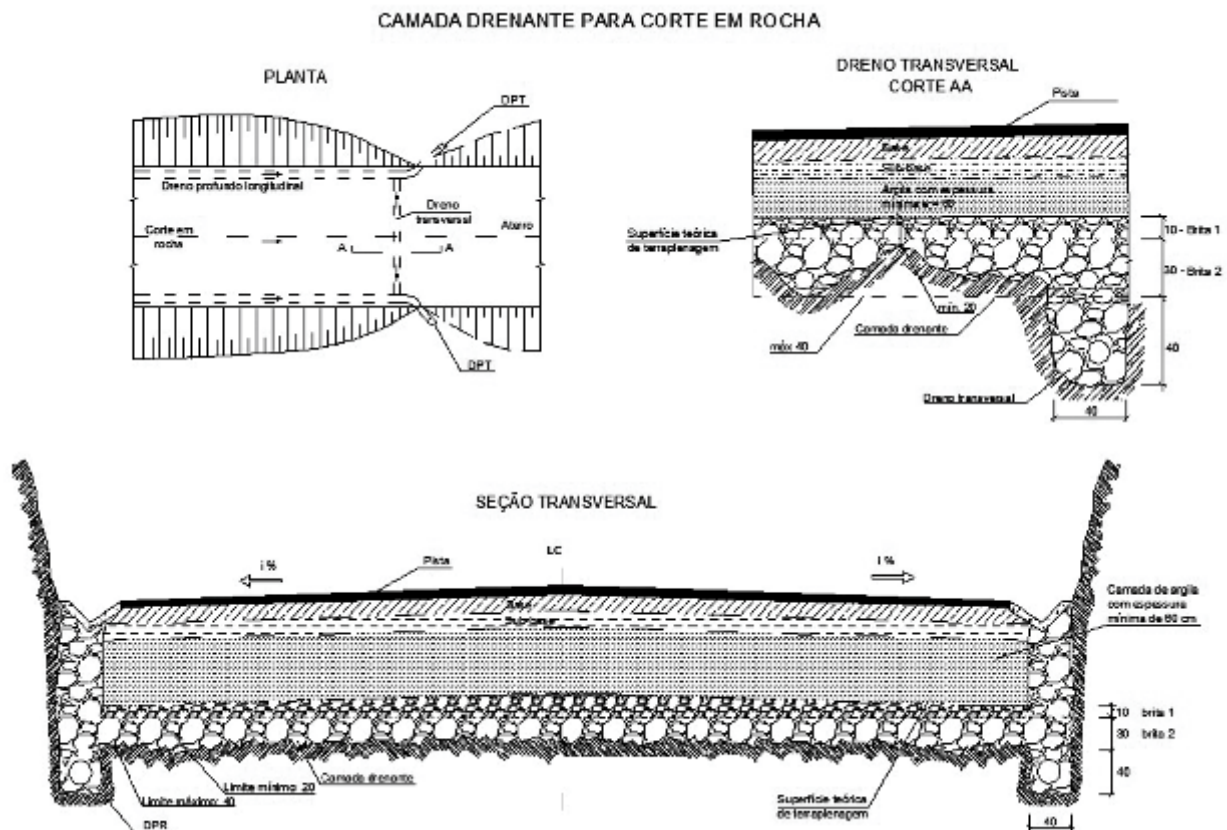
Sua utilização em aterros sobre solos encharcados/saturado/mole terá as seguintes funções:

- Auxiliar na estabilização do corpo do aterro;
- Ser uma camada bloqueadora em solos com propensão a ascensão capilar, de forma a impedir que as águas possam chegar às camadas superiores do aterro, causando danos ao pavimento com a redução de sua vida útil.

São utilizados:

- Nos cortes em rocha;
- Nos cortes em que o lençol freático estiver próximo ao terreno natural;
- Nos aterros sobre terrenos impermeáveis.

A remoção das águas coletadas pelos colchões drenantes deverá ser feita por drenos longitudinais. Será necessário também um dreno coletor transversal que será implantado no término do colchão drenante para interceptar, coletar e retirar as águas que escoam no sentido longitudinal.



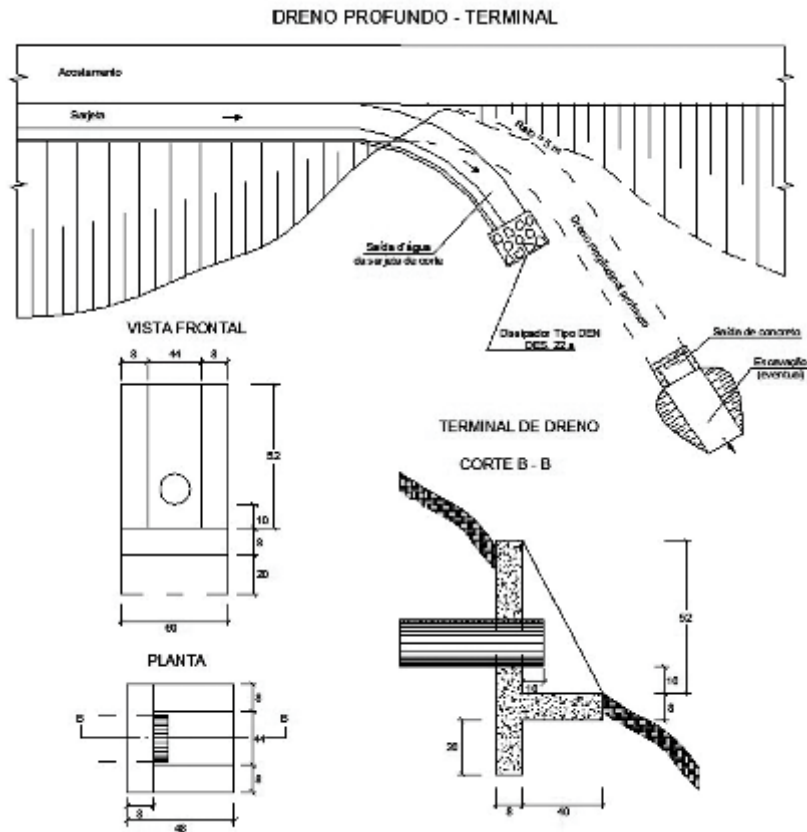
5.5 • Terminal de Dreno Profundo

Terminal de dreno profundo pode ser definido como a boca de concreto que tem como objetivos, permitir o deságüe das águas interceptadas e coletadas por um dreno profundo bem como facilitar a identificação da sua localização/saída, possibilitando assim facilitar e agilizar no serviço de conservação e manutenção.

Os drenos profundos deverão, na transição corte/aterro, defletir-se de cerca de 45°, com raio de curvatura da ordem de 5 m, prolongando-se além do bordo da plataforma, de modo que o deságüe se processe, no mínimo, a um metro do offset.

Nos cortes extensos os drenos deverão ser ligados às caixas coletoras.

Sempre que o deságüe estiver próximo a uma boca de um bueiro, o dreno profundo longitudinal poderá ser ligado na ala da boca deste bueiro. Na execução da boca do bueiro, prevendo-se esta situação de deságüe do dreno, deverá ser deixada a espera para receber o tubo do dreno para que não seja necessário depois quebrar a ala para encaixe do dreno.



5.6 • Dreno de Talvegue

É o dispositivo utilizado para interceptar e ou rebaixar o lençol freático protegendo o corpo estradal, executado previamente a construção de aterro.

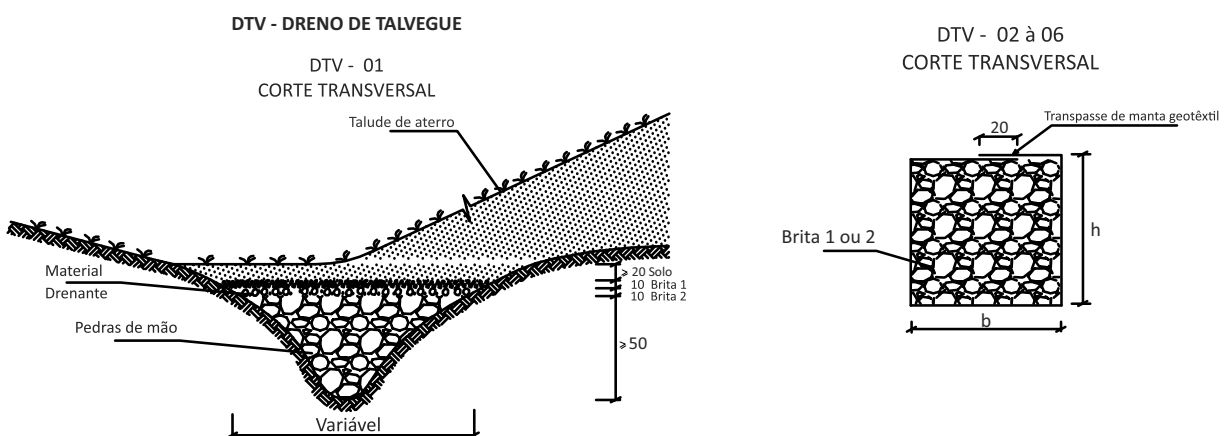
Serão aplicados nos locais onde a implantação da obra de arte corrente não é coincidente com a linha do talvegue.

Um bueiro de grota deve, sempre que possível, ser posicionado na linha do talvegue, porém algumas situações levam o projetista a projetar fora desta linha objetivando redução no tempo de construção, redução no custo de implantação, melhoria da eficiência hidráulica, como poderá ser observado a seguir:

- Deslocamento visando melhores condições de suporte do solo, simplificando a solução de fundação (previa-se estaqueamento e será executado somente um empedramento) – redução nos custos de implantação e redução no tempo de construção;
- Redução da esconsidade do bueiro, (esconsidade do talvegue elevada (ex: 50°) – redução nos custos de implantação e redução no tempo de construção;
- Mudança de posicionamento em função de curvas do curso d'água a montante e jusante para redução da perda de carga na entrada e/ou saída do bueiro – melhoria da eficiência hidráulica.

Em todo curso d'água, no talvegue você tem o escoamento superficial e escoamento subterrâneo do lençol freático. Quando você retira o bueiro do talvegue, não há nenhuma dificuldade em redirecionar as águas superficiais para boca montante ou encaminhar de forma mais adequada as águas superficiais de jusante procurando com isto melhorar o funcionamento hidráulico da obra de arte corrente, porém independentemente da solução dada no deslocamento do bueiro, o escoamento das águas subterrâneas/lençol freático continuam no mesmo local e no mesmo direcionamento o que faz com que seja necessário a implantação de um dreno dentro do talvegue, no segmento de onde o bueiro não faz parte.

As três situações que foram descritas anteriormente que levam o projetista a tirar o bueiro do talvegue, são locais que obrigatoriamente serão projetados drenos de talvegue.



Aplicações:

Serão aplicados nos locais onde a implantação da obra de arte corrente não é coincidente com a linha do talvegue. Serão dos tipos: DTV-01, DTV-02, DTV-03, DTV-04, DTV-05 e DTV-06. O DTV-01 é indicado nos locais onde não houver necessidade de escavação (talvegue natural). O DTV-02 a DTV-06 serão indicados nos locais de surgência de "olho d'água", com necessidade de escavação.

Especificações:

A brita nº 1 ou nº 2 deverá ter o diâmetro com granulometria entre os diâmetros 2,0cm a 5,0cm. Poderão ser utilizados ainda seixos rolados, desde que isentos de impurezas orgânicas e torrões de argila de diâmetro equivalente a brita nº 1 ou nº 2. O diâmetro da pedra de mão deve ser menor que 25cm. A manta geotêxtil deverá ser do tipo não tecida de resistência a tração de 7KN/m com Permeabilidade de 0,4 m/s.

5.7 • Dreno Sub-superficial de Pavimento

São dispositivos que tem como função receber as águas drenadas pela camada do pavimento de maior permeabilidade conduzindo-as até o local de deságue.

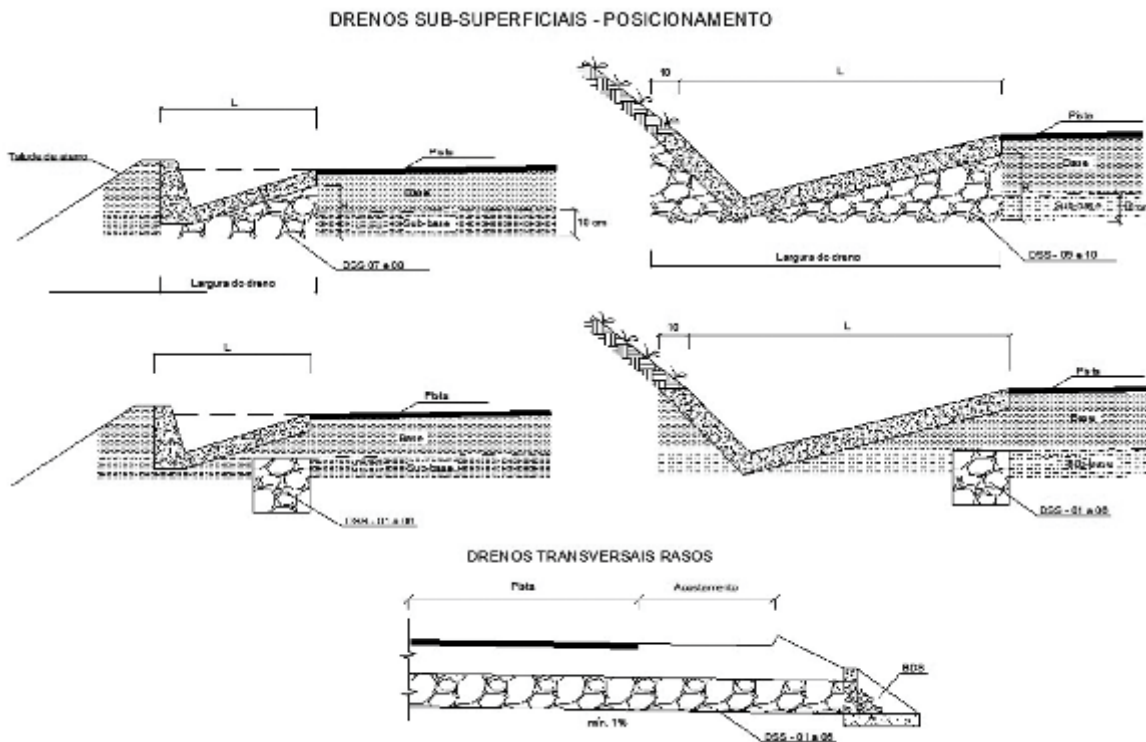
A indicação de dreno subsuperficial/dreno de pavimento é feita após análise da permeabilidade das camadas do pavimento: revestimento, base, sub-base e subleito.

Também para os projetos de restauração, devemos incorporar a análise conjunta dos resultados das medições com Viga Benkelman e inventário da superfície do pavimento - PRO-08 / DNER.

Quando o VMD-Volume Médio Diário de Tráfego de uma rodovia for maior ou igual a 3.000(três mil) veículos e a solução de pavimento prever revestimento com massa asfáltica, haverá necessidade do ensaio de permeabilidade das camadas do pavimento.

São dois os tipos de Drenos de pavimento:

- Drenos laterais de base
- Drenos transversais



Drenos laterais de base

São drenos longitudinais, devendo ser posicionados no bordo do pavimento para dentro da sarjeta, abaixo da face superior da camada de maior permeabilidade.

Drenos transversais

São drenos que tem como função interceptar, captar e conduzir as águas que, atravessam as camadas do pavimento e escoam no sentido longitudinal.

Permeabilidade

Podemos definir permeabilidade como sendo a propriedade que os solos apresentam de permitir a passagem da água em maior ou menor quantidade.

A permeabilidade de um material é medida pelo seu coeficiente de permeabilidade (K) que é expresso em cm/s.

$$K = \frac{Q}{iA}$$

Onde:

Q = vazão

A = área

i = gradiente hidráulico

A permeabilidade é função direta da granulometria como pode ser observado no quadro abaixo:

Tipo de Material	Granulometria (cm)	K (cm/s)
Brita 5	7,5 a 10,0	100
Brita 4	5,0 a 7,5	80
Brita 3	2,5 a 5,0	45
Brita 2	2,0 a 2,5	25
Brita 1	1,0 a 2,0	15
Brita 0	0,5 a 1,0	5
Areia grossa	0,2 a 0,5	1×10^{-1}
Areia fina	0,005 a 0,04	1×10^{-3}
Silte	0,0005 a 0,005	1×10^{-5}
Argila	menor que 0,0005	1×10^{-7}

Escala de Permeabilidade K (cm/s)

	10^2 10^1 1.0	10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}	10^{-4} 10^{-5}	10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9}
DRENAGEM	BOA		MÁ	Praticamente Impermeável

• Considerações para Concepção e Construção de Drenos de Pavimento

Permeabilidade dos materiais

Em rodovias com tráfego alto e percentual significativo de veículos pesados, o estudo da permeabilidade das camadas do pavimento é tão importante quanto os ensaios de CBR. Apesar da importância não é comum os projetistas solicitarem estes ensaios, inclusive não consta a sua obrigatoriedade nos termos de referência do edital de contratação de projeto.

Para o revestimento, quando CBUQ, não se faz necessário tal ensaio, pois a sua permeabilidade deverá ser considerada, não no início de sua vida útil onde ele se apresenta praticamente impermeável (CBUQ na faixa C possuiu uma permeabilidade $K = 10^{-7}$ cm/s equivalente a de um solo argiloso), mas sim após o início do aparecimento de fissuras e trincas, quando então passa ocorrer uma penetração d'água significativa.

Para que se possa assegurar que a água não irá interferir na vida útil do pavimento, há que se garantir no estudo dos materiais a serem utilizados nas camadas do pavimento, que tenham permeabilidade suficiente para percorrer livremente ou que seja impermeável impedindo a sua penetração.

No caso de uma ou mais camadas do pavimento possuírem uma boa permeabilidade $K \geq 10^{-3}$ cm/s, e abaixo um solo com a permeabilidade mais baixa, haverá necessidade de se projetar um sistema drenante eficiente. Porém quando todas as camadas do pavimento tiverem a permeabilidade $K \leq 10^{-6}$ cm/s (*praticamente impermeáveis*) não haverá necessidade de dreno de pavimento.

Para a camada de base de um pavimento rodoviário não deverá ser utilizado materiais cujo ensaio de permeabilidade obtenha-se resultados dentro do intervalo 10^{-3} cm/s $< K < 10^{-6}$ cm/s pois neste intervalo a água consegue penetrar porém demora muito para sair (drenagem lenta), tornando com isto ineficiente qualquer tipo de dreno de pavimento. Portanto quando o projetista encontrar esta situação, deverá procurar como solução fazer uma mistura no material selecionado de forma a melhorar a sua permeabilidade, ou torná-lo praticamente impermeável.

Para rodovias com baixo volume de tráfego, com pista simples, largura de plataforma de pavimento acabado até 10,00 m e revestimento em TSD, não há necessidade de estudos de permeabilidade das camadas de pavimento nem de dispositivos de drenagem de pavimento.

• Formato da vala e materiais utilizados

A vala do dreno de pavimento deverá ter a forma retangular (0,30m x 0,20m) ou quadrada (0,30m x 0,30m), pois facilita o processo executivo com a utilização de retro-escavadeira na abertura das valas.

Muitas vezes nos deparamos com projetos onde os drenos de pavimento são projetados com forma triangular. A inconveniência de se adotar esta forma é que o processo executivo tem que ser manual, o que vem atrasar a etapa seguinte da execução do revestimento.

Os materiais a serem utilizados no enchimento das valas deverão ser Brita-1 ($K=15,0$ cm/s) ou Brita-2 ($K=25,0$ cm/s), conforme a necessidade do volume a ser escoado.

O envolvimento da vala com manta geotêxtil não tecida, se faz necessário quando a camada permeável possui agregado fino com possibilidade de ser carregada para o dreno, podendo vir a causar o seu entupimento.

Deve-se evitar a utilização de tubo na vala, pois passa a ser um ponto fraco. Raramente há necessidade da utilização de tubos, pois sempre que for preciso descarregar o dreno de pavimento e este estiver em corte, poderá ser encaminhado para o dreno profundo longitudinal.

O formato da vala, suas dimensões, os materiais empregados no seu enchimento, são comuns tanto para os drenos laterais de base como para os drenos transversais.

• Localização

Drenos laterais de base

Para diminuir o efeito do tráfego, principalmente dos veículos pesados, que poderão provocar afundamento no local da vala do dreno pela impossibilidade de se obter uma compactação do material de enchimento compatível com as camadas do pavimento, é conveniente executar o dreno no bordo da pista para dentro da sarjeta. (fig.1)

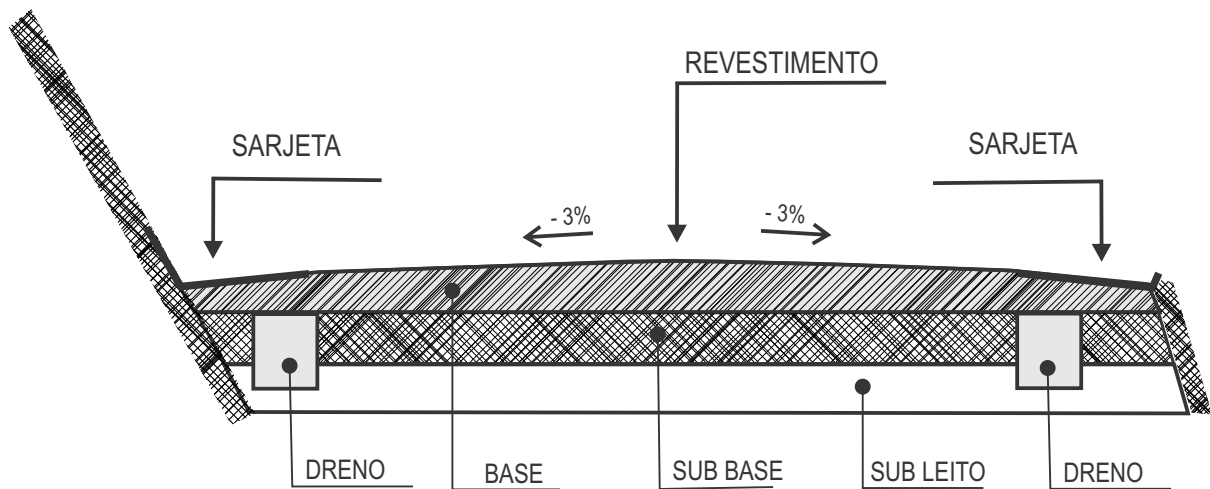


Figura 1

• **Drenos transversais**

Os locais indicados para sua utilização são:

- Pontos baixos de curvas verticais côncavas. (fig. 1);

Em locais onde existem águas acumuladas nas bases permeáveis (sangrias). Situações encontradas nas restaurações de pavimento;

- Próximo às Pontes. (fig.3).

• **Dreno Transversal em Curva Vertical Côncava**

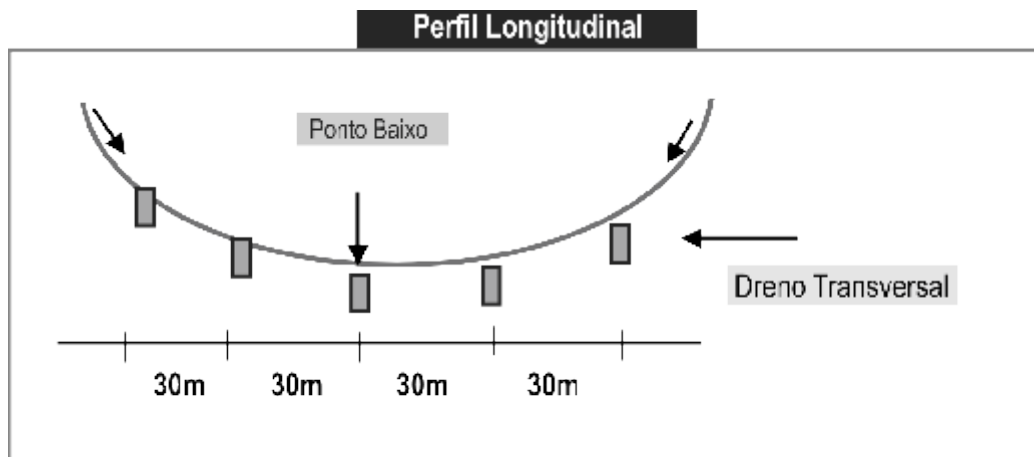
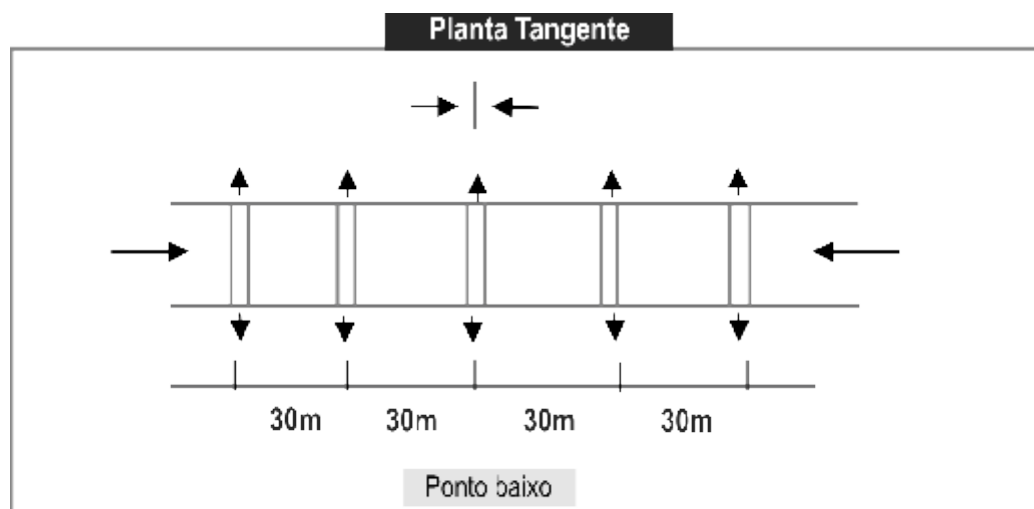


Figura 1



Obs: o espaçamento é em função da declividade longitudinal.

• Dreno Transversal Próximo as Pontes

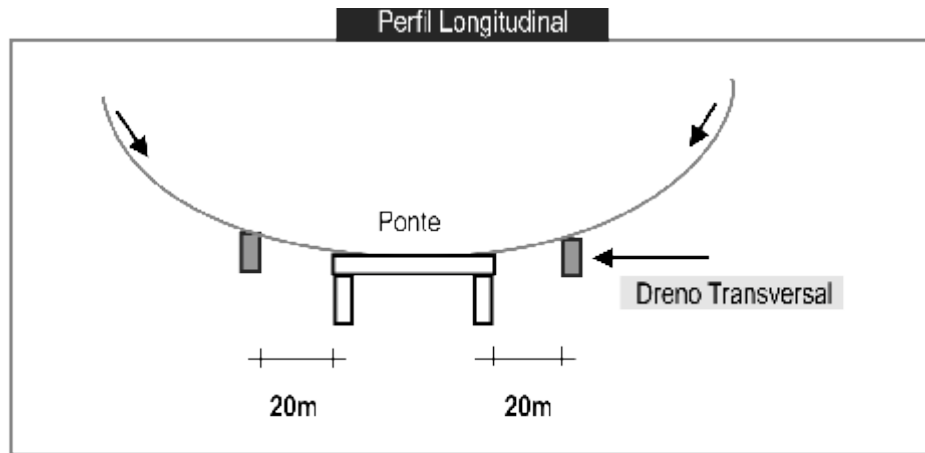
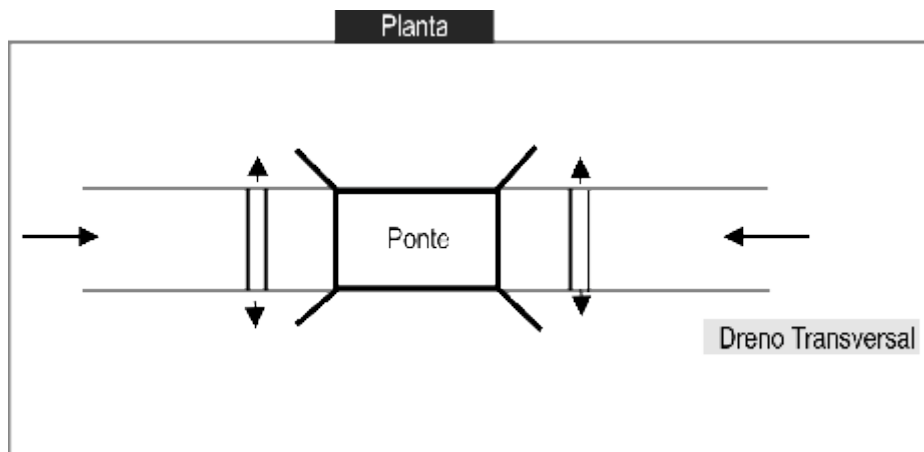


Figura 3



III - Construção e Manutenção dos Dispositivos de Drenagem

1 • Construção

Para que o Projeto de Drenagem tenha a eficácia almejada, de forma que os dispositivos de drenagem venham exercer sua função de proteção do corpo estradal, alguns cuidados deverão ser tomados durante o processo construtivo os quais serão descritos a seguir:

1.1 • Drenagem de Grotas

- Nos bueiros de grotas, quando forem construídos fora do local do talvegue (muitas vezes é feito para facilitar o processo construtivo, quase sempre eliminando a fundação da obra) haverá necessidade da execução de dreno de talvegue. O não atendimento a esta recomendação é uma das causas mais comuns de rompimento de aterros, que ocorrem geralmente muitos anos após a construção da rodovia;
- Deverá ser feita a inspeção visual dos tubos de forma a impedir que tubos que apresentam problemas na sua confecção sejam utilizados na construção dos bueiros. Esta inspeção visa impedir a utilização, na construção dos bueiros, de tubos que possuam os seguintes defeitos: deformação oriunda do processo de cura (tubo com forma ovalada), trincas, nicho e outros defeitos que possam vir a comprometer a obra;
- Deverá ser exigida a execução dos controles tecnológicos dos tubos de concreto, de forma a atender NBR-8890/2008, principalmente o ensaio de compressão diametral para a comprovação da classe do tubo especificada no projeto;
- Deverá ser observada a largura de escavação da vala para o assentamento dos bueiros, para permitir que o reaterro seja executado de forma adequada, bem como a profundidade e tipo de solo em que está sendo implantada a obra, verificando a necessidade ou não de escoramento da vala. Segundo Portaria do Ministério do Trabalho nº17, de 07/07/83 – item-18.6.4, vala de bueiro com altura acima de 1,30m é obrigatório a execução de escoramento. O escoramento poderá ser eliminado quando a vala for aberta com uma inclinação nas paredes laterais que ofereçam segurança para os trabalhadores.
- O reaterro dos bueiros deve obedecer rigorosamente ao especificado no projeto, executando as camadas iniciais com compactação manual até uma altura mínima de 30,0 cm sobre a geratriz superior do bueiro. Somente após atingir esta espessura é que poderá iniciar a compactação mecânica. O reaterro quando bem executado, não ocorrerá as depressões sobre os bueiros que hoje são tão comuns em nossas rodovias;
- Na análise do aproveitamento dos bueiros com tubos de concreto, deve-se verificar a possibilidade de haver algum problema como quebra de um tubo ou se eles apresentam selados. Identificado o problema e verificando se está evoluindo ou se ocorreu no momento de sua construção, fato este muito comum. Muitas vezes na execução do aterro, quando é utilizado equipamento pesado, ocorre a quebra de algum tubo ou até mesmo deslocamento deles. Se o problema surgiu durante construção, mas o bueiro estiver atendendo a parte hidráulica, não houver abatimento do aterro nem erosão interna e se o corpo de aterro for

constituído de solo coesivo, o bueiro poderá ser aproveitado mesmo sem intervenção de recuperação;

• Na análise do aproveitamento dos bueiros metálicos, aplica-se o mesmo raciocínio do item anterior. Caso encontremos bueiros furados pela corrosão e estes atenderem ao aspecto hidráulico, pode-se aproveitar o bueiro fazendo a recuperação com o uso do concreto armado no fundo até a uma altura de 1/3 de seu diâmetro. Quando o bueiro apresentar amassamento ao longo de seu comprimento ou mesmo em ponto localizado e não houver sinais de evolução do problema, o bueiro poderá ser aproveitado. A seguir será apresentado o projeto de recuperação de bueiro ARMCO:

	1	2	3	4																																											
NÃO USAR ESCALA BOMBE Q DESIGN	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th># BUEIRO (m)</th> <th>PERIMETRO DE CONCRETO (m) PARA 120°</th> <th>VOLUME DE CONCRETO (m³) PARA 120°</th> <th>TELA SOLDADA (Kg/m² de perfil) PARA 120°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.50</td> <td>1.57</td> <td>0.12</td> <td>4.40</td> </tr> <tr> <td>2.00</td> <td>2.09</td> <td>0.16</td> <td>5.40</td> </tr> <tr> <td>2.50</td> <td>2.62</td> <td>0.20</td> <td>6.60</td> </tr> <tr> <td>2.80</td> <td>2.93</td> <td>0.22</td> <td>6.80</td> </tr> </tbody> </table>			# BUEIRO (m)	PERIMETRO DE CONCRETO (m) PARA 120°	VOLUME DE CONCRETO (m ³) PARA 120°	TELA SOLDADA (Kg/m ² de perfil) PARA 120°	1.50	1.57	0.12	4.40	2.00	2.09	0.16	5.40	2.50	2.62	0.20	6.60	2.80	2.93	0.22	6.80	A																							
# BUEIRO (m)	PERIMETRO DE CONCRETO (m) PARA 120°	VOLUME DE CONCRETO (m ³) PARA 120°	TELA SOLDADA (Kg/m ² de perfil) PARA 120°																																												
1.50	1.57	0.12	4.40																																												
2.00	2.09	0.16	5.40																																												
2.50	2.62	0.20	6.60																																												
2.80	2.93	0.22	6.80																																												
ARMCO STACO (SO DE JANEIRO) BRASIL. TODOS OS DIREITOS RESERVADOS	<p style="text-align: center;">SEÇÃO TRANSVERSAL</p>			B																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ESPA.</th> <th>ESP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>4/8</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6/8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6/8</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>6/8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6/8</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>6/8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>6/8</td> </tr> </tbody> </table>	ESPA.	ESP.	1	4/8	2	6/8	3	6/8	4	6/8	5	6/8	6	6/8	7	6/8	<p style="text-align: center;">CORTE-AA</p>			C																											
ESPA.	ESP.																																														
1	4/8																																														
2	6/8																																														
3	6/8																																														
4	6/8																																														
5	6/8																																														
6	6/8																																														
7	6/8																																														
<p>NOTAS: Especificações do concreto: Preferencialmente utilizar concreto usinado fck > 15 MPa, com 100% de brita n° 1. Caso necessário dosar o concreto na obra, utilize as especificações abaixo:</p> <p>TRAÇO VOLUME = 1 : 2 1/2 : 5 CONSUMO DE CIMENTO P/M³ DE CONCRETO = 246 KG CONSUMO DE AREIA 3/5 HUM. P/M³ DE CONCRETO = 0.557 M³ CONSUMO DE BRITA N° 1 P/M³ DE CONCRETO = 0.870 M³ CONSUMO DE ÁGUA P/M³ DE CONCRETO = 0.195 M³</p> <p>A FIXAÇÃO DAS TELAS SERÁ ATRAVÉS DE PONTOS DE SOLDAS NAS CABEÇAS DOS PARAFUSOS OU AMARRAÇÃO NOS MESMOS.</p> <p>Para uma boa proteção das armaduras, o recobrimento de concreto indicado por norma é de 3,0 cm.</p>	<p style="text-align: center;">EMENDAS DE TELAS</p>			D																																											
<p>Este documento é a propriedade exclusiva da Engenharia de Projetos de Infraestrutura e não pode ser reproduzido, total ou parcialmente, sem a autorização expressa da Engenharia de Projetos de Infraestrutura. A reprodução total ou parcial deste documento sem a autorização expressa da Engenharia de Projetos de Infraestrutura é proibida.</p> <p>Engenharia de Projetos de Infraestrutura - Rua do Comércio, 100 - Centro - São Paulo - SP - Brasil - CEP: 01010-000 - Fone: (11) 3033-1000 - E-mail: engenharia@epi.com.br</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ALTERAÇÕES</th> </tr> <tr> <th>EV. DATA</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		ALTERAÇÕES		EV. DATA	DESCRIÇÃO	A		B		C		D		E		F		G		H		I		<p>ARMCO STACO</p> <p>ARMCO STACO S.A. INDÚSTRIA METALÚRGICA EMPENHO DE BARRA - RJ - BRASIL - TEL: 55 20 142-4112 FAX: (55 20) 2471-8340 E-mail: engenharia@armco.com.br</p> <p>CLIENTE: SETOP (L.O-8981)</p> <p>CALHA PADRÃO P/ MP100 CIRCULAR Ø1.50 - Ø2.00 - Ø2.50 - Ø3.00 m</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>A4</th> <th>NOME</th> <th>DATA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DES.</td> <td>MARCO</td> <td>22/12/04</td> </tr> <tr> <td>PROJ.</td> <td>MARCO</td> <td>22/12/04</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>C.DAEMON</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROV.</td> <td>C.DAEMON</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NÚMERO:</td> <td colspan="2">CALHA SETOP</td> </tr> <tr> <td>ESQ.: BEMERCALA</td> <td></td> <td>RIV/00</td> </tr> </tbody> </table>	A4	NOME	DATA	DES.	MARCO	22/12/04	PROJ.	MARCO	22/12/04	VERIF.	C.DAEMON		APROV.	C.DAEMON		NÚMERO:	CALHA SETOP		ESQ.: BEMERCALA		RIV/00
ALTERAÇÕES																																															
EV. DATA	DESCRIÇÃO																																														
A																																															
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
H																																															
I																																															
A4	NOME	DATA																																													
DES.	MARCO	22/12/04																																													
PROJ.	MARCO	22/12/04																																													
VERIF.	C.DAEMON																																														
APROV.	C.DAEMON																																														
NÚMERO:	CALHA SETOP																																														
ESQ.: BEMERCALA		RIV/00																																													

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- A declividade de assentamento dos bueiros tubulares de concreto e bueiros metálicos (ARMCO) com diâmetro menor ou igual a 1,20m deverá, sempre que possível, ser maior que 1,5% e menor que 2,0%. Esta faixa, de forma geral, irá garantir a sua auto limpeza sem provocar erosão no solo;
- A declividade de assentamento dos bueiros celulares (galerias) e bueiros metálicos (ARMCO) com diâmetro maior que 1,20m deverá, sempre que possível, ser maior que 0,5% e menor que 1,0%. Esta faixa irá garantir a sua autolimpeza sem provocar erosão no solo;
- Em situações onde o bueiro apresentar uma declividade muito acentuada, $i > 4,0\%$ e o solo não for coesivo, deverá ser construído um dissipador de energia na sua saída;
- A altura máxima recomendada para caixa coletora é de 2,50 podendo excepcionalmente chegar a 3,00 m, pois alturas maiores dificultam em muito os serviços de conservação e manutenção;
- O DNIT recomenda que bueiros cuja declividade implantação seja superior a 4,0% que se execute dentes nos berços para auxiliar no travamento do bueiro no solo e não aconteça o seu escorregamento com a execução do corpo de aterro, pela declividade alta. Segundo nossa experiência profissional, bueiro tubular com declividade até 10%, desde que seja assentado em vala, não haverá necessidade da construção dos dentes/gigantes de ancoragem. Os bueiros implantados nas rodovias são em quase sua totalidade, obras curtas o que faz com que as suas bocas a montante ou caixa coletora e a boca a jusante exerçam a função de travamento, impedindo que haja o escorregamento dos tubos. A implantação em vala, com o reaterro lateral, proporciona um bom travamento da obra;
- Quando encontrar dificuldade com a altura mínima de aterro sobre a geratriz superior dos bueiros, utilizar os critérios contidos na tabela da pág. 102;
- Na execução do Berço, Contra berço, Boca e Caixa Coletora dos Bueiros, onde se utiliza o concreto ciclópico (concreto com uma determinada resistência especificada no projeto mais a adição de 30% de pedra de mão), este deverá ser fiscalizado com rigor, pois na prática esta proporção tem sido muito maior, chegando a alguns caso até a inverter a proporção especificada. Na execução de um berço de bueiro, após o preparo da forma, deverá ser distribuída na área a ser concretada, as pedras de mão na proporção de 30% do volume total de concreto e somente após deverá ser preenchido o restante do volume com o concreto especificado;
- Na execução de bueiro pelo método não destrutivo, o controle topográfico deverá ser rigoroso para garantia da declividade e alinhamento previstos no projeto;
- Nunca executar bueiro pelo método não destrutivo sem a realização de sondagem no corpo do aterro, na linha de implantação da obra. Esta recomendação visa evitar surpresas que podem ocorrer durante a execução, podendo comprometer o tempo de execução, os custos e qualidade, tais como: Blocos de rocha e solo arenoso no miolo do corpo do aterro;

- Bueiros tubulares existentes que não possuem berço poderão ser aproveitados.
- O berço de um bueiro tubular possui três funções principais: Garantir a declividade e alinhamento dos tubos, garantir a estanqueidade e proporcionar uma maior resistência ao tubo aos esforços da compressão diametral;
- Todos os bueiros tubulares existentes que estiverem em **boas condições de conservação, sem comprometimento da estabilidade de sua estrutura, estiverem limpos e sem a presença de erosão a jusante, deverão ser aproveitados independentemente de seu diâmetro.**
- O que compromete/dificulta os serviços de conservação de um bueiro, não é seu diâmetro e sim um mau projeto e/ou uma má construção colocando-o em situação em que vai provocar constantes assoreamentos ou processo de erosão na saída de sua boca a jusante. Um exemplo que pode ser dado para uma construção inadequada, são os casos quando na implantação do bueiro a sua boca a montante ou a boca a jusante é assentada abaixo do terreno natural ou até mesmo as duas bocas, este bueiro, mesmo com uma conservação eficiente, sempre apresentará situações de assoreamento;
- Quando um bueiro estiver parcialmente ou até mesmo totalmente assoreado, a avaliação para fins de seu aproveitamento deverá ser criteriosa: Primeiramente deverá ser feito um nivelamento do terreno natural a jusante, para que seja possível avaliar a extensão e volume de escavação da vala para que o bueiro volte a funcionar de forma adequada; deverá ser limpo para possibilitar a avaliação estrutural. Caso esteja em bom estado e o assoreamento não tiver como causa a implantação errada do bueiro, com sua entrada ou saída enterrada, o bueiro poderá ser aproveitado;
- Quando o bueiro tubular ou celular for assentado em fundação direta sobre empedramento, deverá ser feito um teste de carga, utilizando um equipamento que estiver mais próximo do local da obra, podendo ser um trator de esteira ou uma escavadeira;
- Quando um bueiro for implantado numa região de encosta, a sua descida d'água a jusante deverá ter comprimento suficiente para lançar o deságüe em local seguro. Esta situação muitas vezes gera descidas d'água muito longas, superiores a 100,0 m; quando encontramos esta situação, deve-se procurar concentrar os escoamentos em um ou dois bueiros. A solução neste caso é coletar as águas com as caixas coletoras e conduzir através de bueiro de greide longitudinal até os locais de deságüe determinados pelo projeto. A distância das caixas coletoras no bueiro longitudinal não deverá ser superior a 60,0 m, para que seja possível realizar os serviços de manutenção;
- Quando o solo de fundação de um bueiro for de boa qualidade, não haverá necessidade da execução do empedramento. O empedramento tem como função melhorar as condições de fundação para o bueiro;
- Antes da execução da boca a montante de um bueiro ou da caixa coletora a montante, verificar se está bem posicionada e na cota correta. Muitas vezes a boca a montante de um

bueiro não fica bem posicionada em relação à direção de entrada do curso d'água, passando então a ocorrer erosão ao lado de sua ala; Já no caso da caixa coletora a montante, poderá sua parede ficar alta dificultando a entrada da água, ocorrendo erosão e até mesmo infiltração do lado de fora de suas paredes;

- O cut-off (anteparo posicionado nas bocas montante e jusante) deverá ser construído nos bueiros onde existem escoamentos perenes das águas. Tem como função impedir que as águas superficiais percolem pela fundação/solo fundação. Quando o anteparo fizer parte do projeto tipo, este obrigatoriamente deverá ser construído.
- O bueiro com tubo tipo Rib Loc, deverá ser executado rigorosamente de acordo com as recomendações e especificações do fabricante. Este tipo de material poderá apresentar problemas e/ou até mesmo romper caso não haja o atendimento total às especificações do fabricante. O rigor citado anteriormente refere-se aos materiais a serem utilizados no reaterro do bueiro e ao processo construtivo;
- As bocas do bueiro tipo Rib Loc, poderão ser em concreto e gabião;
- As bocas do bueiro metálico (Armco) poderão ser em concreto, gabião e até mesmo em Rip-rap (saco de aniagem com solo + cimento);
- As testadas (muros de testa) das alas dos bueiros e paredes de caixas coletoras devem ser paralelas ao eixo da rodovia, mesmo que os bueiros sejam esconsos.
- Os bueiros flexíveis do tipo: metálico (ARMCO STACO), PEAD (KANAFLEX, TIGRE-ADS e ARMCO STACO) e o PVC (Rib Loc) nunca em hipótese alguma podem ser assentados diretamente em base rígida em concreto ou em rocha. No caso de assentamento em rocha deverá ser assentado em um colchão de brita com espessura mínima de 10,0 cm. Tubos flexíveis interagem com o solo circundante para distribuição dos esforços a que estão sujeitos (carga de envoltória+carga de reaterro+cargas de tráfego na superfície).

1.2 • Drenagem Superficial

- Os bueiros de greide deverão ser preferencialmente executados preferencialmente após a conclusão dos serviços de terraplenagem, evitando assim que alguns empréstimos os tornem inadequados;
- Para os tubos a serem utilizados nos bueiros de greide, recomenda-se os mesmos controles para a drenagem de grotas;
- O controle de qualidade dos materiais empregados (concreto e seus agregados) é muito importante, pois mesmo que os dispositivos de drenagem estejam bem dimensionados, a vida útil dos mesmos depende diretamente da qualidade dos materiais utilizados na sua execução, preservando assim a integridade do corpo estradal;
- Outro problema para o qual se deve ficar atento na execução dos dispositivos de drenagem superficial é a garantia de que as dimensões e espessura do concreto e a sua forma estejam

100 % de acordo com o projeto. Deve-se tomar também o cuidado de apiloamento do fundo das escavações necessários a implantação dos dispositivos de drenagem;

- A fiscalização da obra deverá fazer o ajuste do projeto no campo, no que diz respeito à necessidade dos dispositivos projetados e sua localização, em vista das modificações que normalmente são feitas na obra. Ex: Se num determinado trecho a sarjeta de corte e o bueiro de greide foram projetados num corte, mas foi preciso fazer um empréstimo neste corte, com a remoção de todo material, não haverá mais necessidade de sarjeta de corte e muitas vezes poderá eliminar até mesmo o bueiro de greide;

- Para a implantação da sarjeta, deverá ser feita a escavação, remoção do material solto e apiloamento em locais onde houver a necessidade de complementação de material (pequena quantidade);

- A sarjeta deverá sempre ser implantada em solo compactado, principalmente as de aterro. A recomendação é feita para evitar futuras acomodações da sarjeta e posterior quebra com conseqüências desastrosas para a integridade da via;

- O local das saídas d'água de aterro onde o greide tiver uma declividade abaixo de 1,0 % deverá ser marcado com o uso de um caminhão pipa. Ex: Pega-se a mangueira do pipa e libera-se a água na sarjeta até mostrar o ponto onde a água se acumula, este será o ponto onde deverá ser executada a saída d'água;

- Após a definição do local correto para implantação da saída e descida d'água de aterro, deverá ser feita uma raspagem/remoção do material solto (não compactado) da saia de aterro, de forma que o dispositivo seja implantado em solo compactado. O motivo desta recomendação é para evitar futuras acomodações do dispositivo de concreto, que possuiu um peso consideravelmente alto o que, caso seja assentado em material solto, poderá sofrer acomodação e ruptura, vindo então ocasionar as erosões, com posterior comprometimento do meio ambiente e integridade da via;

- O revestimento de concreto nas valetas de proteção de corte, sempre que possível, deverá ser decidido durante a obra da seguinte forma: O revestimento deverá ser feito nos locais onde não houver dúvida da necessidade de revestir, ex: solo arenoso ou siltoso. Mas caso haja dúvida e houver disponibilidade no cronograma de obras, de forma que este passe um período de chuvas em obra, a decisão de revestir deverá ser adiada para o período após as chuvas, pois ficará claro através de sinais, início de erosões no fundo da vala;

- Se o solo for coesivo, as descidas d'água em aterro, quanto este já estiver consolidado, não precisarão ser executadas em concreto armado, podendo ser somente em concreto simples. Para os aterros novos ou mesmo em aterros antigos onde o solo não é coesivo, haverá necessidade de executar a descida d'água em concreto armado;

- As saídas d'água em aterro ou entradas d'água projeto tipo DNIT ED 01 e ED 02 deverão ser utilizadas somente quando o volume d'água a ser captado for pouco significativo. Quando o volume d'água captado for significativo deverá ser utilizada a saída d'água em aterro do DER-MG tipo SDA 01 ou SDA 02;

- As saídas d'água ou entradas d'água projeto tipo DER-MG, possuem uma maior eficácia em relação a de outros órgãos rodoviários;

- Nas saídas d'água de corte, haverá necessidade de dissipador de energia, somente no caso em que o seu deságüe se der em solo não coesivo do tipo arenoso ou siltoso e houver a continuidade de declive do terreno;
- No final de uma descida d'água em aterro, quando a topografia for plana e existir vegetação do tipo grama, não haverá necessidade de implantar qualquer tipo de dissipador de energia;
- Ao instalar uma valeta de proteção revestida de concreto, esta deverá ser encaminhada até a boca montante ou caixa coletora do bueiro. Não é conveniente na maioria dos casos terminar o deságüe antes, mesmo que se construa um dissipador de energia no local, pois as águas poderão se concentrar novamente e vir a causar erosão no solo, caso este não seja coesivo;
- No corte quando existir em sua encosta a montante uma vegetação densa até na sua crista não haverá necessidade de implantação de valeta de proteção. Nesta situação a vegetação retém a água protegendo o corte. Não faz sentido, portanto executar desmatamento com largura aproximada de 4,0m para dar condições da construção da valeta;
- A valeta de proteção de corte, quando interceptar um volume significativo de águas superficiais e possuir uma declividade na descida muito acentuada, deverá ser executada em degraus, para proporcionar a dissipação de energia do escoamento, evitando assim sulcamentos no concreto com posterior erosão do solo;
- As sarjetas de banquetas de corte deverão sempre que possível ser conduzidas para a valeta de proteção;
- Nos cortes onde houver uma camada de argila em seu coroamento com espessura maior ou igual a 2,0 m, não haverá necessidade de revestimento em concreto na valeta de proteção;
- As escavações das sarjetas de corte e sarjetas de aterro deverão ser sempre executadas manualmente. A execução de sarjetas com emprego de equipamentos tipo retroescavadeira pode provocar desagregação/desestruturação das camadas de pavimento, provocando neste local, entre a base e a sarjeta um ponto fraco;
- Na fiscalização de obra rodoviária a espessura das sarjetas deverá ser confirmada, principalmente entre as guias;
- Devem-se evitar comprimentos de sarjeta de corte maiores que 250,0m e sarjeta de aterro 150,0m. O cálculo do comprimento crítico, mesmo que permita comprimentos longos, existe a possibilidade de algum lixo, papéis, latas e sacolas ficarem retidas num determinado ponto, fazendo com que a água vá para a pista podendo causar acidentes aos usuários da via, ou então fazendo com que a sarjeta transborde em local de aterro podendo vir a causar erosão;
- Quando a escavação para execução da sarjeta exceder a uma profundidade maior que a necessária, o material de enchimento deverá se apiloado;
- Ao implantar uma pavimentação numa largura menor que uma de terraplenagem já implantada anteriormente, a sarjeta de corte deverá ser posicionada no pé do corte. Deverá ser plantado grama entre o bordo do pavimento e a sarjeta. Nunca nesta situação a sarjeta

deverá ser posicionada no bordo da pista, pois esta condição provoca a sensação de estrangulamento da pista pavimentada, provocando além de uma sensação visual desagradável uma redução da segurança da via impedindo um veículo no caso de uma pane tenha condições de buscar um refúgio seguro;

- A implantação das sarjetas de corte/aterro deverá ser feita de forma criteriosa de forma que se construa o estritamente necessário. Muitas vezes por excesso de precaução implantam-se extensões a mais de sarjeta sem a real necessidade. Isto implica em maiores custos de implantação e conseqüentemente nos custos de manutenção;
- As caixas coletoras deverão ser posicionadas sempre para dentro do corte. Esta recomendação visa proporcionar maior segurança aos veículos e aos pedestres;
- Na execução de caixas coletoras em cortes, sempre deverá ser deixado a espera/abertura para receber o dreno profundo longitudinal, mesmo que este não esteja previsto no projeto.

1.3 • Drenagem Profunda

• Dreno Profundo Longitudinal

- Na execução dos drenos profundos, a fiscalização deverá fazer com que a construção esteja de acordo com as especificações de obra;
- A vala deverá ser aberta de jusante para montante a fim de evitar acúmulos d'água;
- A declividade do dreno deverá ser, sempre que possível, igual a declividade do greide da rodovia, porém não é recomendado a sua implantação com declividade menor que 1%;
- A largura e profundidade da vala deverá atender ao especificado pelo órgão ou empresa contratante;
- Sempre que na execução de um dreno profundo for encontrada a presença de água, este deverá ser executado com tubo compatível com a vazão, brita e manta geotêxtil não tecida, envolvendo a vala (para solos não coesivos). Caso haja somente presença de umidade o dreno poderá ser construído somente com tubo de concreto poroso/perfurado ou de PEAD (polietileno de alta densidade) envolvido com manta geotêxtil não tecida e material filtrante (areia);
- Os materiais filtrante e drenante, poderão ser naturais ou britado;
- Quando utilizar tubos de concreto poroso ou perfurado, deverá ser feito o rejuntamento dos tubos com argamassa com traço de 1:3;
- Nos drenos profundos onde for utilizada areia no preenchimento da vala, ela deverá ser adensada com água em duas etapas (meia vala e vala inteira);

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •

- Construir caixa de passagem com 1,50m de profundidade e dimensões de 0,80x0,80 metros com tampa de concreto, para possibilitar a execução dos serviços de manutenção. A distância entre as caixas deverá ser no máximo de 60,0m;
- Executar os terminais de dreno profundo, pois isto irá facilitar nos serviços de manutenção. Os terminais poderão ser feitos em peças pré-moldadas;
- Após a implantação do dreno profundo longitudinal, deverá ser cravado um marco no local do terminal com objetivo de facilitar a localização para sua implantação. Outra alternativa seria georreferenciar os locais. O mourão de cerca poderá ser utilizado como marco de identificação. Esta recomendação é feita porque muitas vezes após a implantação do dreno profundo e do terminal antes da conclusão do trecho, é feito um acabamento no trecho/quebrando as leiras (acúmulos de solo resultante da execução da obra), chamado também de pentear, no sentido dar um aspecto de limpeza e beleza, que muitas vezes encobre o terminal com solo, dificultando posteriormente a sua localização para a limpeza. Aqueles que não forem localizados e limpos, não irão funcionar, causando refluxo no escoamento da vala e conseqüentemente, o encharcamento da estrutura do pavimento e a sua redução de vida útil.

• Drenos laterais de base e drenos transversais

- Na execução dos drenos laterais de base e drenos transversais, a fiscalização deverá fazer com que a construção esteja de acordo com as especificações de construção;
- Após a abertura da vala, fazer a limpeza e compactar o fundo de forma a garantir a declividade projetada, que deverá ser a declividade do greide, porém nunca inferior a 0,5%;
- No enchimento da vala com os agregados, fazer um coroamento (excesso de volume) para ajudar no adensamento dos materiais, evitando afundamento futuros;
- Quando ocorrer a necessidade de descarregar o dreno de pavimento num dreno longitudinal profundo de areia, é necessário no local da descarga envolver a brita c/ manta geotêxtil não tecida formando um tubo;
- Sempre que possível descarregar o dreno de pavimento no dreno profundo;
- Executar os terminais dos drenos laterais de base e dos drenos transversais, pois isto irá facilitar nos serviços de manutenção. Os terminais poderão ser feitos em peças pré-moldadas;
- Durante a construção da rodovia após a conclusão do dreno profundo longitudinal, deverá ser cravada uma estaca do tipo mourão de cerca de faixa de domínio, na boca do dreno para facilitar a sua visualização e localização. Após os acabamentos finais deverá ser feito a sua limpeza e a construção do terminal do dreno conforme projeto tipo.

A falta da drenagem profunda e/ou a de pavimento, tem como conseqüência a diminuição da vida útil do pavimento. Porém é bom ressaltar que a falta de qualquer dispositivo nunca e em hipótese alguma, provoca a ruptura imediata da estrutura de um pavimento, e isto é de fácil verificação, basta tomarmos como exemplo um corte com excesso de umidade ou até mesmo com a presença de lençol freático não tendo sido previsto e portanto não foi construído qualquer dispositivo de drenagem. Com certeza a empresa executora da obra não conseguiria atingir o grau de compactação com a energia especificada neste local com excesso de umidade. Haveria necessidade da implantação da drenagem profunda para possibilitar a execução dos serviços de pavimentação.

1.4 • Obras de Arte Especiais - Pontes

- A fiscalização deverá garantir que a obra de arte especial seja executada de acordo com o projeto e atender as especificações de obra;

2 • Manutenção

Os serviços de manutenção estão diretamente ligados com o projeto e com a construção. Quanto melhor o projeto estiver e quanto melhor for construído, menores serão os serviços de manutenção.

Um mau projeto e uma execução adequada, assim como um bom projeto e uma execução inadequada, provocará um aumento significativo nos custos da manutenção e até mesmo no número das intervenções, provocando conseqüentemente o aumento no custo operacional dos veículos e um risco maior para os usuários da via.

Os serviços de manutenção são importantes para garantia do bom funcionamento do sistema de drenagem. Assim como se recomendam nos manuais de manutenção de rodovias, a não execução destes serviços pode provocar a diminuição do tempo de vida útil da rodovia, bem como o aumento do número de acidentes com os veículos.

As principais ocorrências devido a falta da manutenção são: formação de lamina d'água na pista devido a falta de desobstrução dos dispositivos de drenagem, erosões no bordo da pista, escorregamentos de taludes de corte e aterro, rompimentos de aterro, etc...

As principais causas do aumento de acidentes em vista da ausência da manutenção são: travessia de águas na pista, buracos na pista, falta de sinalização horizontal e vertical, estrangulamentos de pista devido às erosões ou escorregamentos.

Podemos observar que em sua maioria, os motivos que levam ao aumento de acidentes estão relacionados a falta ou mau funcionamento dos dispositivos de drenagem.

Após o recebimento da obra de implantação e pavimentação da rodovia pelo órgão contratante, deverá ser feita uma vistoria antes e outra após o período de chuva, para identificar, diagnosticar e conseqüentemente priorizar/ planejar futuras intervenções de correção ou eliminação de possíveis problemas que possam vir comprometer a integridade da rodovia.

2.1 • Bueiros de Grota e Greide

- É necessária a inspeção dos bueiros duas vezes ao ano, sendo uma vez antes do período chuvoso e outra imediatamente após as chuvas. Desta forma identificam-se os problemas de forma imediata, possibilitando o planejamento, priorizando as obras que possuam maior probabilidade de causar problemas à integridade da via;
- Nos serviços de limpeza de um bueiro, além de sua limpeza, muitas vezes ocorre também a necessidade de desobstrução da vala a montante e jusante, bem como a necessidade de serviço de roçada e limpeza da vegetação em suas bocas;

- Na inspeção dos bueiros é importante verificar se o escoamento está se dando de forma correta, sem causar erosão a montante ou jusante. Caso seja identificado qualquer início de processo de erosão, esta deverá ser corrigida imediatamente;
- Ao inspecionar um bueiro e seja identificado algum tubo quebrado, haverá necessidade da avaliação de se recuperar ou não o tubo. Muitas das vezes o tubo quebra na sua implantação, durante a obra, devido à uma compactação inadequada, e se não estiver acontecendo uma acomodação do aterro/esmagamento do bueiro pelo peso próprio do aterro, e o solo que envolve o bueiro for coesivo, não haverá necessidade de sua recuperação;
- Deverá ser implantado em todos os bueiros um marco de concreto, posicionado na sarjeta e/ou na sua boca a montante com as seguintes identificações: diâmetro, comprimento total, esconsidade, declividade e identificação.

2.2 • Drenagem Superficial

- Sarjeta - Os serviços de manutenção das sarjetas de corte e aterro são muito importantes para garantia da integridade da via, bem como a garantia da segurança dos usuários. A limpeza e recomposição das sarjetas visam garantir que o escoamento das águas superficiais se dê dentro da seção do dispositivo, não invadindo a pista de rolamento o que poderia provocar acidentes devido à aquaplanagem e nem ultrapassando a sua seção através de transbordamento em sarjetas de aterro que poderia causar erosão no corpo do aterro.
- Descida d'água - Após o recebimento da obra de implantação e pavimentação da rodovia pelo órgão contratante, deverá ser feita uma vistoria antes e outra após o período de chuva, para identificar, diagnosticar o início de processo de erosão do solo junto às paredes do canal da descida d'água (1º problema) e início de processo de erosão no final do dispositivo (2º problema).
- O 1º problema, tem como causas principais dois fatores: insuficiência do dispositivo para a vazão recebida e/ou escoamento d'água lateral, devido á um encaminhamento inadequado das águas superficiais naquele local. A solução será a elevação das paredes laterais do dispositivo e o encaminhamento do escoamento para o seu interior.
- O 2º problema tem como causa a velocidade no final do dispositivo está muito acima da velocidade de erosão do solo ou o dispositivo não foi construído com o comprimento necessário que o levasse até um local de deságüe adequado de forma a não provocar erosão no solo. A solução, caso a descida d'água esteja com comprimento insuficiente, será prolongar e levar ela até o local considerado adequado. No caso da erosão ser no final do dispositivo devido à velocidade este problema poderá ser sanado somente com a implantação de um dissipador de energia.

2.3 • Drenagem Profunda

- A inspeção do sistema de drenagem profunda deverá ser feita duas vezes ao ano, sendo uma antes do período chuvoso e outra, imediatamente após o período chuvoso. Na manutenção dos drenos de pavimento deverá ser feita a limpeza da tubulação da vala, desobstruindo os terminais para garantir o seu perfeito funcionamento, mantendo livre o escoamento das águas provenientes da interceptação do lençol freático;
- Os terminais de drenos deverão ser mantidos limpos e sem vegetação, de forma que fique bem visível para as vistorias técnicas;
- As caixas de inspeção deverão ser mantidas sempre limpas e com as suas tampas no lugar;
- Após a inspeção caso se verifique algum problema no pavimento que possa ser relacionado com excesso de umidade, deverá ser avaliada a necessidade da abertura de um poço de visita no pé do corte, no local do dreno profundo, para verificação de sua integridade e funcionamento;
- Em uma rodovia recentemente pavimentada com dreno de pavimento e este estiver funcionando no período chuvoso com uma quantidade significativa de água, não é um bom sinal como possa parecer, deverá ser analisada esta situação de forma mais criteriosa, pois provavelmente está entrando água em locais não convenientes e que se não identificados e corrigidos poderá vir a prejudicar o pavimento.

IV - Parceiros Patrocinadores

Contatos e Produtos

Relação dos Parceiros que colaboraram para a edição desta apostila, o que possibilita estas de serem fornecidas gratuitamente aos participantes de todos os eventos que temos participado: Cursos de Drenagem de Rodovias, Cursos de Drenagem de Ferrovias, Seminários de Drenagem Urbana e de Rodovias, Cursos de MBA em Infraestrutura de transportes, Palestras em Congressos e outros eventos.



ArcelorMittal

e-mail: acerlormittalnet@acelormittal.com.br

tel.: 0800 0151221

Contato técnico: Antônio Paulo Pereira

Gerente de Desenvolvimento de Produtos e Mercado – Construção Civil

e-mail: antoniop.pereira@acelormittal.com.br

Tel.: (11) 3638.6624 e (11) 9 8355 74 92

Produtos: Arcelor Mittal – Aços Longos

Contato técnico: José Ribeiro Júnior

e-mail: jjunior.gabiao@globo.com

Tel.: (31) 3297.3483

Produtos: Gabião, Gabianco e outros.

Kanaflex[®]

S/A INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS

www.kanaflex.com.br

Contato: Eduardo Bertella

e-mail: eduardo@kanaflex.com.br

tel.: (11) 3779.1697 (11) 9 86 02 29 07

Contato técnico: Osvaldo Barbosa

e-mail: osvaldo@kanaflex.com.br

Tel.: (11) 3779.1655 (21) 2557.3902 (21) 99989.7172

Produtos: Tubo dreno perfurado de PEAD,
Tubo PEAD para bueiro e outros.

• Drenagem de Rodovias - Marcos Augusto Jabôr •



www.tigre-ads@tigre-ads.com

Contato: Eduardo Pozzani Reis

e-mail: *ereis@tigre-ads.com*

tel.: (11) 2109.0354 (11) 9 63 55 44 94

Produtos: Tubo PEAD para bueiro.



www.armstacco.com

Contato: Fernando Beltrão

e-mail: *fbeltrao@armstacco.com*

tel.: (21) 2472.9110

Contato técnico:

Eng. Luiz Antônio Maranhão Pereira - **Gerente de Produto**

e-mail: *lamp@armcostacco.com*

Tel.: (21) 2472.9112 (21) 99780.6285

Produtos: Bueiro Metálico, Tubo PEAD para bueiro - Wheholite e outros.



Contato: Carolina Yume

e-mail: *tecnico.abtc@abtc.com.br*

tel.: (11) 3763.3637 (11) 94745.6426

Produtos: Tubo de concreto e galeria em aduelas.


ArcelorMittal




ADS TIGRE




ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DOS FABRICANTES DE
TUBOS DE CONCRETO




armco staco




S/A INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS



Campos
Jabôr

Engenharia e Consultoria Ltda.