RODOANEL METROPOLITANO
DE BELO HORIZONTE

# Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de BH

## Estudos Hidrológicos e Drenagem Conceitual - Alça Sul


**Resumo**

Este documento contém informações sobre o Estudo Hidrológico e Projeto de Drenagem Conceitual de segmento referente ao trecho da Alça Sul do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte, a ser desenvolvido pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade do Governo do Estado de Minas Gerais, em parceria com o Movimento Brasil Competitivo.


**Julho, 2021**

# ÍNDICE

1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS - INTRODUÇÃO ..... 2
1.1. COLETA DE DADOS ..... 3
1.2. CLIMA E PLUVIOMETRIA NA ÁREA DO PROJETO ..... 3
1.2.1. Clima e Temperatura ..... 3
1.2.2. Definição dos Modelos de Chuva ..... 10
1.3. ESTUDOS HIDROLÓGICOS ..... 10
1.3.1. Parâmetros Hidrológicos ..... 10
1.3.2. Período de Recorrência ..... 17
1.3.3. Tempo de Concentração (Tc) ..... 17
1.3.4. Duração da Chuva de Projeto (D) ..... 17
1.3.5. Coeficiente de Escoamento Superficial (C) ..... 17
1.3.6. Caracterização das Bacias ..... 18
1.4. ESTIMATIVA DE DESCARGAS MÁXIMAS NAS BACIA ..... 18
1.4.1. Métodos de Análise ..... 18
1.4.2. Plantas de Bacias ..... 27
2. PROJETO DE DRENAGEM ..... 28
2.1. INTRODUÇÃO ..... 28
2.2. DEFINIÇÕES ..... 28
2.3. DRENAGEM SUPERFICIAL ..... 29
2.3.1. Sarjetas e Meios-fios de Concreto ..... 29
2.3.2. Sarjetas de Canteiro Central ..... 32
2.3.3. Valetas de Proteção de Corte: ..... 33
2.3.4. Valetas de Proteção de Aterros ..... 34
2.3.5. Valetas para Banquetas de Aterros e Cortes ..... 34
2.3.6. Saídas d'água de aterro simples e duplas ..... 35
2.3.7. Saídas d'água em corte ..... 35
2.3.8. Descidas D'Água de Aterro e Corte ..... 35
2.3.9. Bueiros de Greide ..... 35
2.3.10. Caixas Coletoras com grelha de concreto ..... 36
2.3.11. Dissipadores de Energia ..... 36
2.4. DRENAGEM DE GROTAS ..... 36
2.5. DRENAGEM PROFUNDA ..... 38
2.5.1. Dreno Longitudinal Profundo de Corte em Solo ..... 38
2.5.2. Dreno de Pavimento ..... 38
2.5.3. Dreno de Talvegue ..... 38

2.5.4. QUANTITATIVOS ..... 39

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Clima Zonais ..... 5
Figura 2 – Mapa de Climas do Brasil (Minas Gerais em destaque) ..... 6
Figura 3 - Classificação climática Köppen-Geiger ..... 7
Figura 4 - Classificação climática Köppen-Geiger ..... 8
Figura 5 - Mapa de Alturas de Precipitação na RMBH ..... 12
Figura 6 - Hidrograma Unitário do U.S. Soil Conservation Service. ..... 20
Figura 7 - SCA - Sarjeta de concreto em aterro ..... 30
Figura 8 - SCC - Sarjeta de concreto em corte ..... 30
Figura 9 - Seção transversal tipo – Aterro ..... 31
Figura 10 - Seção transversal tipo – Corte ..... 32
Figura 11 - SCC - Sarjeta de canteiro central ..... 32
Figura 12 - Valeta de Proteção de Corte - VPC 03 ..... 33
Figura 13 - Valeta de Proteção de Corte - VPC 04 ..... 33
Figura 14 - Valeta de Proteção de Aterro - VPA 03 ..... 34
Figura 15 - Valeta de Proteção de Aterro - VPA 04 ..... 34

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro resumo das características climáticas da região de belo horizonte . 4
Tabela 2 - Quantidades adimensionais x duração x frequência ..... 13
Tabela 3 - Quantidades Adimensionais de Frequência Regional ($\mu \boldsymbol{T}, \boldsymbol{d}$)..... 15
Tabela 4 - Estimativa de Intensidades Pluviométricas em mm/h para intensidade média anual de 1700mm ..... 16
Tabela 5 - Valores do coeficiente de escoamento superficial (C) ..... 18
Tabela 6 – Índice de Radiação ..... 19
Tabela 7 - Condições de solo US SCS ..... 22
Tabela 8 - Correspondência entre os valores de CN para diversas condições de umidade do solo ..... 24
Tabela 9 - Valores do Número de Deflúvio (CN) ..... 25
Tabela 10 – Quadro Resumo de Vazões..... 26
Tabela 11 - Comprimentos Críticos para Sarjeta de Aterro – SCA 70/30 ..... 31
Tabela 12 - Comprimentos Críticos para Sarjeta de Corte – SCC 90/30 ..... 32
Tabela 13 - Comprimentos Críticos para Sarjeta de Canteiro central – SCC 02 ..... 33
Tabela 14 - Valeta de Proteção de Banqueta - VPA e VPC ..... 35
Tabela 15 - Planilha de Cálculo – Bueiros de Talvegue..... 37

# 1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS - INTRODUÇÃO

Este estudo demonstra a aplicação de modelos pluviais no dimensionamento das obras necessárias para implantação do sistema de drenagem da rodovia em estudo.

O dimensionamento do sistema de drenagem, quanto à seção de vazão, apresenta dois aspectos distintos. O primeiro corresponde aos estudos hidrológicos para a fixação do valor da vazão a ser empregada e o segundo, de natureza hidráulica, compreende o dimensionamento propriamente dito do sistema de drenagem para permitir a passagem da descarga.

O primeiro passo no projeto de um sistema de drenagem pluvial é a quantificação da água a ser escoada. Na quase totalidade dos casos os projetos de drenagem referem-se a áreas sem registros de vazões; portanto as vazões de projeto devem ser sintetizadas a partir dos dados de precipitação.

Desta forma, são consideradas principalmente, as precipitações que ocorrem na região que tem influência direta ao projeto, objetivando a determinação das estimativas de cheias máximas prováveis. Entende-se como cheias máximas as fortes precipitações contínuas, com duração, de no máximo, poucas horas (2 horas, em média), ou segundo o U.S. Corpsof Engineers dos E.U.A, como “a vazão que pode ser esperada em consequência do conjunto mais desfavorável de condições meteorológicas e hidrológicas que podem ser razoavelmente consideradas como características da região geográfica interessada, excluindo as combinações extremamente raras”. Essas cheias máximas serão úteis ao dimensionamento das obras de engenharia, como sistema de drenagem superficial e de grota, que se fizerem necessárias na rodovia em questão.

Este projeto tem características próprias por se tratar de uma área da região metropolitana de Belo Horizonte a ser densamente ocupada após a implantação deste empreendimento. Este fato nos leva a considerar a mudança das características do ciclo hidrológico ocorridas nesta área (diminuição das áreas de infiltração, aumento da velocidade de escoamento, necessidade de verificação dos coeficientes de segurança a serem utilizados). Este fato direciona os estudos hidrológicos para verificação da capacidade hidráulica dos cursos d’água existentes e o dimensionamento dos novos dispositivos a serem implantados.

Para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos e do projeto de drenagem, foram utilizados os critérios adotados pelo DER- Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais.

Nesses trabalhos foram considerados os seguintes itens:

- Coleta de dados;
- Clima e pluviometria na área do projeto;
- Definição do modelo de chuvas a ser utilizado no projeto;
- Estimativas das descargas máximas nas bacias, por ocasião das chuvas intensas;
- Resultados obtidos.

## 1.1. COLETA DE DADOS

A coleta de dados para os Estudos Hidrológicos foi desenvolvida com a finalidade de permitir a caracterização climática e pluviométrica na área do projeto e o levantamento das condicionantes topográficas e geomorfológicas das bacias interceptadas.

Foram obtidos diversos elementos, conforme itens abaixo:

- Pluviométricos; alturas mensais de chuva, fornecidas pela ANEEL, cujas informações são disponibilizadas pela internet em seu serviço denominado Hidroweb, do posto 01943022 – Caixa de Areia do Município de Belo Horizonte MG. Para o período compreendido entre os anos de 1941 e 2005;
- Máximas chuvas diárias para o posto e períodos acima;
- Número de dias de chuva para o posto e períodos acima;
- Dados climáticos para o posto 83587 - Belo Horizonte / MG, da obra “Normais
- Climatológicas (1961 – 1990), elaborada pelo Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária de 1992”;
- Cartas topográficas do IBGE de Contagem (Folha SE-23-Z-C-V-4), Belo Horizonte (Folha SE-23-Z-C-VI-3), Brumadinho (Folha SF-23-X-A-II-2), e Rio Acima (Folha SF-23-X-A-III-1), na escala 1:50.000;
- Mapa de Clima do Brasil – IBGE, Escala 1:5.000.000, datado de 2002;
- Classificação Climática de Köppen-Geiger.

## 1.2. CLIMA E PLUVIOMETRIA NA ÁREA DO PROJETO

Através de textos e dados coletados referentes ao clima, buscou-se um entendimento desse fenômeno e a sua manifestação na área do empreendimento em questão, como precipitações e temperaturas, entre outras. Como se sabe a precipitação, por exemplo, é um fenômeno explicado pelo entendimento do clima, que depende de fatores estáticos (topografia, altitudes, longitudes, latitudes, presença de serras, vales etc.) e de fatores dinâmicos como as correntes de circulação atmosférica (os anticiclones, as correntes perturbadas etc.).

Assim, acredita-se que uma compreensão mínima dos aspectos inerentes ao clima é desejável para se estudar as precipitações e determinar postos ou modelos pluviográficos aplicáveis a uma região.

### 1.2.1. Clima e Temperatura

Para caracterização climática da região foram utilizadas as informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e a caracterização climática de Koppen-Geiger.

Analisando o Mapa de Clima do Brasil do IBGE obtemos para a região em estudo a classificação climática como sendo do tipo Tropical Brasil Central, Semiúmido. Este tipo climático é caracterizado por uma temperatura média entre 15º e 18º em pelo menos um mês. Tem um período seco que varia entre 4 e 5 meses.

A temperatura mínima média na região é de 16,7º sendo os meses entre Junho e Agosto os mais frios chegando a uma média de 13, 6º. Os meses mais quentes estão compreendidos entre Janeiro e Março onde a temperatura máxima atinge em média 8, 5º.

Porém neste período as temperaturas podem chegar até 36,0º em um dia. A região tem umidade relativa do ar média igual a 72,2%, apresenta um índice de evaporação de 101,5 mm. A seguir é apresentado o quadro resumo das características climáticas da região. Os dados foram retirados da obra Normais Climatológicas para o posto Belo Horizonte.

**Tabela 1 -** Quadro resumo das características climáticas da região de belo horizonte

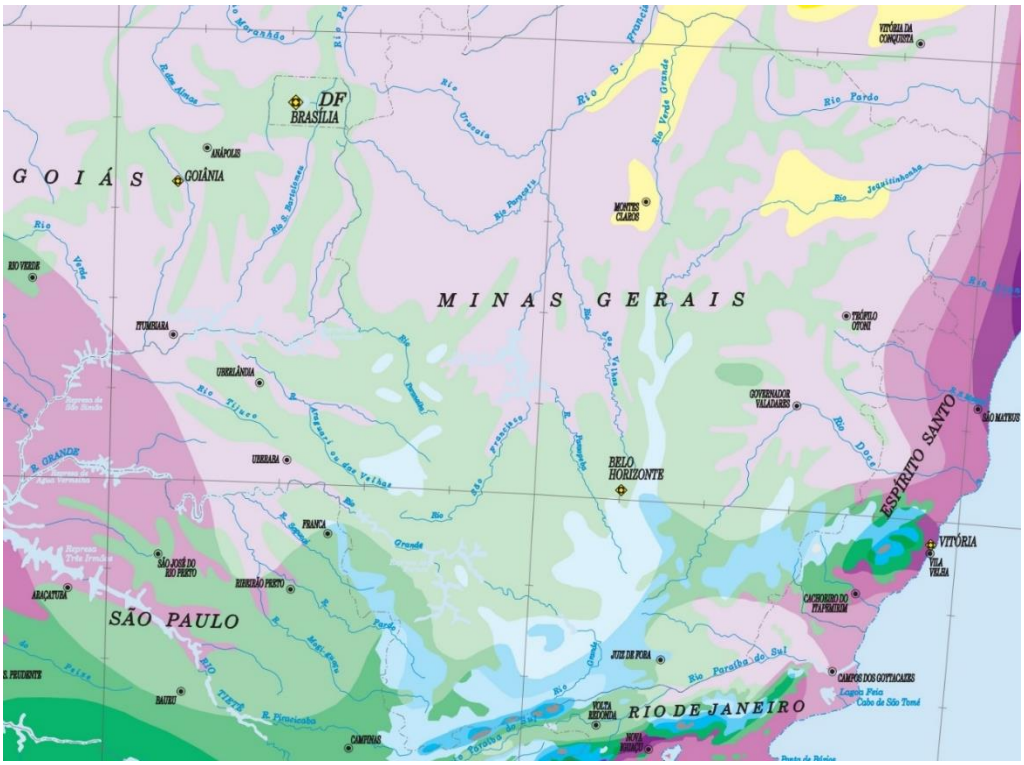
| Estação: Belo Horizonte | | | | | | Código: 83587 | | | | | | Período de Observação: 29 anos | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Operadora: DNM | | | | | | Latitude: 19.56 | | | | | | Longitude: 43.56 | |
| **Dados** | **Jan** | **Fev** | **Mar** | **Abr** | **Mai** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Set** | **Out** | **Nov** | **Dez** | **Total** | **Média Anual** |
| Temperatura Máxima (°C) | 28,2 | 28,8 | 28,6 | 27,5 | 26,0 | 25,0 | 24,6 | 26,5 | 27,2 | 27,7 | 27,5 | 27,3 | | 27,1 |
| Temperatura Média (°C) | 22,8 | 23,2 | 23,0 | 21,1 | 19,8 | 18,5 | 18,1 | 19,0 | 21,0 | 21,9 | 22,2 | 22,2 | | 21,1 |
| Temperatura Mínima (°C) | 18,8 | 19,0 | 18,8 | 17,3 | 15,0 | 13,4 | 13,1 | 14,4 | 16,2 | 17,5 | 18,2 | 18,4 | | 16,7 |
| Amplitude Absoluta (°C) | 20,3 | 18,9 | 20,6 | 21,5 | 23,9 | 26,9 | 25,0 | 26,6 | 25,5 | 25,5 | 25,3 | 20,9 | | 23,4 |
| Insolação (horas) | 189,8 | 195,5 | 215,1 | 228,9 | 237,1 | 240,1 | 256,5 | 255,6 | 210,1 | 190,5 | 181,7 | 165,1 | 2.566,0 | 213,8 |
| Evaporação (mm) | 86,7 | 84,7 | 95,3 | 92,4 | 92,8 | 92,4 | 105,7 | 132,1 | 137,2 | 117,7 | 96,3 | 84,1 | 1.217,4 | 101,5 |
| Precipitação Média (mm) (*) | 350,9 | 215,1 | 192,9 | 76,6 | 31,0 | 13,7 | 12,7 | 11,9 | 48,4 | 117,8 | 261,6 | 392,1 | 1.724,7 | 143,7 |
| Dias de Chuvas (número) (*) | 16,0 | 12,0 | 12,0 | 6,0 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 9,0 | 14,0 | 18,0 | 101,0 | 8,4 |
| Umidade Relativa (%) | 79,0 | 75,1 | 74,7 | 73,9 | 72,5 | 71,4 | 68,7 | 64,5 | 65,1 | 69,8 | 74,1 | 78,0 | | 72,2 |

Ind. Pluviométrico Anual (mm) (*): 1734,00
Altitude da Estação:
850,02
Clima: Class. IBGE: Tropical Brasil Central, Semi-Úmido; Class. Koppen: Aw/Cwa
Vegetação: Savana (Cerrado)/Floresta Estacional
Fonte: Normais Climatológicas 61/90 (Departamento Nacional de Metodologia)
Observação: (*) Os dados pluviométricos foram retirados da Agência Nacional de Águas - Estação Caixa de Areiai - BH/MG

A seguir são apresentados os Mapas que caracterizam o clima acima descrito.

**Figura 1 – Mapa de Clima Zonais[1]**

[1] Fonte: Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa. Escala 1:5 000 000. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html>. Acesso em: abr. 2016.


DF
BRASÍLIA
GOIÁS
GOIÂNIA
ANÁPOLIS
MINAS GERAIS
BELO HORIZONTE
ESPÍRITO SANTO
VITÓRIA
SÃO PAULO
RIO DE JANEIRO
UBERLÂNDIA
UBERABA
FRANCA
RIBEIRÃO PRETO
SÃO JOSÉ DO RIO PRETO
ARAÇATUBA
BAURU
CAMPINAS
JUIZ DE FORA
CAMPOS DOS GOYTACAZES
MONTES CLAROS
GOVERNADOR VALADARES
TEÓFILO OTONI
CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM
ITUMBIARA
RIO VERDE
VITÓRIA DA CONQUISTA
SÃO MATEUS
VILA VELHA
Rio Paraíba do Sul
Rio Doce
Rio Pardo
Rio Verde Grande
Rio Grande
Rio Paranaíba
Rio Tietê
Rio Paraná
Rio Jequitinhonha
Rio Mucuri
Rio Pardo
Rio Jequitinhonha
Rio Verde
Rio Tijuco
Rio Paranaíba
Rio Grande
Rio Tietê
Represa de São Simão
Represas Três Irmãos
Represas de Água Vermelha
Rio Paraíba do Sul
Rio Doce
Rio Paraíba do Sul
Rio Paraíba do Sul
Rio Doce
Rio Paraíba do Sul
Rio Doce
Rio Paraíba do Sul
Rio Doce

Segundo Koppen-Geiger, a região onde se localiza o objeto deste estudo se encontra em dois tipos climáticos o AW, clima tropical com estação seca de Inverno e o Cwa, clima temperado úmido com Inverno seco e Verão quente. É apresentado a seguir o mapa climático contendo a classificação de Köppen-Geiger.

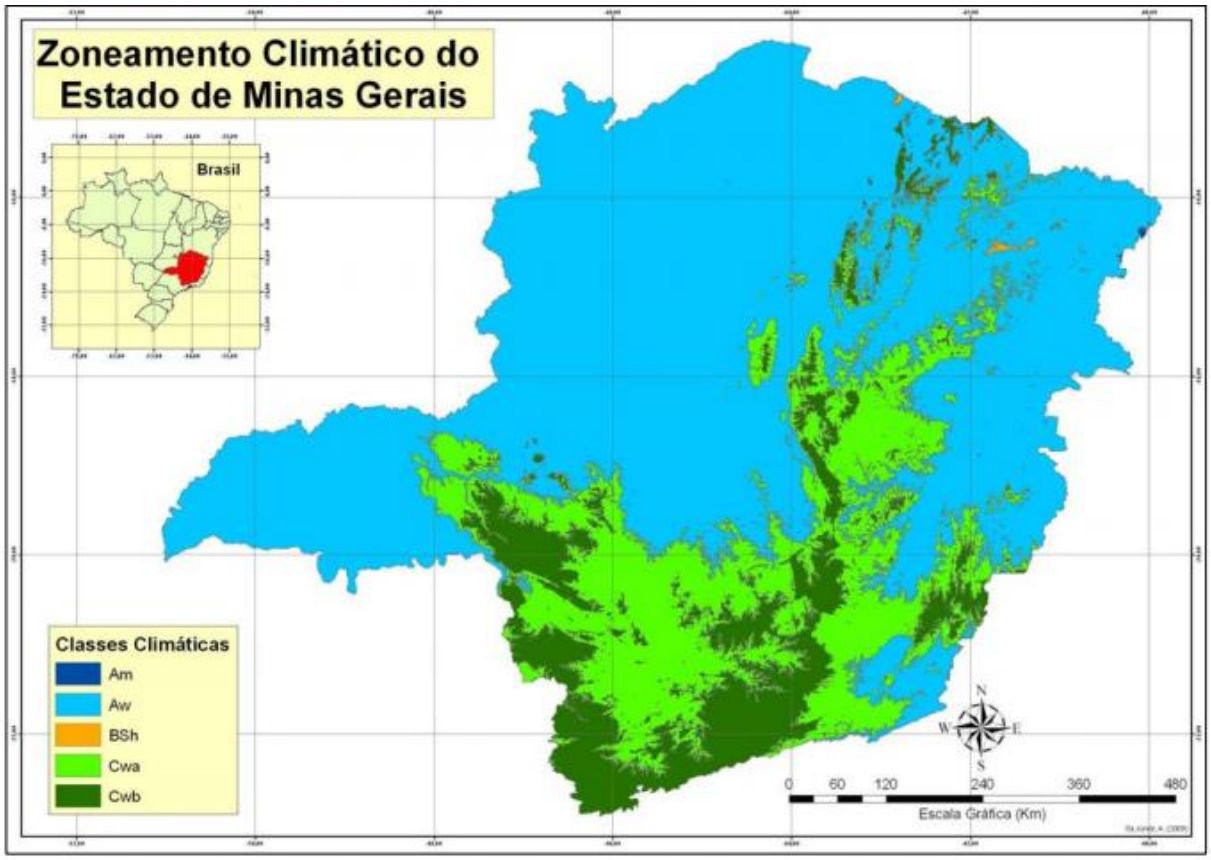



**Figura 3 - Classificação climática Köppen-Geiger**

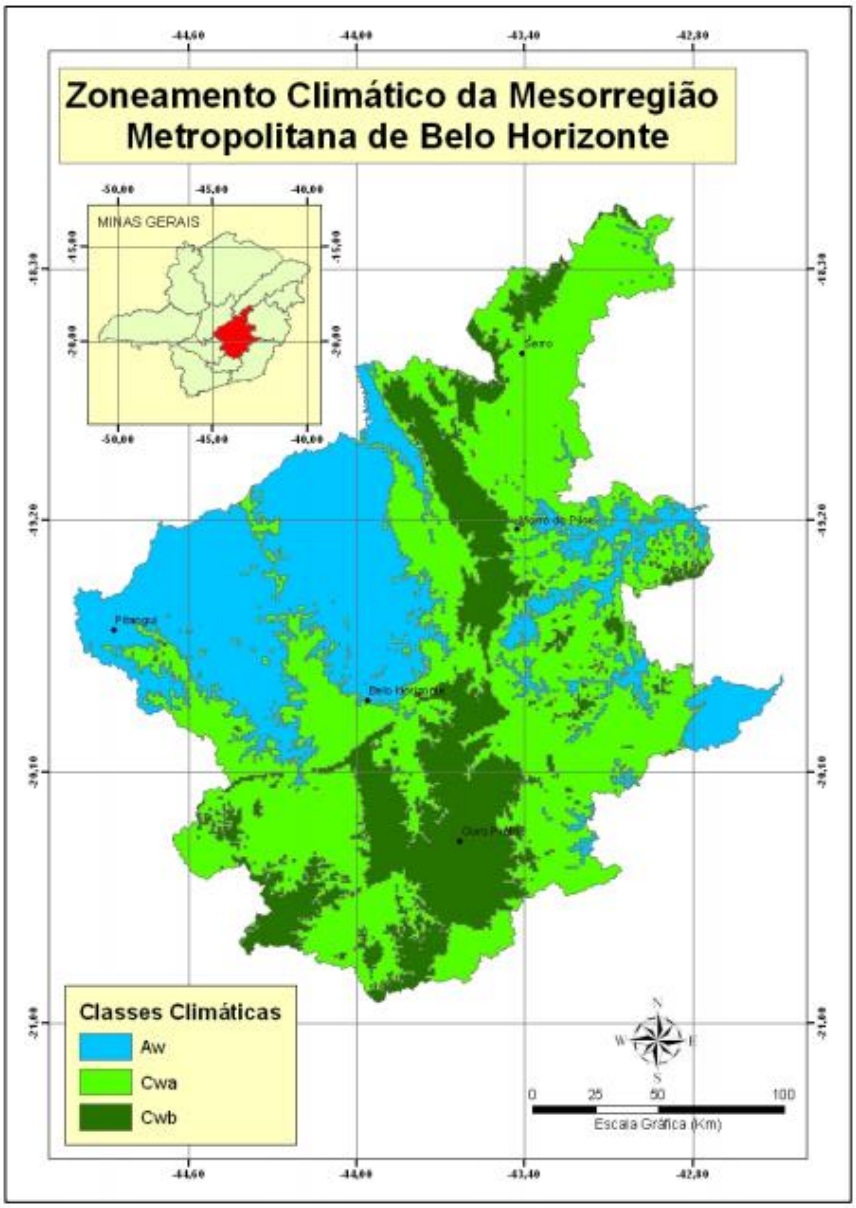



**Figura 4 - Classificação climática Köppen-Geiger [3]**

Belo Horizonte conta com uma estação de dados pluviométricos. A estação de código 01943022, de nome CAIXA DE AREIA, da bacia RIO SÃO FRANCISCO (4), sub-bacia RIO SÃO FRANCISCO, DAS VELHAS (41), rio CÓRREGO DA SERRA, município BELO HORIZONTE-MG, Responsável ANA, Operadora CPRM, de latitude – 19º56’42’’ e longitude – 43º54’45’’, possui dados pluviométricos observados (ANA, 2005), que podem ser utilizados pela proximidade com a área em estudo. Os demais postos identificados não possuem quantidade significativa de dados cadastrados.

Pelos registros pluviométricos da estação estudada, observa-se a existência de dois períodos distintos: um seco, de junho a agosto, e outro chuvoso, de novembro a março,

[3] Fonte: Junior, Arionaldo de Sá, 2009, pág. 69.

com maior incidência de chuva nos meses de Dezembro e Janeiro. Os meses de maio e setembro são de transição entre o período seco e chuvoso. A seguir é apresentado um quadro com as características pluviométricas de cada estação.

A precipitação média anual é de 1734 mm, sendo a média mensal igual a 143,7 mm. Nos meses de dezembro a janeiro temo um valor médio de precipitação de 371,5 mm. Os meses compreendidos entre outubro e março correspondem a 88% da precipitação total anual.

Chove em média 102 dias do ano, sendo que no período compreendido entre junho e agosto, chove apenas 6 dias em média. No período mais crítico citado no parágrafo acima chega a chover até 18 dias em um único mês.

Os histogramas com as normais mensais de precipitação e o número de dias de chuva dos postos são apresentados a seguir.

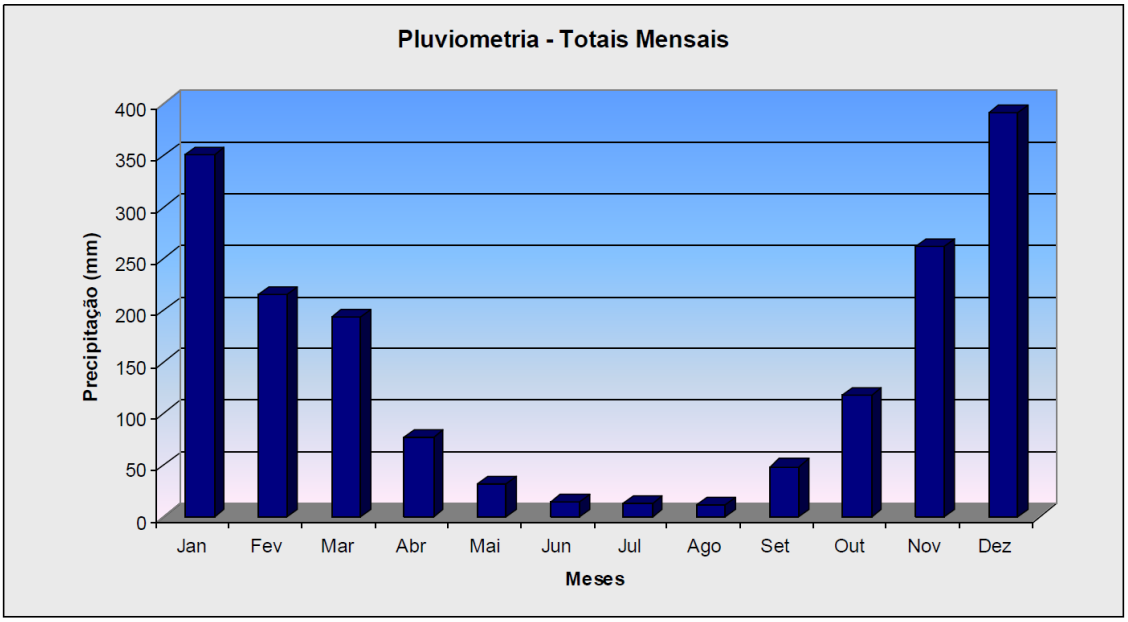



**Gráfico 1 - Histograma de Totais Mensais – Posto Belo Horizonte**

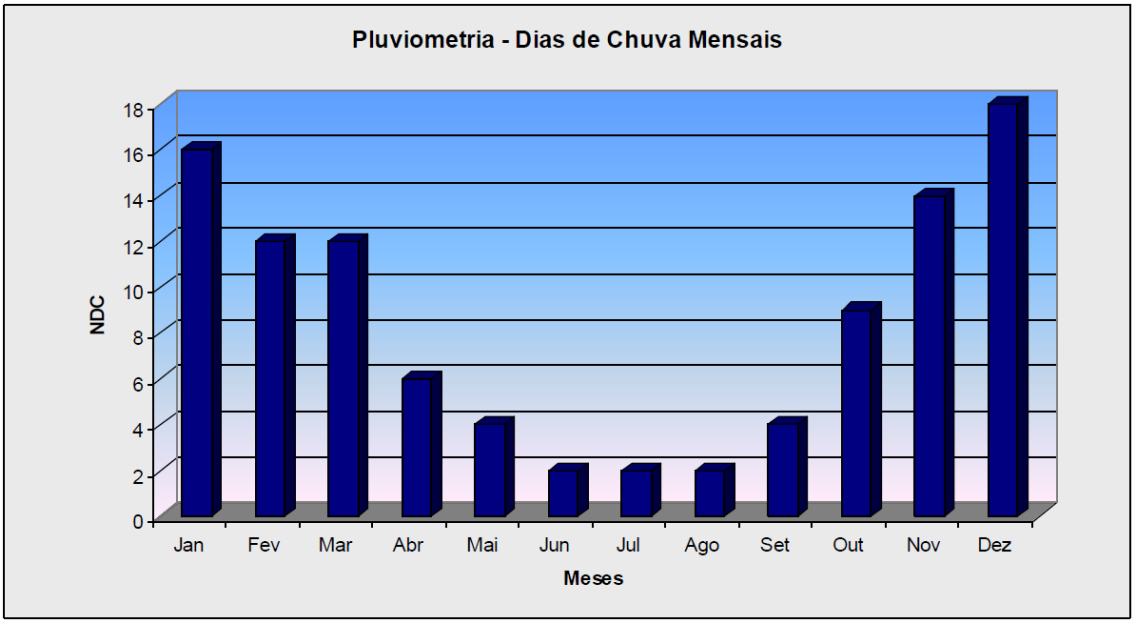



**Gráfico 2 - Histograma de Dias de Chuva – Posto Belo Horizonte**

### 1.2.2. Definição dos Modelos de Chuva

Chove em média 102 dias do ano, sendo que no período compreendido entre junho e agosto, chove apenas 6 dias em média. No período mais crítico citado no parágrafo acima chega a chover até 18 dias em um único mês.

Os histogramas com as normais mensais de precipitação e o número de dias de chuva dos postos são apresentados a seguir.

Para a definição das curvas de intensidade – duração – frequência das precipitações, a serem adotadas no presente estudo, foi utilizado o estudo apresentado por Márcia M. G. Pinheiro – Estudo de Chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH.

## 1.3. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

### 1.3.1. Parâmetros Hidrológicos

#### 1.3.1.1. Intensidade Pluviométrica

A metodologia a ser estudada está contida na publicação “Estudo de Chuvas Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH” desenvolvido por Márcia Maria Guimarães Pinheiro, publicado em Belo Horizonte em 1997.

Este estudo teve como objetivo efetuar uma caracterização global do regime pluviométrico na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, através da análise do conjunto de dados pluviográficos disponíveis e de técnicas modernas de regionalização, visando à obtenção de equação do tipo IDF e de hietogramas de projetos regionais.

A equação desenvolvida neste estudo é apresentada a seguir:

$$\hat{I}_{T,i} = 0{,}76542.D^{-0{,}7059}.PA^{0{,}5360}.\mu_{T,d}$$

Para:

- ≤ 200 anos; e
- 10 minutos ≤ D ≤ 24 horas.

Sendo:

- $\hat{I}_{T,i}$= estimativa da intensidade média do local i, associada ao período de retorno
- (mm/h);
- D = duração da precipitação (horas);
- PA = precipitação total anual média (mm);
- $\mu_{T,d}$= fator “index-flood” associado ao período de retorno T e à duração da precipitação d, conforme tabela publicada no referido estudo.

Uma vez comparados os resultados obtidos, percebe-se ligeira diferença entre os mesmos. Tendo em vista o fato do estudo desenvolvido para RMBH ser um estudo específico para a região onde se encontra o objeto deste trabalho, o adotaremos para definição das intensidades pluviométricas e alturas de precipitação.

A precipitação média anual a ser adotada nos estudos e projetos de macro e microdrenagem, na região metropolitana de Belo Horizonte, será de 1.700 mm. A seguir são apresentados o Mapa de Alturas de Precipitação na RMBH, gráficos utilizados neste estudo e quadro resumo contendo a intensidade média de precipitação.

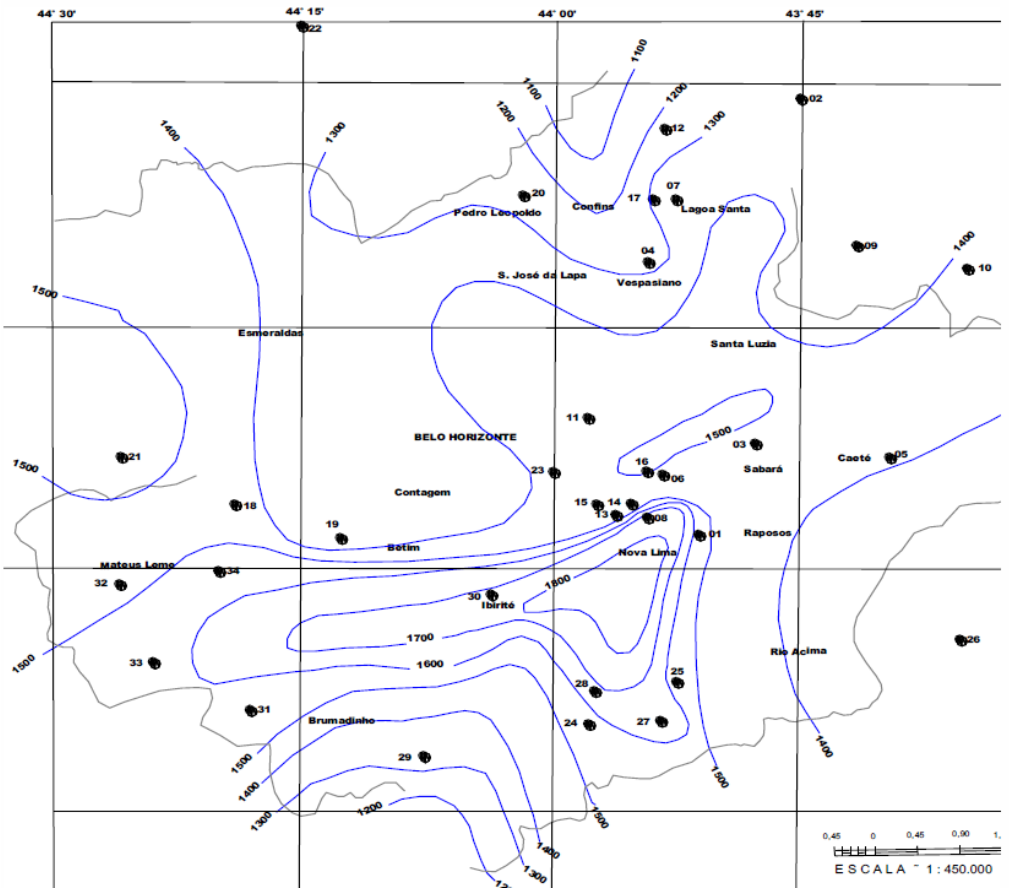



**Figura 5 - Mapa de Alturas de Precipitação na RMBH**

**Tabela 2 - Quantidades adimensionais x duração x frequência**

| | TR | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| μ(T,d)/Tc | 1,05 | 1,25 | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| 10 | 0,691 | 0,828 | 1,013 | 1,428 | 1,586 | 1,791 | 1,945 | 2,098 |
| 15 | 0,695 | 0,830 | 1,013 | 1,422 | 1,578 | 1,780 | 1,932 | 2,083 |
| 30 | 0,707 | 0,836 | 1,013 | 1,406 | 1,557 | 1,751 | 1,897 | 2,043 |
| 45 | 0,690 | 0,827 | 1,013 | 1,430 | 1,589 | 1,795 | 1,949 | 2,103 |
| 60 | 0,679 | 0,821 | 1,014 | 1,445 | 1,610 | 1,823 | 1,983 | 2,143 |
| 120 | 0,683 | 0,823 | 1,014 | 1,439 | 1,602 | 1,813 | 1,970 | 2,128 |
| 180 | 0,679 | 0,826 | 1,014 | 1,445 | 1,610 | 1,823 | 1,983 | 2,143 |
| 240 | 0,688 | 0,826 | 1,013 | 1,432 | 1,591 | 1,798 | 1,953 | 2,108 |
| 480 | 0,674 | 0,818 | 1,014 | 1,451 | 1,618 | 1,834 | 1,996 | 2,157 |
| 840 | 0,636 | 0,797 | 1,016 | 1,503 | 1,690 | 1,931 | 2,112 | 2,292 |
| 1440 | 0,603 | 0,779 | 1,017 | 1,550 | 1,754 | 2,017 | 2,215 | 2,412 |

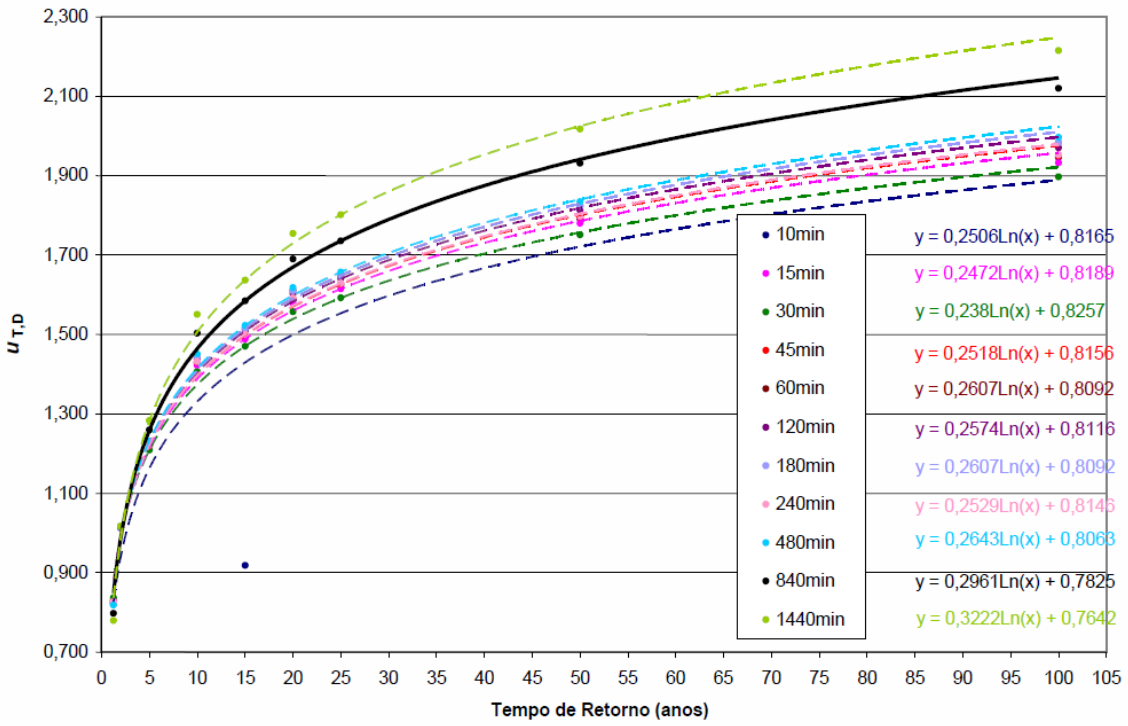



Gráfico 3 - Fator Admensional x TR

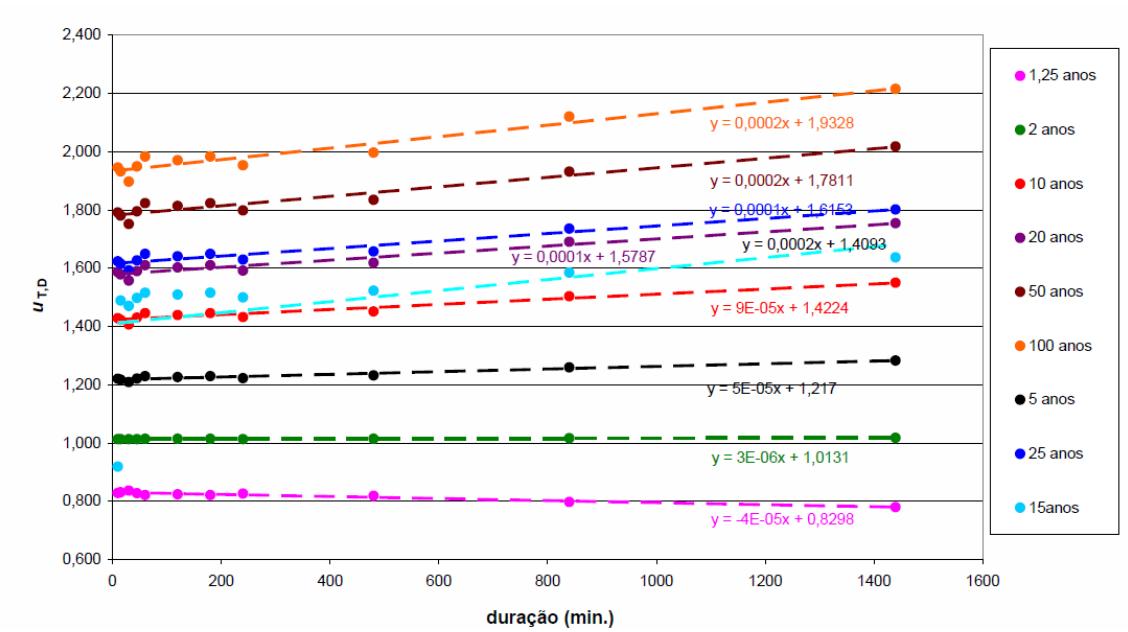



Gráfico 4 – Fator index-flood

**Tabela 3 - Quantidades Adimensionais de Frequência Regional ($\mu_{T,d}$)**

| Duração (min) | TR (anos) | | | Duração (min) | TR (anos) | | | Duração (min) | TR (anos) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 15 | 25 | 50 | | 15 | 25 | 50 | | 15 | 25 | 50 |
| 10 | 1,4113 | 1,6163 | 1,7831 | 47 | 1,4187 | 1,6200 | 1,7905 | 84 | 1,4261 | 1,6237 | 1,7979 |
| 11 | 1,4115 | 1,6164 | 1,7833 | 48 | 1,4189 | 1,6201 | 1,7907 | 85 | 1,4263 | 1,6238 | 1,7981 |
| 12 | 1,4117 | 1,6165 | 1,7835 | 49 | 1,4191 | 1,6202 | 1,7909 | 86 | 1,4265 | 1,6239 | 1,7983 |
| 13 | 1,4119 | 1,6166 | 1,7837 | 50 | 1,4193 | 1,6203 | 1,7911 | 87 | 1,4267 | 1,6240 | 1,7985 |
| 14 | 1,4121 | 1,6167 | 1,7839 | 51 | 1,4195 | 1,6204 | 1,7913 | 88 | 1,4269 | 1,6241 | 1,7987 |
| 15 | 1,4123 | 1,6168 | 1,7841 | 52 | 1,4197 | 1,6205 | 1,7915 | 89 | 1,4271 | 1,6242 | 1,7989 |
| 16 | 1,4125 | 1,6169 | 1,7843 | 53 | 1,4199 | 1,6206 | 1,7917 | 90 | 1,4273 | 1,6243 | 1,7991 |
| 17 | 1,4127 | 1,617 | 1,7845 | 54 | 1,4201 | 1,6207 | 1,7919 | 91 | 1,4275 | 1,6244 | 1,7993 |
| 18 | 1,4129 | 1,6171 | 1,7847 | 55 | 1,4203 | 1,6208 | 1,7921 | 92 | 1,4277 | 1,6245 | 1,7995 |
| 19 | 1,4131 | 1,6172 | 1,7849 | 56 | 1,4205 | 1,6209 | 1,7923 | 93 | 1,4279 | 1,6246 | 1,7997 |
| 20 | 1,4133 | 1,6173 | 1,7851 | 57 | 1,4207 | 1,6210 | 1,7925 | 94 | 1,4281 | 1,6247 | 1,7999 |
| 21 | 1,4135 | 1,6174 | 1,7853 | 58 | 1,4209 | 1,6211 | 1,7927 | 95 | 1,4283 | 1,6248 | 1,8001 |
| 22 | 1,4137 | 1,6175 | 1,7855 | 59 | 1,4211 | 1,6212 | 1,7929 | 96 | 1,4285 | 1,6249 | 1,8003 |
| 23 | 1,4139 | 1,6176 | 1,7857 | 60 | 1,4213 | 1,6213 | 1,7931 | 97 | 1,4287 | 1,6250 | 1,8005 |
| 24 | 1,4141 | 1,6177 | 1,7859 | 61 | 1,4215 | 1,6214 | 1,7933 | 98 | 1,4289 | 1,6251 | 1,8007 |
| 25 | 1,4143 | 1,6178 | 1,7861 | 62 | 1,4217 | 1,6215 | 1,7935 | 99 | 1,4291 | 1,6252 | 1,8009 |
| 26 | 1,4145 | 1,6179 | 1,7863 | 63 | 1,4219 | 1,6216 | 1,7937 | 100 | 1,4293 | 1,6253 | 1,8011 |
| 27 | 1,4147 | 1,618 | 1,7865 | 64 | 1,4221 | 1,6217 | 1,7939 | 101 | 1,4295 | 1,6254 | 1,8013 |
| 28 | 1,4149 | 1,6181 | 1,7867 | 65 | 1,4223 | 1,6218 | 1,7941 | 102 | 1,4297 | 1,6255 | 1,8015 |
| 29 | 1,4151 | 1,6182 | 1,7869 | 66 | 1,4225 | 1,6219 | 1,7943 | 103 | 1,4299 | 1,6256 | 1,8017 |
| 30 | 1,4153 | 1,6183 | 1,7871 | 67 | 1,4227 | 1,6220 | 1,7945 | 104 | 1,4301 | 1,6257 | 1,8019 |
| 31 | 1,4155 | 1,6184 | 1,7873 | 68 | 1,4229 | 1,6221 | 1,7947 | 105 | 1,4303 | 1,6258 | 1,8021 |
| 32 | 1,4157 | 1,6185 | 1,7875 | 69 | 1,4231 | 1,6222 | 1,7949 | 106 | 1,4305 | 1,6259 | 1,8023 |
| 33 | 1,4159 | 1,6186 | 1,7877 | 70 | 1,4233 | 1,6223 | 1,7951 | 107 | 1,4307 | 1,6260 | 1,8025 |
| 34 | 1,4161 | 1,6187 | 1,7879 | 71 | 1,4235 | 1,6224 | 1,7953 | 108 | 1,4309 | 1,6261 | 1,8027 |
| 35 | 1,4163 | 1,6188 | 1,7881 | 72 | 1,4237 | 1,6225 | 1,7955 | 109 | 1,4311 | 1,6262 | 1,8029 |
| 36 | 1,4165 | 1,6189 | 1,7883 | 73 | 1,4239 | 1,6226 | 1,7957 | 110 | 1,4313 | 1,6263 | 1,8031 |
| 37 | 1,4167 | 1,619 | 1,7885 | 74 | 1,4241 | 1,6227 | 1,7959 | 111 | 1,4315 | 1,6264 | 1,8033 |
| 38 | 1,4169 | 1,6191 | 1,7887 | 75 | 1,4243 | 1,6228 | 1,7961 | 112 | 1,4317 | 1,6265 | 1,8035 |
| 39 | 1,4171 | 1,6192 | 1,7889 | 76 | 1,4245 | 1,6229 | 1,7963 | 113 | 1,4319 | 1,6266 | 1,8037 |
| 40 | 1,4173 | 1,6193 | 1,7891 | 77 | 1,4247 | 1,6230 | 1,7965 | 114 | 1,4321 | 1,6267 | 1,8039 |
| 41 | 1,4175 | 1,6194 | 1,7893 | 78 | 1,4249 | 1,6231 | 1,7967 | 115 | 1,4323 | 1,6268 | 1,8041 |
| 42 | 1,4177 | 1,6195 | 1,7895 | 79 | 1,4251 | 1,6232 | 1,7969 | 116 | 1,4325 | 1,6269 | 1,8043 |
| 43 | 1,4179 | 1,6196 | 1,7897 | 80 | 1,4253 | 1,6233 | 1,7971 | 117 | 1,4327 | 1,6270 | 1,8045 |
| 44 | 1,4181 | 1,6197 | 1,7899 | 81 | 1,4255 | 1,6234 | 1,7973 | 118 | 1,4329 | 1,6271 | 1,8047 |
| 45 | 1,4183 | 1,6198 | 1,7901 | 82 | 1,4257 | 1,6235 | 1,7975 | 119 | 1,4331 | 1,6272 | 1,8049 |
| 46 | 1,4185 | 1,6199 | 1,7903 | 83 | 1,4259 | 1,6236 | 1,7977 | 120 | 1,4333 | 1,6273 | 1,8051 |

**Tabela 4 - Estimativa de Intensidades Pluviométricas em mm/h para intensidade média anual de 1700mm**

| Duração (mín) | TR (anos) | | | Duração (mín) | TR (anos) | | | Duração (mín) | TR (anos) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 15 | 25 | 50 | | 15 | 25 | 50 | | 15 | 25 | 50 |
| 10 | 206,2228 | 236,1780 | 260,5512 | 47 | 69,5303 | 79,3960 | 87,7522 | 84 | 46,3894 | 52,8171 | 58,4836 |
| 11 | 192,8320 | 220,8244 | 243,6255 | 48 | 68,5143 | 78,2296 | 86,4673 | 85 | 46,0099 | 52,3809 | 58,0035 |
| 12 | 181,3701 | 207,6821 | 229,1377 | 49 | 67,5338 | 77,1039 | 85,2274 | 86 | 45,6380 | 51,9534 | 57,5330 |
| 13 | 171,4307 | 196,2851 | 216,5741 | 50 | 66,5869 | 76,0169 | 84,0300 | 87 | 45,2734 | 51,5343 | 57,0718 |
| 14 | 162,7163 | 186,2924 | 205,5588 | 51 | 65,6718 | 74,9663 | 82,8728 | 88 | 44,9160 | 51,1234 | 56,6195 |
| 15 | 155,0035 | 177,4479 | 195,8095 | 52 | 64,7869 | 73,9503 | 81,7537 | 89 | 44,5654 | 50,7204 | 56,1759 |
| 16 | 148,1213 | 169,5556 | 187,1100 | 53 | 63,9306 | 72,9671 | 80,6708 | 90 | 44,2214 | 50,3250 | 55,7408 |
| 17 | 141,9363 | 162,4626 | 179,2916 | 54 | 63,1015 | 72,0151 | 79,6222 | 91 | 43,8840 | 49,9371 | 55,3138 |
| 18 | 136,3427 | 156,0477 | 172,2209 | 55 | 62,2982 | 71,0927 | 78,6063 | 92 | 43,5528 | 49,5563 | 54,8948 |
| 19 | 131,2557 | 150,2135 | 165,7903 | 56 | 61,5195 | 70,1985 | 77,6215 | 93 | 43,2278 | 49,1826 | 54,4836 |
| 20 | 126,6061 | 144,8808 | 159,9127 | 57 | 60,7642 | 69,3311 | 76,6663 | 94 | 42,9087 | 48,8157 | 54,0798 |
| 21 | 122,3372 | 139,9846 | 154,5162 | 58 | 60,0312 | 68,4894 | 75,7393 | 95 | 42,5953 | 48,4554 | 53,6833 |
| 22 | 118,4018 | 135,4707 | 149,5413 | 59 | 59,3195 | 67,6721 | 74,8392 | 96 | 42,2875 | 48,1015 | 53,2938 |
| 23 | 114,7605 | 131,2940 | 144,9380 | 60 | 58,6281 | 66,8781 | 73,9648 | 97 | 41,9852 | 47,7539 | 52,9113 |
| 24 | 111,3798 | 127,4161 | 140,6641 | 61 | 57,9562 | 66,1064 | 73,1149 | 98 | 41,6882 | 47,4123 | 52,5354 |
| 25 | 108,2314 | 123,8045 | 136,6839 | 62 | 57,3028 | 65,3559 | 72,2885 | 99 | 41,3963 | 47,0766 | 52,1661 |
| 26 | 105,2909 | 120,4313 | 132,9665 | 63 | 56,6672 | 64,6259 | 71,4846 | 100 | 41,1094 | 46,7467 | 51,8030 |
| 27 | 102,5373 | 117,2725 | 129,4854 | 64 | 56,0486 | 63,9154 | 70,7022 | 101 | 40,8273 | 46,4224 | 51,4462 |
| 28 | 99,9526 | 114,3073 | 126,2177 | 65 | 55,4464 | 63,2236 | 69,9405 | 102 | 40,5501 | 46,1035 | 51,0953 |
| 29 | 97,5209 | 111,5175 | 123,1433 | 66 | 54,8597 | 62,5497 | 69,1985 | 103 | 40,2774 | 45,7899 | 50,7502 |
| 30 | 95,2283 | 108,8871 | 120,2448 | 67 | 54,2881 | 61,8931 | 68,4754 | 104 | 40,0092 | 45,4814 | 50,4109 |
| 31 | 93,0626 | 106,4023 | 117,5067 | 68 | 53,7309 | 61,2529 | 67,7706 | 105 | 39,7454 | 45,1780 | 50,0771 |
| 32 | 91,0130 | 104,0506 | 114,9154 | 69 | 53,1875 | 60,6287 | 67,0832 | 106 | 39,4859 | 44,8795 | 49,7486 |
| 33 | 89,0699 | 101,8211 | 112,4587 | 70 | 52,6574 | 60,0197 | 66,4127 | 107 | 39,2305 | 44,5857 | 49,4255 |
| 34 | 87,2249 | 99,7040 | 110,1259 | 71 | 52,1401 | 59,4254 | 65,7584 | 108 | 38,9792 | 44,2966 | 49,1074 |
| 35 | 85,4703 | 97,6906 | 107,9075 | 72 | 51,6351 | 58,8452 | 65,1196 | 109 | 38,7318 | 44,0121 | 48,7944 |
| 36 | 83,7992 | 95,7731 | 105,7947 | 73 | 51,1419 | 58,2786 | 64,4958 | 110 | 38,4883 | 43,7320 | 48,4862 |
| 37 | 82,2057 | 93,9443 | 103,7798 | 74 | 50,6602 | 57,7251 | 63,8865 | 111 | 38,2486 | 43,4562 | 48,1828 |
| 38 | 80,6840 | 92,1981 | 101,8558 | 75 | 50,1895 | 57,1843 | 63,2910 | 112 | 38,0125 | 43,1846 | 47,8840 |
| 39 | 79,2292 | 90,5285 | 100,0163 | 76 | 49,7294 | 56,6556 | 62,7090 | 113 | 37,7800 | 42,9171 | 47,5898 |
| 40 | 77,8368 | 88,9305 | 98,2557 | 77 | 49,2796 | 56,1387 | 62,1399 | 114 | 37,5510 | 42,6536 | 47,3000 |
| 41 | 76,5026 | 87,3992 | 96,5687 | 78 | 48,8396 | 55,6331 | 61,5834 | 115 | 37,3254 | 42,3941 | 47,0145 |
| 42 | 75,2229 | 85,9304 | 94,9505 | 79 | 48,4092 | 55,1384 | 61,0388 | 116 | 37,1032 | 42,1383 | 46,7332 |
| 43 | 73,9942 | 84,5201 | 93,3969 | 80 | 47,9880 | 54,6544 | 60,5060 | 117 | 36,8842 | 41,8864 | 46,4560 |
| 44 | 72,8133 | 83,1646 | 91,9037 | 81 | 47,5757 | 54,1805 | 59,9844 | 118 | 36,6684 | 41,6380 | 46,1829 |
| 45 | 71,6775 | 81,8608 | 90,4674 | 82 | 47,1720 | 53,7166 | 59,4737 | 119 | 36,4557 | 41,3933 | 45,9137 |
| 46 | 70,5840 | 80,6055 | 89,0846 | 83 | 46,7767 | 53,2622 | 58,9736 | 120 | 36,2460 | 41,1520 | 45,6483 |

### 1.3.2. Período de Recorrência

Foram adotados os seguintes valores de Tempo de Recorrência:

- Sistema de Micro-Drenagem - 10 anos;
- Sistema de Macro-Drenagem (obras tubulares) - 15/25 anos;
- Sistema de Macro Drenagem (obras celulares) - 25/50 anos;
- Sistema de Macro Drenagem (obras de arte especial) - 50/100anos.

### 1.3.3. Tempo de Concentração (Tc)

Para o cálculo do tempo de concentração das bacias utilizou-se a fórmula de Kirpich.

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Onde:

- L = comprimento do talvegue, em km;
- H = diferença de nível, em metros.

Neste empreendimento será adotado um tempo de concentração mínimo de 10min.

### 1.3.4. Duração da Chuva de Projeto (D)

A duração (D) da chuva de projeto deve igualar ao tempo de concentração (tc). D= tc

### 1.3.5. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

Para os estudos e projetos de drenagem em áreas com extensão superficial de porte, o coeficiente de escoamento superficial (C) deverá ser estabelecido com base nas condições de tipo de solo e sua ocupação atual e futura.

Os valores de C foram obtidos através de inspeção local e imagens do Google Earth, tendo como referência a tabela apresentada na obra “Engenharia de Drenagem Superficial” – Paulo Sampaio Wilken que a seguir é transcrita.

**Tabela 5 - Valores do coeficiente de escoamento superficial (C)**

| Descrição da Área | Valores de C |
|---|---|
| Partes centrais, densamente construídas, com rua e calçadas pavimentadas. | 0,70 a 0,90 |
| Partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas. | 0,7 |
| Zonas residenciais de construções cerradas, com rua pavimentadas | 0,65 |
| Zonas residenciais mediamente habitadas | 0,55 a 0,65 |
| Zona residencial de arrabaldes, com pequena densidade de habitações | 0,35 a 0,55 |
| Bairros com jardins e ruas macadamizadas | 0,3 |
| Superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte com pavimentação | 0,10 a ,20 |

### 1.3.6. Caracterização das Bacias

Para individualização das bacias hidrográficas, foram utilizadas as cartas topográficasdo IBGE.

## 1.4. ESTIMATIVA DE DESCARGAS MÁXIMAS NAS BACIA

### 1.4.1. Métodos de Análise

Por vazão de projeto entende-se o valor instantâneo de pico (ou o hidrograma de cheia), calculado indiretamente à partir da transformação da chuva de projeto em vazão do escoamento superficial.

A metodologia utilizada para o cálculo das descargas das bacias foi estabelecida de acordo com a grandeza física da bacia sendo:

#### 1.4.1.1. • Método Racional

- Método Racional para áreas inferiores a 4,0 km2.

As vazões de projeto serão calculadas empregando-se a seguinte equação:

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

Onde:

- Qp = Vazão de projeto, em m3/s;
- C = Coeficiente de escoamento superficial;
- I = Intensidade da chuva de projeto, em mm/h; A = Área de drenagem, em ha.
- Método Racional Corrigido para áreas entre 4,0 km2 e 10 km2.

Utilizou-se o Método Racional acrescido de coeficiente de retardo. Este coeficiente foi adotado com o objetivo de efetuar-se a distribuição das chuvas de forma uniforme em toda a bacia, sendo ele expresso por:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{A}}$$

Sendo:

A = Área da bacia em hectares;

n = De acordo com a tabela a seguir.

**Tabela 6 – Índice de Radiação**

| n | i |
|---|---|
| 4 | i<0,5% |
| 5 | 0,5%<i<1,0% |
| 6 | i>1,0%[4] |

### 1.4.1.2. Hidrograma Unitário Triangular

Método do Hidrograma Unitário Triangular (SCS) para áreas superiores a 10 km2, este modelo é utilizado para transformação dos incrementos de escoamento superficial direto em vazões afluentes em um determinado ponto da bacia.

O hidrograma adimensional do SCS é um hidrograma unitário sintético, onde a vazão (Q) é expressa como fração da vazão de pico (qp) e o tempo (t) como fração do tempo de ascensão do hidrograma unitário (tp). Dadas a vazão de pico e o tempo de resposta (Lag-Time) para a duração da chuva excedente, o hidrograma unitário pode ser estimado a partir do hidrograma-adimensional sintético para uma dada bacia.

[4] Fonte: Engenharia de Drenagem Superficial - Paulo Sampaio Wilken

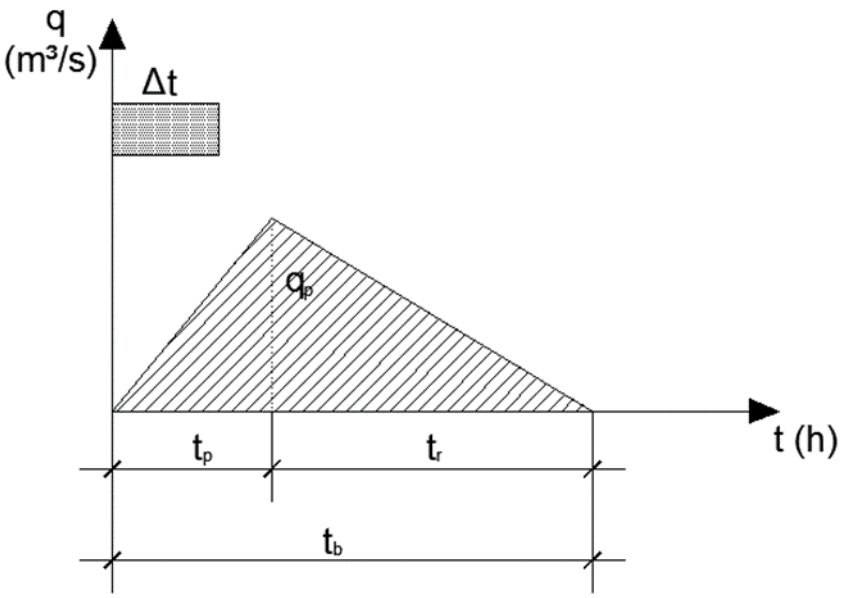



**Figura 6 - Hidrograma Unitário do U.S. Soil Conservation Service.**

Na qual,

- $q_p$= vazão máxima ou vazão de pico do hidrograma unitário, em m³/s;
- A= área da bacia contribuinte, em km²;
- $t_c$= tempo de concentração, em horas;
- $t_p$= tempo de ascensão ou de pico, em horas;
- $t_b$= tempo de base, em horas;
- Δt= intervalo de tempo unitário, em horas;
- $t_r$= tempo de recessão ou de descida, em horas.

Os valores de $q_p$ e $t_p$ podem ser estimados, utilizando-se um modelo simplificado de um hidrograma unitário triangular (Figura 6 - Hidrograma Unitário do U.S. Soil Conservation Service.) onde o tempo é dado em horas e as vazões em $m^3$/s.cm (ou $pes^3$/pol) (SCS, 1972). A partir da observação de um grande número de hidrogramas unitários, o Soil Conservation Service sugere que o tempo de recessão seja aproximadamente 1.67 $t_p$.

Como a área sob o hidrograma unitário deve ser igual ao volume de escoamento superficial direto de 1 cm (ou 1 pol), pode ser visto que:

$$q_p = \frac{C.A}{t_p}$$

onde C = 2.08 (ou 483.4 no sistema inglês) e A é a área de drenagem em $Km^2$ (ou milhas quadradas).

Um estudo posterior de hidrogramas unitários de muitas bacias rurais grandes e pequenas indicou que o tempo de resposta (Lag-Time) é aproximadamente igual a 60% de $t_c$, onde $t_c$ é o tempo de concentração da bacia. Assim, o tempo de ascensão $t_p$ pode ser expresso em função do tempo de resposta "$t_p$" e da duração da chuva excedente "$t_r$".

$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + 0{,}6t_c \text{ ou } t_p = \frac{2}{3} \cdot t_c$$

Sendo:

$$\Delta t = \frac{t_c}{7{,}5}$$

$tr = 1{,}67.t_p$

$t_b = 2{,}67.t_p$

- Precipitação Efetiva e Número de Deflúvio

O cálculo da precipitação efetiva deve ser efetuado por meio do Método do Soil Conservation Service do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e vai de encontro ao disposto na IP-DE-H00/001. A fórmula proposta pelo SCS é:

$$Pe = \frac{(P' - 0{,}2 \cdot S)^2}{P' + 0{,}8 \cdot S} \text{ para } P' \geq 0{,}2 \cdot S$$

Na qual:

$P_e$= precipitação efetiva (pol)

P'= precipitação total (pol)

S= retenção potencial do solo (pol)

O valor de S depende do tipo de solo e pode ser determinado facilmente por meio de tabelas próprias. A quantidade "0,2.S " é uma estimativa das perdas iniciais devidas à interceptação e retenção em depressões, é também chamada de abstração inicial ($I_a$). Por esta razão impõe-se a condição $P' \geq 0{,}2 \cdot S$ .

Para facilitar a solução gráfica da equação faz-se a seguinte mudança de variável, sendo 25,4 o fator de transformação de unidades de pol para mm.

$$\text{CN} = \frac{1000}{10 + \left(\frac{\text{S}}{25{,}4}\right)} \text{ e } S = 254.\left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

onde CN é chamado de Número de Curva e varia entre 0 e 100. Os valores de CN dependem de três fatores:

- umidade antecedente do solo;
- tipo de solo;
- ocupação do solo.

Substituindo “S” na equação (14), obtemos:

$$Pe = \frac{\left(P' - \frac{5080}{CN} + 50{,}8\right)^2}{P' + \frac{20320}{CN} - 203{,}2}$$

Conhecidas as precipitações efetivas, para cada intervalo $\Delta$t, procede-se o cálculo das vazões de projeto através da “álgebra dos hidrogramas”, ou seja, multiplicando-se as precipitações efetivas pelas ordenadas do hidrograma unitário, retiradas a intervalos de tempo iguais ao intervalo unitário considerado.

Os valores das descargas do hidrograma de projeto, portanto, serão dados por:

$$Q_i = P_{e_i}.q_1 + P_{e_{i-1}}.q_2 + P_{e_{i-2}}.q_3 ... + P_{e_1}.q_i$$

O método do SCS distingue 3 condições de umidade de solo, de acordo com o apresentado na Tabela 6 a seguir.

**Tabela 7 - Condições de solo US SCS**

| |
|---|
| Condição I – Solos secos: As chuvas nos últimos dias não ultrapassam 15 mm. |
| Condição II – Situação muito frequente em épocas chuvosas - as chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 15 e 40 mm. |
| Condição III – Solo úmido (próximo da saturação): as chuvas nos últimos dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação. |

As tabelas para a obtenção de CN referem-se sempre à condição II. A transformação de CN para as outras condições de umidade é realizada por meio da

Tabela 8.

**Tabela 8 - Correspondência entre os valores de CN para diversas condições de umidade do solo**

| Condições de umidade | | |
|---|---|---|
| I | II | III |
| 100 | 100 | 100 |
| 87 | 95 | 99 |
| 78 | 90 | 98 |
| 70 | 85 | 97 |
| 63 | 80 | 94 |
| 57 | 75 | 91 |
| 51 | 70 | 87 |
| 45 | 65 | 83 |
| 40 | 60 | 79 |
| 35 | 55 | 75 |
| 31 | 50 | 70 |

O SCS distingue em seu método 4 grupos hidrológicos de solos, de acordo com a permeabilidade relativa das camadas inferiores.

GRUPO A – Potencialidade mínima para formação de deflúvio superficial. Inclui areias em camadas espessa com muito pouco silte e argila e também loess profundo muito permeável.

Grupo B – Principalmente solos arenosos menos espesso que no grupo A e o loess menos profundo ou menos agregado que no grupo A, porem apresentam infiltração acima da média, após intenso umedecimento prévio.

Grupo C – Compreende solos pouco profundos e solos contendo bastante argila e coloides, no entanto, menos que no grupo D. O grupo apresenta infiltração abaixo da média, após pré-saturação.

Grupo D – Potencial máximo para formação do deflúvio superficial. O grupo inclui em sua maioria, argila de alto valor de expansão, incluindo também alguns solos pouco profundos, com sub-horizontes quase impermeáveis, próximos da superfície. Qualquer tipo de solo em terreno plano, com fraca rede de drenagem, acaba enquadrando-se nesse grupo, após um período prolongado de chuvas que eleva o nível do lençol freático para a superfície.

**Tabela 9 - Valores do Número de Deflúvio (CN)**

| Cobertura Vegetal ou Tipo de Uso do Solo | Situação Hidrológica de Infiltração | GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D |
| Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação | Pobre | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Terreno Cultivado | Pobre | 712 | 81 | 88 | 91 |
| | Boa | 51 | 67 | 76 | 80 |
| Pasto | Pobre | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | Boa | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Mato ou Bosque | Pobre | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | Boa | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Área Urbana | Pobre | 74 | 80 | 87 | 90 |
| | Boa | 70 | 76 | 83 | 86 |

A seguir é apresentado os cálculos obtidos.

**Tabela 10 – Quadro Resumo de Vazões**

| Nº Bacia | CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS | | | | | | Tr =15 anos | | Tr =25 anos | | Tr =50 anos | | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Área (ha) | L (km) | ΔH (m) | Declividade (m/km) | tc (min) | C | i (mm/h) | Vazão ($m^3/s$) | i (mm/h) | Vazão ($m^3/s$) | i (mm/h) | Vazão ($m^3/s$) | |
| E1 | 4,00 | 0,182 | 54 | 296,70 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 0,80 | 236,18 | 0,92 | 260,55 | 1,01 | Racional |
| D1 | 13,75 | 0,456 | 90 | 197,37 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 2,76 | 236,18 | 3,16 | 260,55 | 3,48 | Racional |
| D2 | 544,39 | 4,346 | 260 | 59,83 | 36,57 | 0,35 | 83,80 | 15,52 | 95,77 | 17,74 | 105,79 | 19,60 | Racional Modificado |
| D3 | 8,59 | 0,515 | 76 | 147,57 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 1,72 | 236,18 | 1,97 | 260,55 | 2,18 | Racional |
| D4 | 28,35 | 0,519 | 60 | 115,61 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 5,68 | 236,18 | 6,51 | 260,55 | 7,18 | Racional |
| D5 | 54,79 | 1,724 | 293 | 169,95 | 12,00 | 0,35 | 181,37 | 9,66 | 207,68 | 11,06 | 229,14 | 12,21 | Racional |
| D6 | 16,46 | 0,532 | 67 | 125,94 | 10,00 | 0,39 | 206,22 | 3,68 | 236,18 | 4,21 | 260,55 | 4,65 | Racional |
| D7 | 151,03 | 2,061 | 328 | 159,15 | 14,13 | 0,35 | 162,72 | 23,89 | 186,29 | 27,35 | 205,56 | 30,18 | Racional |
| D8 | 361,00 | 2,785 | 482 | 173,07 | 17,25 | 0,35 | 141,94 | 49,82 | 162,46 | 57,02 | 179,29 | 62,93 | Racional |
| D9 | 12,36 | 0,738 | 115 | 155,83 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 2,48 | 236,18 | 2,84 | 260,55 | 3,13 | Racional |
| D10 | 229,99 | 2,642 | 391 | 147,99 | 17,59 | 0,35 | 141,94 | 31,74 | 162,46 | 36,33 | 179,29 | 40,09 | Racional |
| D11 | 28,22 | 0,713 | 182 | 255,26 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 5,66 | 236,18 | 6,48 | 260,55 | 7,15 | Racional |
| D12 | 15,94 | 0,756 | 136 | 179,89 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 3,20 | 236,18 | 3,66 | 260,55 | 4,04 | Racional |
| D13 | 12,41 | 0,672 | 156 | 232,14 | 10,00 | 0,35 | 206,22 | 2,49 | 236,18 | 2,85 | 260,55 | 3,14 | Racional |
| D14 | 169,46 | 2,966 | 395 | 133,18 | 20,02 | 0,35 | 126,61 | 20,86 | 144,88 | 23,87 | 159,91 | 26,35 | Racional |
| D15 | 49,40 | 1,044 | 162 | 155,17 | 10,00 | 0,36 | 206,22 | 10,19 | 236,18 | 11,67 | 260,55 | 12,87 | Racional |
| D16 | 41,99 | 1,167 | 201 | 172,24 | 10,00 | 0,43 | 206,22 | 10,34 | 236,18 | 11,85 | 260,55 | 13,07 | Racional |
| D17 | 19,85 | 0,679 | 142 | 209,13 | 10,00 | 0,38 | 206,22 | 4,32 | 236,18 | 4,95 | 260,55 | 5,46 | Racional |
| D18 | 6,61 | 0,298 | 40 | 134,23 | 10,00 | 0,60 | 206,22 | 2,27 | 236,18 | 2,60 | 260,55 | 2,87 | Racional |
| D19 | 967,17 | 6,869 | 485 | 70,61 | 48,81 | 0,35 | 68,51 | 20,49 | 78,23 | 23,39 | 86,47 | 25,85 | Racional Modificado |
| D20 | 115,79 | 1,669 | 380 | 227,68 | 10,46 | 0,35 | 206,22 | 23,22 | 236,18 | 26,59 | 260,55 | 29,33 | Racional |

### 1.4.2. Plantas de Bacias

A seguir, apresenta-se a planta com as delimitações de bacias utilizadas nesta análise, numeradas de acordo com o exposto nas tabelas anteriormente apresentadas.

# 2. PROJETO DE DRENAGEM

## 2.1. INTRODUÇÃO

Este projeto irá determinar os dispositivos capazes de captar e conduzir adequadamente as águas superficiais e profundas de modo a preservar a estrutura da via, bem como possibilitar sua operação durante a incidência de precipitações mais intensas.

## 2.2. DEFINIÇÕES

Desta forma, os trabalhos desenvolvidos abordaram, basicamente, os seguintes itens de serviço:

- Obras de drenagem superficial: para dar escoamento às águas precipitadas sobre o corpo estradal e proteção dos taludes;
- Obras de drenagem de talvegue, para dar vazão às águas superficiais dos cursos d'água (pequenos e médios) e escoamentos temporários de talvegues secos;
- Obras de drenagem profunda ou subterrânea, para a proteção do pavimento contra as águas do lençol freático e infiltração nos cortes em rochas.

Para chegar às soluções mais adequadas partiu-se dos resultados dos Estudos Hidrológicos, passando-se, em seguida, às definições e projetos dos dispositivos, subsidiado pelos elementos do projeto geométrico e dos estudos geotécnicos realizados.

Os dispositivos utilizados nos vários itens de serviços seguiram os projetos-tipo do Álbum de Dispositivos do DER-MG e para alguns outros dispositivos, o Álbum de Projetos Tipo DNIT e DER-SP.

Foram projetados bueiros tubulares de concreto de diâmetro 0,80 m, 1,00 m, 1,20 m e 1,50 m, e bueiros celulares de concreto com dimensões variadas em função das diversas vazões dos talvegues e cursos d'água transpostos pelo Contorno Metropolitano Norte de Belo Horizonte. No início do trecho, da qual já existe interferência com área urbana, foram projetadas redes de concreto com diâmetro 0,80m, sendo que para as ligações de bocas-de-lobo aos poços de visita utilizaram-se tubos de concreto com diâmetro de 0,60m.

O dimensionamento hidráulico das novas obras deu-se com base nas vazões calculadas para todas as bacias hidrográficas interceptadas pelo traçado, obtidas nos estudos hidrológicos.

A conclusão do dimensionamento incluiu a definição das dimensões das obras, o posicionamento destas, de acordo com as condições topográficas do terreno natural, do terrapleno e do greide da rodovia, definindo-se as esconsidades e declividades adequadas ao terreno em cada local de projeto.

Os cálculos hidráulicos foram efetuados com a utilização de tabelas e ábacos elaborados pelo “U. S. Bureau of Publics Roads”, procurando-se avaliar as condições de funcionamento com controle de entrada.

## 2.3. DRENAGEM SUPERFICIAL

O projeto de drenagem superficial contemplou a indicação de dispositivos diversos para impedir que as águas superficiais atinjam a plataforma e os terraplenos, evitando riscos de problemas de estabilidade de maciços, de deterioração do pavimento e de acúmulo de água nas pistas do Contorno Metropolitano Norte de Belo Horizonte.

Foram considerados no projeto os seguintes tipos de dispositivos:

- Sarjetas em concreto de aterros – SCA 70/30;
- Sarjetas em concreto de cortes – SCC 90/30;
- Sarjetas de canteiro central de concreto – SCC-02 (Padrão DNIT);
- Valetas para proteção de aterros – VPA-03 e VPA-04 (Padrão DNIT);
- Valetas para proteção de cortes – VPC-03 e VPC-04 (Padrão DNIT);
- Valetas para banquetas de aterros – VPA-04 (Padrão DNIT);
- Valetas para banquetas de cortes – VPC-04 (Padrão DNIT);
- Entrada para descida d'água - EDA 01 - areia e brita comerciais (Padrão DNIT);
- Entrada para descida d'água - EDA 02 - areia e brita comerciais (Padrão DNIT);
- Descida d'água de aterros tipo rápido - DAR 02;
- Descida d'água de aterros em degraus - DAD 02;
- Bueiros de Greide;
- Caixa coletora de sarjeta com grelha de concreto – CCS-02 (Padrão DNIT);
- Canal retangular de concreto tipo R2K – (Padrão DER-SP)
- Dissipadores de energia – DEB-02, DEB-04, DEB-05, DES-03, DES-04, (Padrão DNIT);

Descrevem-se a seguir os dispositivos projetados:

### 2.3.1. Sarjetas e Meios-fios de Concreto

São dispositivos posicionados longitudinalmente a via com o objetivo de captar as águas que precipitam sobre o corpo estradal e conduzi-las até locais adequados ao deságue. Na seção transversal tipo serão utilizadas sarjetas tipo SCA 70/30 para os aterros e SCC 90/15 para os cortes, padrão DER-MG.

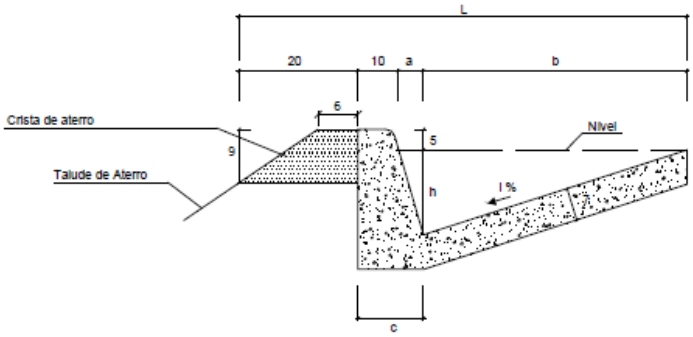



**Figura 7 - SCA - Sarjeta de concreto em aterro**

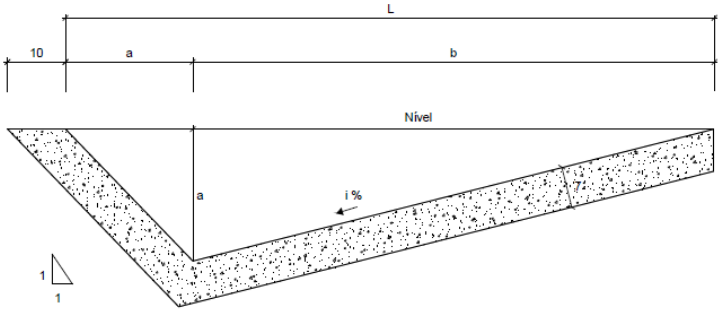



**Figura 8 - SCC - Sarjeta de concreto em corte**

A metodologia do projeto para verificação da capacidade das sarjetas e meios-fios consiste na determinação dos comprimentos críticos, obtidos pela equivalência de vazões na sarjeta e a vazão prevista para a bacia de contribuição (áreas de impluvium).

Para a determinação desses comprimentos, considerou-se a intensidade de precipitação para 10 minutos de duração e período de recorrência de 10 anos, ou seja, 194,48 mm/h.

As vazões nas bacias são calculadas através do método racional, pela fórmula.

$$Q = 0{,}0278 \times 10^{-6} \times C \times I \times A$$

Onde:

- Q = vazão de projeto, em m³/s
- C = coeficiente de escoamento
- I = intensidade de chuva, em mm/h, e
- A = área da bacia de contribuição em m². Essa área corresponde ao produto do comprimento (comprimento crítico) pela largura “l” de “impluvium”

Nos casos de meios-fios em aterros prevalece como largura de precipitação a largura da plataforma. A equação geral do comprimento crítico resulta:

$$L = \frac{A \times R^{2/3} \times \sqrt{i}}{2{,}78 \times 10^{-6} C \times Ln(I)}$$

Onde:

- L = comprimento crítico (de transbordamento na sarjeta), em m
- l = largura de precipitação, em m
- A = área molhada na sarjeta, em m²
- R = raio hidráulico, em m
- C = coeficiente de escoamento
- n = coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning
- I = intensidade de precipitação, em mm/h
- i = declividade do greide da rodovia, em m/m
- A seguir, apresentamos as tabelas contendo o comprimento crítico para os tipos de sarjetas e meios-fios projetados.

#### 2.3.1.1. Sarjeta de Aterro

Para o cálculo da vazão precipitada pela bacia considerou-se alguns cenários, de acordo com a seção tipo apresentada a seguir.

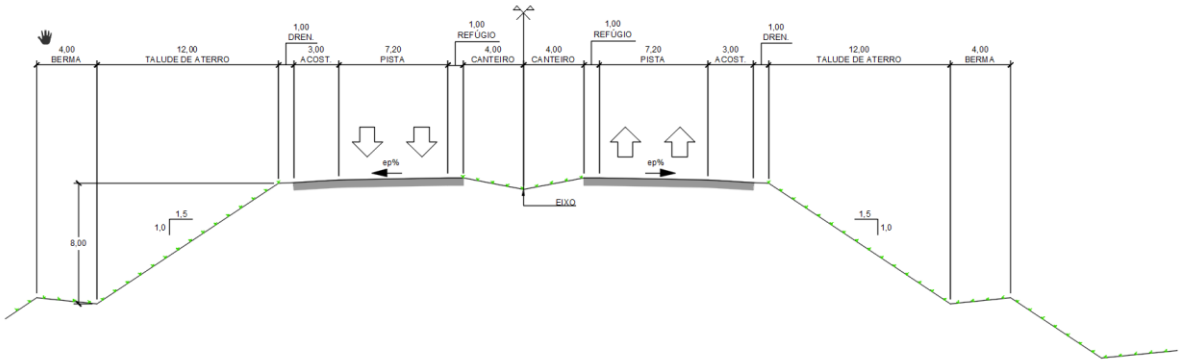



Figura 9 - Seção transversal tipo – Aterro

Tabela 11 - Comprimentos Críticos para Sarjeta de Aterro – SCA 70/30

| COMPRIMENTO CRÍTICO - SARJETA DE ATERRO - SCA 70/30 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descrição | | Declividade (%) | | | | | | | | | |
| | Plataforma(0,90) | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 |
| Tangente | 10,20 | 156 | 203 | 288 | 407 | 500 | 577 | 645 | 707 | 764 | 816 |
| Superelevação | 3,00 | 532 | 692 | 980 | 1384 | 1698 | 1961 | 2192 | 2403 | 2596 | 2775 |
| | Q (m³/s) | 0,0830 | 0,1080 | 0,1530 | 0,2160 | 0,2650 | 0,3060 | 0,3420 | 0,3750 | 0,4050 | 0,4330 |
| | V (m/s) | 0,8102 | 1,0460 | 1,4793 | 2,0920 | 2,5622 | 2,9586 | 3,3078 | 3,6235 | 3,9138 | 4,1841 |

### 2.3.1.2. Sarjeta de Corte

Para o cálculo da vazão precipitada pela bacia considerou-se alguns cenários, de acordo com a seção tipo apresentada a seguir.

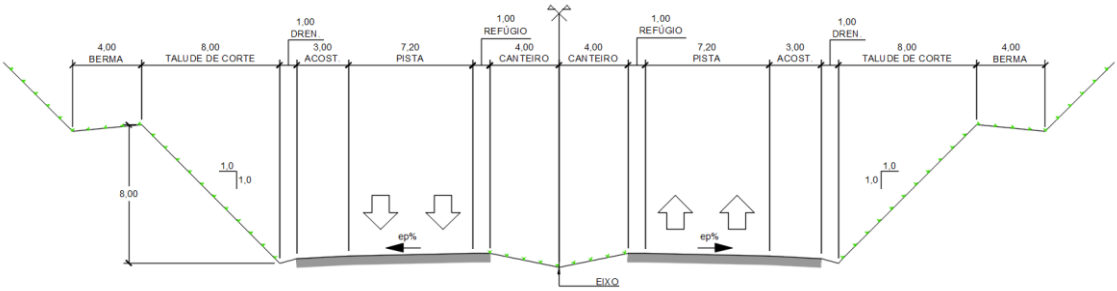



Figura 10 - Seção transversal tipo – Corte

Tabela 12 - Comprimentos Críticos para Sarjeta de Corte – SCC 90/30

| COMPRIMENTO CRÍTICO - SARJETA DE CORTE - SCC 90/30 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descrição | Largura de Implúvio | | Declividade (%) | | | | | | | | | |
| | Talude(0,70) | Plataforma(0,90) | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 |
| Tangente | 8,00 | 10,20 | 78 | 100 | 142 | 202 | 248 | 286 | 320 | 352 | 380 | 406 |
| Superelevação | 8,00 | 3,00 | 139 | 179 | 254 | 360 | 441 | 510 | 570 | 627 | 677 | 722 |
| | | Q (m³/s) | 0,0670 | 0,0860 | 0,1220 | 0,1730 | 0,2120 | 0,2450 | 0,2740 | 0,3010 | 0,3250 | 0,3470 |
| | | V (m/s) | 0,7794 | 1,0063 | 1,4231 | 2,0125 | 2,4648 | 2,8461 | 3,1821 | 3,4858 | 3,7651 | 4,0250 |

## 2.3.2. Sarjetas de Canteiro Central

Sarjetas em concreto, utilizadas no canteiro central. Esse dispositivo foi projetado ao longo de todo o Contorno Metropolitano Norte de Belo Horizonte, coletando água do canteiro central e pista, quando das curvas nas quais o escoamento se faz para os bordos internos. Nos locais de pontos baixos de greide e eventualmente naqueles das quais o comprimento crítico do dispositivo é ultrapassado, foi previsto a colocação de caixas coletoras para retirada transversal dessas águas. Foram projetadas sarjetas tipo SCC-02 (Padrão DNIT).

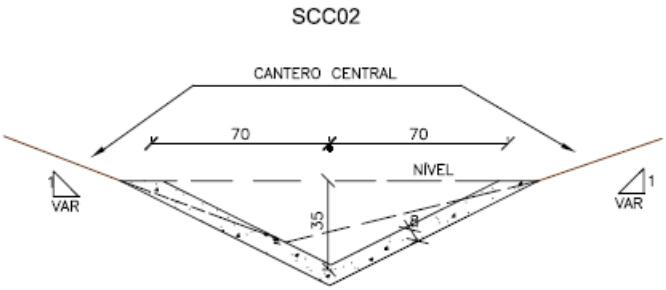



Figura 11 - SCC - Sarjeta de canteiro central

Tabela 13 - Comprimentos Críticos para Sarjeta de Canteiro central – SCC 02

| COMPRIMENTO CRÍTICO - SARJETA DE CANTEIRO CENTRAL - SCC 02 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descrição | Largura de Implúvio | | Declividade (%) | | | | | | | | | |
| | Canteiro(0,35) | Plataforma(0,90) | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 |
| Tangente | 8,00 | 2,00 | 537 | 695 | 981 | 1390 | 1703 | 1966 | 2199 | 2406 | 2601 | 2781 |
| Superelevação | 8,00 | 9,20 | 223 | 289 | 407 | 578 | 707 | 817 | 914 | 1000 | 1081 | 1156 |
| | | Q ($m^3/s$) | 0,1430 | 0,1850 | 0,2610 | 0,3700 | 0,4530 | 0,5230 | 0,5850 | 0,6400 | 0,6920 | 0,7400 |
| | | V (m/s) | 0,9139 | 1,1799 | 1,6686 | 2,3598 | 2,8901 | 3,3372 | 3,7311 | 4,0873 | 4,4148 | 4,7196 |

## 2.3.3. Valetas de Proteção de Corte:

As valetas de proteção serão construídas em todos os trechos em cortes onde o escoamento superficial proveniente dos terrenos adjacentes possa atingir o talude com possibilidade de prejudicar sua estabilidade. Deverão ser construídas aproximadamente paralelas às cristas dos cortes, a uma distância entre 2,0 e 3,0 metros, O material resultante da escavação deve ser colocado entre a valeta e a crista do corte e apiloado manualmente. Foi prevista a utilização de valetas revestidas em concreto uma vez que prevalecem terrenos com maiores inclinações, possibilitando a ocorrência de velocidades elevadas, e consequentemente passíveis de erosão. Foi indicado a VPC 03 E CPC 04 (Padrão DNIT); conforme imagem abaixo.

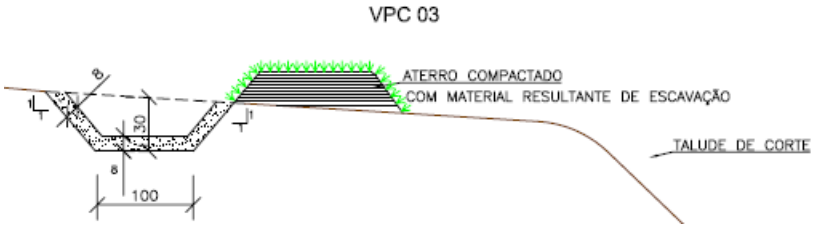



**Figura 12 - Valeta de Proteção de Corte - VPC 03**

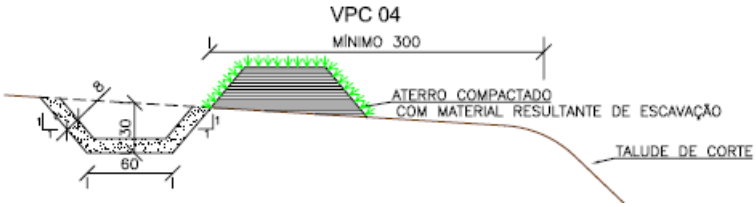



**Figura 13 - Valeta de Proteção de Corte - VPC 04**

## 2.3.4. Valetas de Proteção de Aterros

De forma semelhante às valetas de proteção de aterro deverão ser revestidas em concreto pelos mesmos motivos citados para as valetas de proteção de corte. São posicionadas no pé dos taludes de aterro para protegê-los do escoamento de montante do terreno natural. Indicou-se a VPA-03 e VPA-04 (Padrão DNIT).

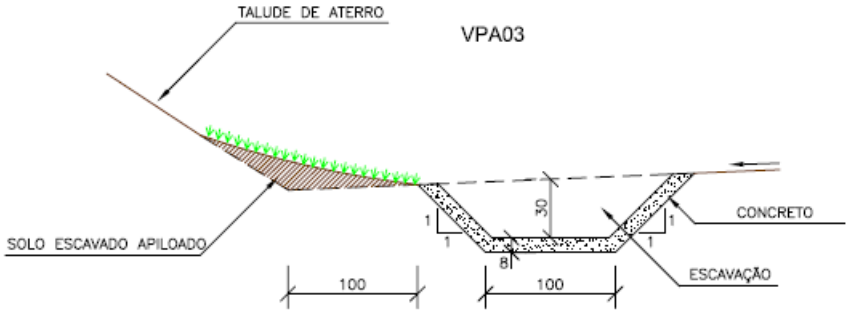



**Figura 14 - Valeta de Proteção de Aterro - VPA 03**

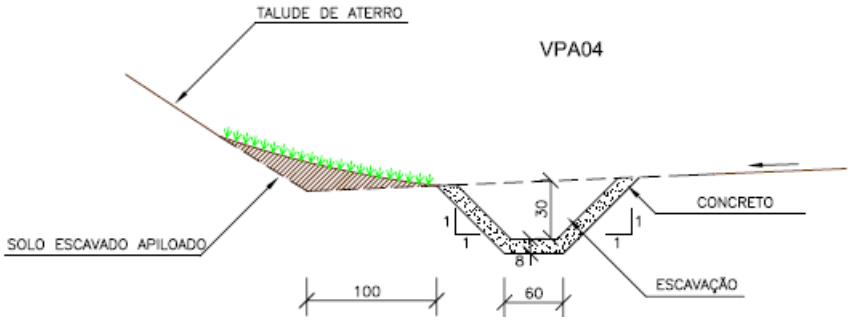



**Figura 15 - Valeta de Proteção de Aterro - VPA 04**

## 2.3.5. Valetas para Banquetas de Aterros e Cortes

Nos aterros e cortes mais altos, das quais se verificou a necessidade de escalonamento, foram previstas valetas tipo VPC-04 e VPA -04 (Padrão DNIT), para escoamento das águas provenientes dos taludes bem como das banquetas projetadas. Esse fluxo deverá ser direcionado para fora do aterro ou corte, normalmente desaguando em outra valeta, ou, em terreno natural, desde que protegido contra eventuais processos erosivos.

Tabela 14 - Valeta de Proteção de Banqueta - VPA e VPC

| COMPRIMENTO CRÍTICO - VALETAS DE PROTEÇÃO DE BANQUETAS - VPA 04 e VPC 04 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descrição | Largura de Implúvio | | Declividade (%) | | | | | | | | | |
| | Banqueta(0,35) | Talude(0,70) | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 |
| Aterro | 4,00 | 12,00 | 349 | 450 | 637 | 902 | 1106 | 1277 | 1427 | 1565 | 1690 | 1807 |
| Corte | 4,00 | 8,00 | 490 | 631 | 893 | 1264 | 1549 | 1789 | 2000 | 2193 | 2368 | 2532 |
| | | Q (m³/s) | 0,1980 | 0,2550 | 0,3610 | 0,5110 | 0,6260 | 0,7230 | 0,8080 | 0,8860 | 0,9570 | 1,0230 |
| | | V (m/s) | 1,0545 | 1,3613 | 1,9252 | 2,7226 | 3,3345 | 3,8504 | 4,3049 | 4,7158 | 5,0936 | 5,4453 |

## 2.3.6. Saídas d'água de aterro simples e duplas

As saídas d'água de aterro são dispositivos posicionados nos pontos em que são vencidos os comprimentos críticos das sarjetas, nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, junto a pontes, pontilhões e viadutos, e, eventualmente, nos pontos de transição entre corte e aterro. Tem a finalidade de dirigir as águas captadas pelas sarjetas para as descidas d'água de aterro. Foi projetado EDA 01 (entrada para descidas d'água de aterro simples) em todos os locais que se fez necessário, exceto nos pontos baixos que foi utilizada a EDA 02 (entrada para descidas d'água de aterro dupla).

## 2.3.7. Saídas d'água em corte

As saídas d'água em corte são dispositivos posicionados nos extremos das sarjetas de corte, destinadas a dirigir as águas captadas pelas sarjetas para fora do corpo estradal, ou seja, para as descidas d'água, para o terreno natural ou para as valetas de proteção. Projetou-se a SDC-01.

## 2.3.8. Descidas D'Água de Aterro e Corte

As descidas d'água foram utilizadas para condução das águas pelos taludes de corte e aterro. Nos casos das descidas de corte as mesmas são em degraus e armadas, e interligam-se às caixas coletoras (DCD 02 - DNIT). As descidas em aterro poderão ser rápidas ou em degraus, ambas armadas. A primeira foi indicada junto às saídas d'água onde o aterro não supera 5,0 metros de altura, e a segunda foi projetada naqueles aterros cuja altura ultrapassa o valor mencionado (DAR 02, DAD 01 - DNIT). Nas saídas de bueiros, previu-se descidas em degraus, sempre seguidas de estruturas de dissipação de energia, objetivando a redução da velocidade das águas no lançamento em terreno natural e possíveis processos erosivos do solo. Foi indicada a DAD-01.

## 2.3.9. Bueiros de Greide

Foram previstos bueiros de greide, sempre que se mostrou necessário à transposição de um lado para outro da plataforma, das águas escoadas pelas sarjetas (cujo comprimento crítico tenha sido atingido) ou vindas de talvegues interceptados por cortes, captando-se por meio de descidas d'água. Ainda nos pontos baixos de greide da qual estão previstos sarjetas de canteiro central, foram projetados bueiros com

transposição para fora da plataforma. Os bueiros de greide foram projetados com diâmetros de 0,80 e 1,00m.

### 2.3.10. Caixas Coletoras com grelha de concreto

São dispositivos nos quais deságuam os condutores superficiais ou subterrâneos das águas precipitadas ou de infiltração. Servem ainda como elementos de mudança da direção do fluxo, pois permitem a inspeção e visualização do sentido das tubulações. As caixas coletoras deverão receber grelha de concreto aplicando-se a qualquer tipo de sarjeta especificado. Para tal situação foram utilizadas as caixas CCS-02 e CCS-03, Padrão DNIT.

### 2.3.11. Dissipadores de Energia

Os dispersores de energia e soleiras de dispersão foram indicados para evitar erosão no terreno natural e, conforme já se referiu, serão construídos nas extremidades de descidas d'água de aterros. Para as saídas de bueiros, que apresentam declividades acentuadas no terreno natural, utilizaram-se os dissipadores de energia Padrão DNIT: DEB-02, DEB-04, DEB-05, DES-03, DES-04.

## 2.4. DRENAGEM DE GROTAS

Os bueiros foram projetados para trabalhar como canal, podendo ter seu funcionamento como orifício, em alguns casos em que não se corre o risco de inundações a montante que venha a comprometer áreas ocupadas por edificações, plantações temporárias ou mesmo permanentes.

O regime crítico é o fluxo que se dá com o mínimo de energia, pode ser adotado como controle da capacidade dos bueiros trabalhando como canal, quando a declividade é igual ou superior à crítica e que não haja condições a jusante modificando seu fluxo e seção.

No dimensionamento dos bueiros tubulares como canal e regime crítico foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$Qc = 1{,}538D^{2{,}5}, \text{ em } m^3/s$$

$$Vc = 2{,}56\ D^{1/2}, \text{ em } m/s$$

$$Ic = 32{,}82\ (n^2/D^{1/3}), \text{ em } m/m.$$

Nos bueiros celulares de seção quadrada, onde a base (B) é igual à altura (H) que por sua vez é igual ao lado L do quadrado, tem-se as fórmulas:

$$Qc = 1{,}705 \times L^{5/2}, \text{ em } m^3/s$$

$$Vc = 2{,}56 \times L^{1/2}, \text{ em } m/s$$

$$Ic = 34{,}75\ (n^2/L^{1/3}), \text{ em } m/m.$$

$$H_c = 2/3xH$$

Para os bueiros funcionando como orifício foi adotada a fórmula:

$$Q = C\ A\ (2g \times h)^{1/2}$$

Onde:

- C = coeficiente de vazão, adimensional;
- A = área da seção do bueiro, em m2;
- g =aceleração da gravidade, em m/s2
- h = altura de carga, em m.

Tabela 15 - Planilha de Cálculo – Bueiros de Talvegue

| Nº Bacia | Tr =25 anos | | | Tipo | Dimensão | Qc ($m^3/s$) | Vc (m/s) | I (m/m) | yc (m) | y (m) | Vcalc. (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | i (mm/h) | Vazão ($m^3/s$) | | | | | | | | | |
| E1 | 236,18 | 0,92 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,007 | 1,00 | 0,24 | 1,88 |
| D1 | 236,18 | 3,16 | OAE* | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,010 | 1,00 | 0,64 | 3,28 |
| D2 | 95,77 | 17,74 | | BDCC | 2,00 x 2,00 | 19,29 | 3,62 | 0,006 | 1,33 | 1,27 | 3,50 |
| D3 | 236,18 | 1,97 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,007 | 1,00 | 0,52 | 2,54 |
| D4 | 236,18 | 6,51 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,010 | 1,00 | 1,11 | 3,90 |
| D5 | 207,68 | 11,06 | | BDCC | 2,00 x 2,00 | 19,29 | 3,62 | 0,006 | 1,33 | 0,89 | 3,12 |
| D6 | 236,18 | 4,21 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,006 | 1,00 | 0,97 | 2,91 |
| D7 | 186,29 | 27,35 | | BSCC | 3,00 x 3,00 | 26,58 | 4,43 | 0,005 | 2,00 | 2,11 | 4,32 |
| D8 | 156,05 | 54,77 | OAE* | BDCC | 3,00 x 3,00 | 53,16 | 4,43 | 0,005 | 2,00 | 2,11 | 4,32 |
| D9 | 236,18 | 2,84 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,007 | 1,00 | 0,68 | 2,80 |
| D10 | 162,46 | 36,33 | OAE* | BDCC | 2,50 x 2,50 | 33,70 | 4,05 | 0,006 | 1,67 | 1,74 | 4,18 |
| D11 | 236,18 | 6,48 | OAE* | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,010 | 1,00 | 1,11 | 3,90 |
| D12 | 236,18 | 3,66 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,007 | 1,00 | 0,82 | 2,98 |
| D13 | 236,18 | 2,85 | | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,007 | 1,00 | 0,68 | 2,80 |
| D14 | 144,88 | 23,87 | OAE* | BSCC | 3,00 x 3,00 | 26,58 | 4,43 | 0,005 | 2,00 | 1,90 | 4,19 |
| D15 | 236,18 | 11,67 | OAE* | BDCC | 2,00 x 2,00 | 19,29 | 3,62 | 0,006 | 1,33 | 0,92 | 3,16 |
| D16 | 236,18 | 11,85 | OAE* | BDCC | 2,00 x 2,00 | 19,29 | 3,62 | 0,006 | 1,33 | 0,93 | 3,18 |
| D17 | 236,18 | 4,95 | OAE* | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,006 | 1,00 | 1,10 | 3,01 |
| D18 | 236,18 | 2,60 | OAE* | BSCC | 1,50 x 1,50 | 4,70 | 3,14 | 0,007 | 1,00 | 0,63 | 2,74 |
| D19 | 78,23 | 23,39 | OAE* | BSCC | 3,00 x 3,00 | 26,58 | 4,43 | 0,005 | 2,00 | 1,87 | 4,17 |
| D20 | 236,18 | 26,59 | OAE* | BSCC | 3,00 x 3,00 | 26,58 | 4,43 | 0,005 | 2,00 | 2,07 | 4,29 |

*fez-se os cálculos das bacias e seções das travessias onde serão implantadas OAEs, pois os mesmos auxiliam na análise dos vãos das OAEs projetadas.

## 2.5. DRENAGEM PROFUNDA

A drenagem profunda foi projetada para evitar os problemas acarretados pela incidência das águas subterrâneas na infra e superestrutura da rodovia.

### 2.5.1. Dreno Longitudinal Profundo de Corte em Solo

Foram projetados para condução do lençol freático, onde este é interceptado pelo corpo estradal e encaminhar para fora dos cortes. O lançamento é feito através de terminais nos pontos de passagem ou de ligações às caixas coletoras dos bueiros. Foram previstos drenos longitudinais DPS-02.

### 2.5.2. Dreno de Pavimento

Este dreno tem o objetivo de proteger o pavimento das águas que possam prejudicá-los. Foi adotado dreno raso nos pontos baixo, na direção de sua caída. Foram previstos drenos tipo DSS-04, padrão DNIT.

### 2.5.3. Dreno de Talvegue

Nos talvegues, sobretudo onde a implantação de obras de arte corrente não é coincidente com o fundo das grotas, estão previstos Drenos de Talvegue (DT) para interceptar e/ou rebaixar o lençol freático protegendo o corpo estradal, executados previamente a construção do aterro.

## 2.5.4. QUANTITATIVOS

| Item DER/MG | DESCRIÇÃO | UN | PROJETO QUANTIDADE |
|---|---|---|---|
| 102 - DRENAGEM | | | - |
| RO-40277 | BUEIRO SIMPLES TUBULAR DE CONCRETO, CLASSE CA-2. BSTC Ø 0,80 M - CORPO (EXECUÇÃO, INCLUINDO FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS E BERÇO, EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO E COMPACTAÇÃO) | M | 5.880,00 |
| RO-40288 | BUEIRO SIMPLES TUBULAR DE CONCRETO, BSTC Ø 0,80 M - BOCA (EXECUÇÃO, INCLUINDO FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS, EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO E COMPACTAÇÃO) | U | 25,00 |
| RO-40634 | SARJETA DE CONCRETO EM ATERRO, TIPO DR.SCA-X/Y. LARGURA = 100 CM TIPO 70/30 (EXECUÇÃO, INCLUINDO ESCAVAÇÃO, FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS) | M | 10.702,00 |
| RO-40670 | SARJETA DE CONCRETO EM CORTE TIPO DR.SCC-X/Y. LARGURA = 100 CM TIPO 90/30 (EXECUÇÃO, INCLUINDO ESCAVAÇÃO, FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS) | M | 13.433,00 |
| 2003307 | Valeta de proteção de cortes com revestimento de concreto - VPC 03 - areia e brita comerciais | M | 600,00 |
| 2003309 | Valeta de proteção de cortes com revestimento de concreto - VPC 04 - areia e brita comerciais | M | 19.960,00 |
| 2003451 | Dissipador de energia - DEB 02 - areia e pedra de mão comerciais | U | 30,00 |
| 2003455 | Dissipador de energia - DEB 04 - areia e pedra de mão comerciais | U | 14,00 |
| 2003457 | Dissipador de energia - DEB 05 - areia e pedra de mão comerciais | U | |
| 2003445 | Dissipador de energia - DES 03 - areia e pedra de mão comerciais | U | 9,00 |
| 2003447 | Dissipador de energia - DES 04 - areia e pedra de mão comerciais | U | 95,00 |
| 2003313 | Valeta de proteção de aterros com revestimento de concreto - VPA 03 - areia e brita comerciais | M | 584,00 |
| 2003315 | Valeta de proteção de aterros com revestimento de concreto - VPA 04 - areia e brita comerciais | M | 14.172,00 |
| 2003479 | Caixa coletora de sarjeta - CCS 02 - com grelha de concreto - TCC 01 - areia e brita comerciais | U | 90,00 |
| 2003391 | Descida d'água de aterros tipo rápido - DAR 02 - areia e brita comerciais | M | 140,00 |
| 2003407 | Descida d'água de aterros em degraus - DAD 02 - areia e brita comerciais | M | 595,00 |
| 2003385 | Entrada para descida d'água - EDA 01 - areia e brita comerciais | U | 45,00 |
| 2003387 | Entrada para descida d'água - EDA 02 - areia e brita comerciais | U | 10,00 |
| 2003351 | Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 02 - areia e brita comerciais | M | 9.115,00 |
| 2003925 | Dreno sub-superficial - DSS 04 - tubo de concreto perfurado e brita comercial | M | 18.230,00 |
| RO-40925 | DRENO DE TALVEGUE COM PEDRA DE MÃO, BRITA E AREIA, TIPO DR.DT (EXECUÇÃO, INCLUINDO FORNECIMENTO DE TODOS OS MATERIAIS, EXCETO TRANSPORTE DOS AGREGADOS E ESCAVAÇÃO) | M³ | 1.334,00 |
| RO-42935 | DRENO PROFUNDO COM BRITA, COM SELO, COM 1,50X0,40 M ENVOLVIDO EM MANTA GEOTÊXTIL NÃO TECIDA, COM TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE PERFURADO, DE 100MM TIPO DR.DPS-02 (EXECUÇÃO INCLUINDO ESCAVAÇÃO, FORNECIMENTO DE TODOS OS MATERIAIS, EXCETO TRANSPORTE DOS AGREGADOS) | M | 9.940,00 |
| 705225 | Boca BSCC 1,50 x 1,50 m - esconsidade 0° - areia e brita comerciais | U | 22,00 |
| 705177 | Corpo BSCC 1,50 x 1,50 m - moldado no local - altura do aterro 7,50 a 10,00 m - areia e brita comerciais | M | 1.100,00 |
| 705249 | Boca BSCC 3,00 x 3,00 m - esconsidade 0° - areia e brita comerciais | U | 8,00 |
| 705219 | Corpo BSCC 3,00 x 3,00 m - moldado no local - altura do aterro 7,50 a 10,00 m - areia e brita comerciais | M | 400,00 |
| 705328 | Boca BDCC 2,00 x 2,00 m - esconsidade 0° - areia e brita comerciais | U | 8,00 |
| 705283 | Corpo BDCC 2,00 x 2,00 m - moldado no local - altura do aterro 12,50 a 15,00 m - areia e brita comerciais | M | 400,00 |
| 705330 | Boca BDCC 2,50 x 2,50 m - esconsidade 0° - areia e brita comerciais | U | 2,00 |
| 705297 | Corpo BDCC 2,50 x 2,50 m - moldado no local - altura do aterro 12,50 a 15,00 m - areia e brita comerciais | M | 100,00 |
| 705338 | Boca BDCC 3,00 x 3,00 m - esconsidade 0° - areia e brita comerciais | U | 1,00 |
| 705311 | Corpo BDCC 3,00 x 3,00 m - moldado no local - altura do aterro 12,50 a 15,00 m - areia e brita comerciais | M | 100,00 |
| RO-40234 | REATERRO E COMPACTAÇÃO MANUAL DE VALA | M3 | 40.450,00 |
| RO-41614 | FORMAS PLANAS DE MADEIRA DE PINHO DE 3ª (EXECUÇÃO, INCLUINDO DESFORMA,FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS) | M2 | 2295 |
| RO-41624 | CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, FCK >= 15,0 MPA (EXECUÇÃO, INCLUINDO O FORNECIMENTO E TRANSPORTE DOS AGREGADOS) | M3 | 325,13 |
| RO-40160 | ESCAVAÇÃO, CARGA, DESCARGA, ESPALHAMENTO E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1ª CATEGORIA, COM CAMINHÃO. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE DE 3.001 A 4.000 M | M3 | 46.109,38 |
| 1107888 | Concreto fck = 15 MPa - confecção em betoneira e lançamento manual - areia e brita comerciais (CANAL) | M³ | 267,00 |
| 2003850 | Lastro de brita comercial (CANAL) | M³ | 74,00 |
| 3108009 | Formas de compensado plastificado 10 mm - uso geral - utilização de 3 vezes - confecção, instalação e retirada (CANAL) | M² | 1.423,00 |
| 407819 | Armação em aço CA-50 - fornecimento, preparo e colocação (CANAL) | KG | 10.063,00 |
| RO-40160 | ESCAVAÇÃO, CARGA, DESCARGA, ESPALHAMENTO E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1ª CATEGORIA, COM CAMINHÃO. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE DE 3.001 A 4.000 M (CANAL) | M³ | 998,00 |