

**Memorial de Cálculo para o
estudo Hidrológico e
Hidráulico da Passagem
sobre o Córrego Água do
Barreiro no município de
Paraguaçu Paulista – SP**

Sumário

1. Introdução	3
2. Estudos hidrológicos	3
2.1. Declividade equivalente do talvegue.....	3
2.2. Tempo de concentração da bacia (TC).....	4
2.3. Tempo de retorno (TR)	5
2.4. Equação de chuva do projeto	5
2.5. Cálculos da vazão e da vazão de cheia.....	5
2.5.1. Coeficiente de forma da bacia (F).....	6
2.5.2. Coeficiente (C)	6
2.5.3. Coeficiente de dispersão da chuva (K)	7
2.5.4. Vazão de cheia (Q)	8
2.5.4.2. Método I – PAI – WU	8
3. Cálculos hidráulicos	9
3.1 Dimensionamento da travessia com base na vazão de projeto.....	9
3.2. Coeficiente de rugosidade Manning [N]	11
4. Metodologia.....	11
5. Área de drenagem específica.....	11

1. Introdução

Nesse memorial do projeto será apresentada a teoria e as fórmulas utilizadas para os Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos da passagem sobre o Córrego Água do Barreiro onde será implantado uma nova travessia localizada na estrada do barreirinho e nas coordenadas E 548005, S 7520311/22K WGS 84.

Todos os cálculos e fórmulas apresentados a seguir são referentes aos desenvolvidos em toda a área estudada, de acordo com os dados atribuídos e coletados.

2. Estudos hidrológicos

2.1. Declividade equivalente do talvegue

Para determinar a declividade equivalente do talvegue, foi utilizada a seguinte expressão (S) retirada do Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo:

$$S = \left[\frac{\sum L}{\frac{L1}{\sqrt{J1}} + \frac{L2}{\sqrt{J2}} + \dots + \frac{Ln}{\sqrt{Jn}}} \right]^2$$

Onde:

[L] = comprimento do talvegue em metros = 3.102,58 m

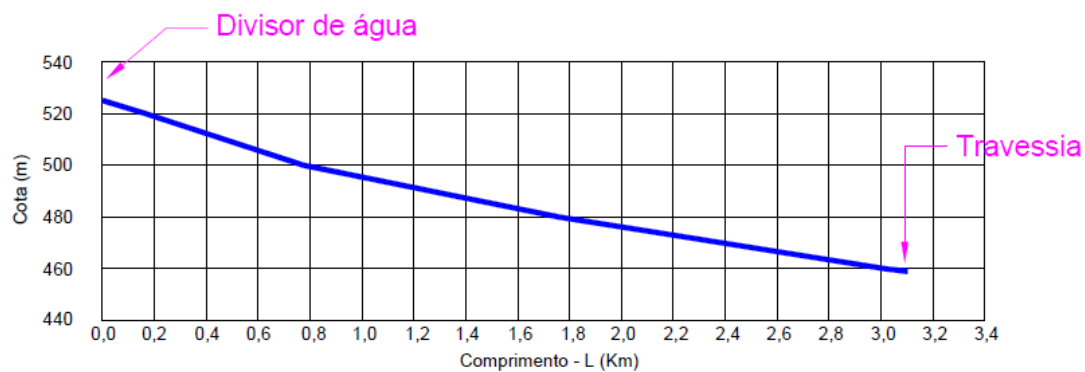
[J] = Declividade no Trecho em m/m = 0,1113 m/m

[S ou I] = Declividade equivalente entre o divisor de águas e a travessia em m/m = 0,0199 m/m

Tabela de cálculo da declividade equivalente (I) do trecho entre o divisor de água e a travessia.

ponto	cota	dl	dh	j	I/j
0	525,00	-			
1	520,00	164,02	5,00	0,0305	939,42
2	500,00	609,49	20,00	0,0328	3.364,61
3	480,00	984,68	20,00	0,0203	6.909,20
4	460,00	1259,84	20,00	0,0159	9.999,04
5	459,00	84,55	1,00	0,0118	777,45
		3.102,58	66,00	0,1113	21.989,71
I= 0,0199 m/m					

Gráfico do perfil do talvegue.



2.2. Tempo de concentração da bacia (TC)

Para a determinação do Tempo de Concentração foi utilizado a fórmula empírica do California Culverts Practice.

$$tc = 57. \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385}$$

Onde:

L = Comprimento do Talvegue do Rio [m] = 3.102,58 m

S = Declividade equivalente [m/m] = 0,0199 m/m

$$t_c = 42,00 \text{ min}$$

2.3. Tempo de retorno (TR)

De acordo com a Instrução Técnica DPO nº 2, a tabela 1 demonstra os valores para o tempo de retorno para zona urbana e rural:

Tabela 1. Valores mínimos de período de retorno (TR) para projetos de canalizações e travessias

Localização	TR (anos)
zona rural	25
zona urbana ou de expansão urbana	100

Fonte: DAEE (2007)

Portanto para a elaboração do estudo foi utilizado TR de 25 anos, pois travessia se encontra em área rural. Mas para aumentarmos a margem e segurança foi calculado para um período de retorno de 100 anos também.

2.4. Equação de chuva do projeto

A equação utilizada neste estudo foi da cidade de Martinópolis devido a proximidade e por não existir equação específica determinada para o município, sendo:

$$i_{t,T} = 41,59 (t + 30)^{-0,8906} + 25,90 (t + 50)^{-1,0020} \cdot [-0,48 - 0,89 \ln \ln(T/T-1)]$$

2.5. Cálculos da vazão e da vazão de cheia

Para calcular essas vazões faz-se necessário o cálculo de alguns parâmetros, como segue abaixo:

2.5.1. Coeficiente de forma da bacia (F)

Precisa-se do coeficiente F para calcular-se o coeficiente C (coeficiente de escoamento superficial – adimensional).

Para determinar o F temos:

$$F = \frac{L}{2(A/\pi)^{1/2}}$$

2.5.2. Coeficiente (C)

Para determinar o Coeficiente C temos:

$$C1 = \frac{4}{(2 + F)}$$

Portando:

$$C = \frac{2}{(1 + F)} \times \frac{C2}{C1}$$

Onde

L = comprimento do talvegue do Rio, [L] = Km.

A = área da bacia de contribuição, [A] = Km².

C2 = Tabela do guia Prático de para Pequenas Obras Hidráulicas, 1998.

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,20	0,35

Fonte: DAEE - (2005).

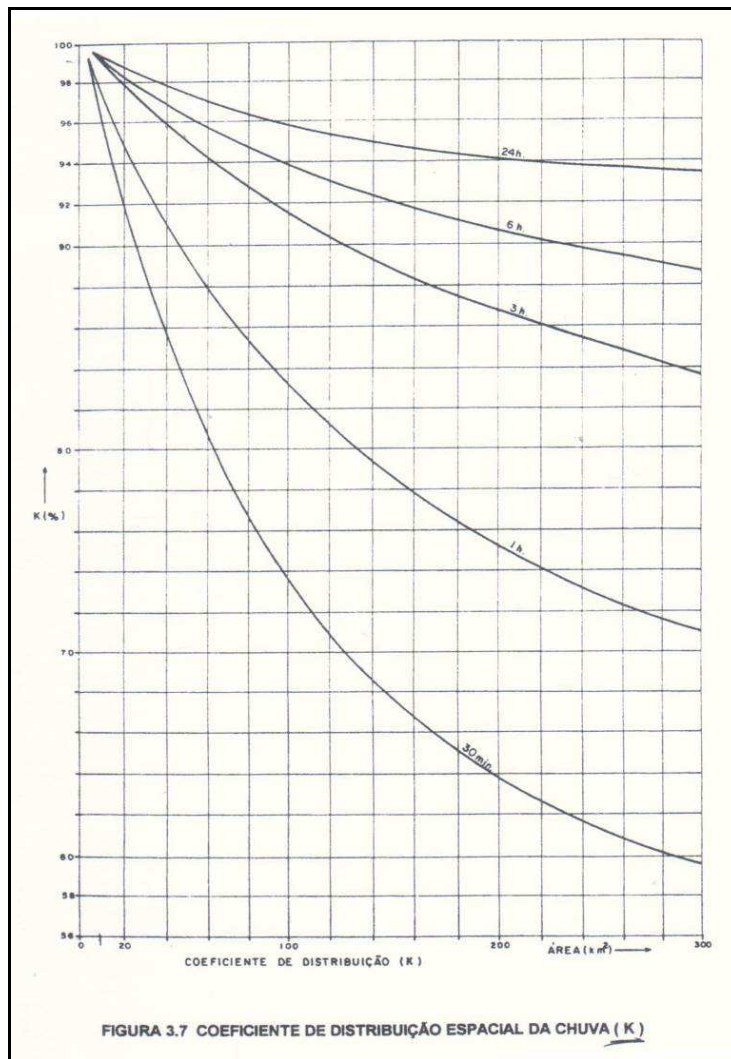
A tabela acima apresenta os valores de C2 para três tipos de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica. Como toda a bacia a montante da travessia apresenta o uso tipicamente rural, com presença de vegetação de gramíneas e de culturas agrícolas como cana-de-açúcar, foi adotado o valor de 0,30 para trabalharmos dentro de uma margem grande de segurança.

3 Coeficiente de Escoamento Superficial: C	
$C = \frac{f \cdot C2}{C1}$ $C1 = \frac{4}{2 + F}$	$f = \frac{2}{1 + F}$ $F = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{A \cdot I}}$
<p>Dados: A = 5,04 km² C2 = 0,30 (Tabela) L = 3,10 km</p>	
<p>C1 = 1,2404</p>	
<p>f = 0,8990</p>	
<p>C = 0,22</p>	

Utilizando a fórmula acima, chegamos ao cálculo do coeficiente de escoamento de 0,22.

2.5.3. Coeficiente de dispersão da chuva (K)

Do livro Manual de Cálculos Das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do estado de São Paulo, temos um ábaco para determinar o coeficiente K:



Fonte: DAEE (1994).

2.5.4. Vazão de cheia (Q)

Para determinação da vazão de cheia (Q) foi utilizado o método I-PAI-WU; para bacias de 2 a 200 Km² de área.

2.5.4.2. Método I – PAI – WU

$$Q = 0,278.C.i.A^{0,9}.K$$

Onde:

Q – Vazão de Cheia [Q] = m³/s.

C – Coeficiente de escoamento superficial.

i – Intensidade de chuva [i] = (mm/h).

A - Área da bacia de contribuição [A] = Km².

K – coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Por fim, para determinar a vazão máxima de cheia adota-se um coeficiente de 1,10 (fator de segurança para corrigir a vazão máxima) para o Valor de Q:

$$Q_{Max} = Q \times 1,10$$

3. Cálculos hidráulicos

3.1 Dimensionamento da travessia com base na vazão de projeto

Calculada a vazão de projeto, com base na área de influência, no coeficiente de escoamento (0,30) e na chuva de projeto com tempo de retorno de 25 e 100 anos.

A princípio obtém-se somente a vazão do projeto, fazendo-se necessário encontrar o nível da água (y) na entrada da travessia e a velocidade (v). Para o cálculo da vazão de projeto o método utilizado é empírico. Adotou-se formato retangular para o curso natural, pois será o seu formato na entrada da travessia, com base de 10,80m.

Cálculo da velocidade e profundidade antes da travessia.

Utilizou-se a formula de Manning (Equação-1) para o cálculo da velocidade e o nível da lamina d'água na entrada da travessia.

Equação-1:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

Onde:

Q= Vazão de projeto (25 anos = 25,71m³/s e 100 anos = 31,37m³/s);

N= Rugosidade do curso natural (0,035);

I= Declividade média da bacia (0,0199 m/m);

A= Área molhada;

P= Perímetro molhado;

A área e o perímetro dependem do nível da água, portanto decompõe-se a área e o perímetro dentro da Equação-1, gerando a Equação-2.

Equação-2:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = \frac{(b \cdot y)^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 \cdot y)^{\frac{2}{3}}}$$

Onde:

b= base do canal antes de entrar na travessia;

y= nível da água antes da travessia;

O próximo passo foi deixar a fórmula com os valores existentes para descobrir o valor da profundidade normal que é o valor de y:

Valor de y de 0,769m para um período de retorno de 25 anos

INCÓGNITA DO PROBLEMA: Profundidade Normal

Vazão: 25,71 m³/s

Profundidade Normal: 0,769 m

Declividade: 0,0199 m/m

Coefficiente de Rugosidade: 0,0350

Folga: 0,50 m

Comprimento do Canal: 6,0 m

Largura da Base: 10,80

Valor de y de 0,872m para um período de retorno de 100 anos

INCÓGNITA DO PROBLEMA: Profundidade Normal

Vazão: 31,37 m³/s

Profundidade Normal: 0,872 m

Declividade: 0,0199 m/m

Coefficiente de Rugosidade: 0,0350

Folga: 0,50 m

Comprimento do Canal: 6,0 m

Largura da Base: 10,80

Portanto levando em consideração o período de retorno de 100 anos a altura máxima de 0,872 m de lâmina d'água dentro da travessia e deixando uma borda livre de 0,5 m, chegamos em um gabarito ideal da travessia de 10,80 m de largura e 1,372 m de altura, portanto a travessia a ser executada

em estrutura metálica com tabuleiro de concreto armado com medidas de vão livre de 10,80m de comprimento e 3,0m de altura comportará o máximo de cheia que passará sob a passagem.

3.2. Coeficiente de rugosidade Manning [N]

De acordo com o Guia prático para dimensionamentos de pequenas obras hidráulicas (2006), os valores de Manning, temos:

REVESTIMENTO	n
Terra	0,035
Rachão	0,035
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto ⁶	0,018

Valores sugeridos pelo DAEE.

Fonte: DAEE – (2005).

O coeficiente para determinação da lâmina d' água na travessia foi de 0,035.

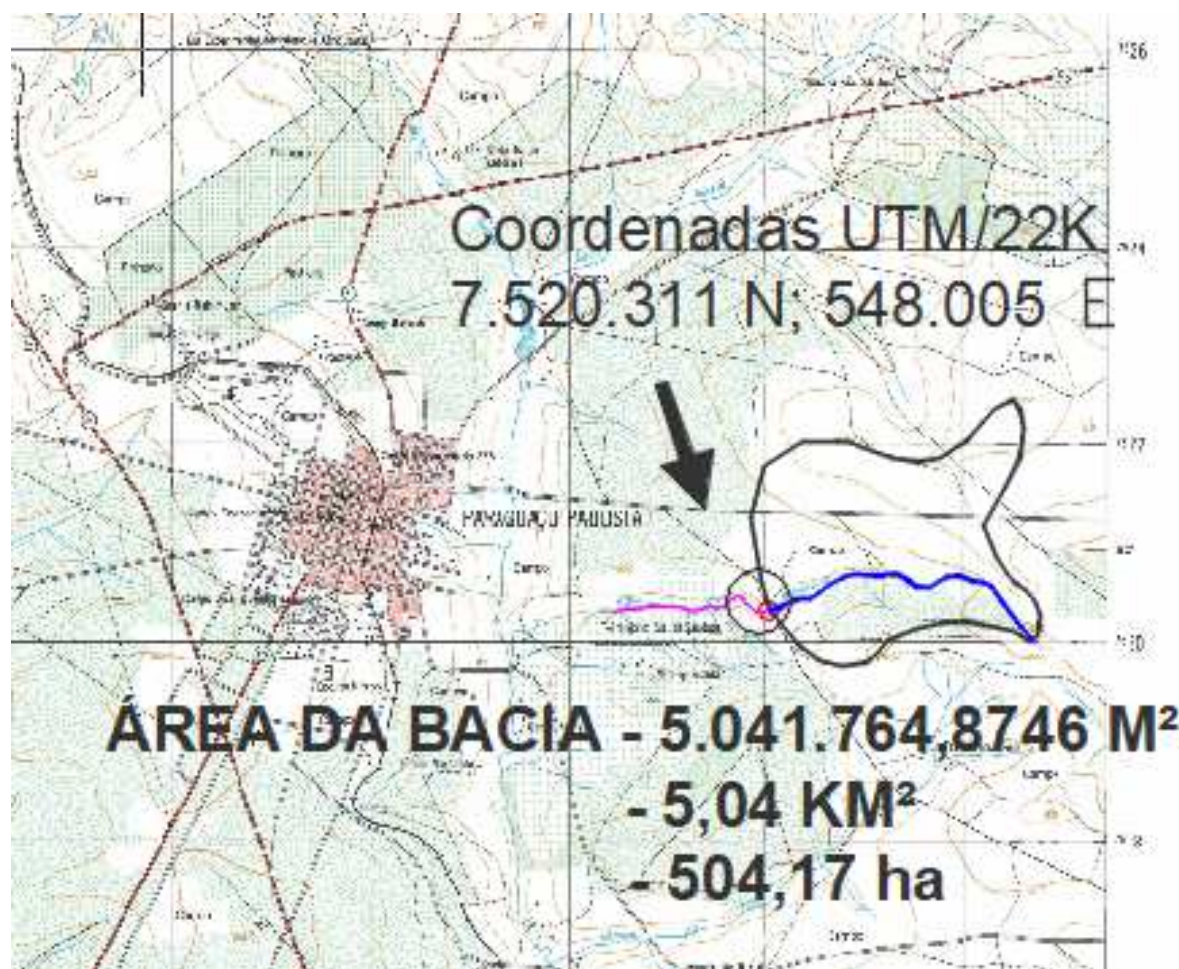
4. Metodologia

A travessia é de grande necessidade e importância para a população que vive nessa área, uma vez que essa lhes dão acesso a área urbana central, sendo para trabalho, escoamento de produção, estudo e consumo.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas as metodologias dos guias desenvolvidos pelo DAEE: Guia prático para pequenas obras hidráulicas, (2006); Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo, (1994); e Instruções Técnicas DPO de 1 a 4 de 30/07/2007. A equação escolhida foi o método I-PAI-WU, utilizada em cálculos indiretos em bacias de 2 a 200 Km².

5. Área de drenagem específica

Abaixo encontra-se o mapa da área de drenagem e o memorial de cálculo.



ESTUDOS HIDROLÓGICOS PERÍODO DE RETORNO DE 25 ANOS

CÁLCULO DA INTENSIDADE DE CHUVA

TRAVESSIA RETORNO DE 25 ANOS

X - 548005
Y - 7520311

1 Declividade equivalente da Bacia: (I)

ponto	cota	dl	dh	j	I/j
0	525,00	-			
1	520,00	164,02	5,00	0,0305	939,42
2	500,00	609,49	20,00	0,0328	3.364,61
3	480,00	984,68	20,00	0,0203	6.909,20
4	460,00	1259,84	20,00	0,0159	9.999,04
5	459,00	84,55	1,00	0,0118	777,45
		3.102,58	66,00	0,1113	21.989,71

I= 0,0199 m/m

2 Tempo de concentração: (tc)

FÓRMULA CALIFÓRNIA
CULVERTS PRACTICE

L= 3,10 km
dH= 66,00 m

tc = 57 . L^1,155 * H^-0,385

tc = 42,00 min

3 Coeficiente de Escoamento Superficial: C

$$C = \frac{f \cdot C2}{C1} \quad f = \frac{2}{1 + F}$$

$$C1 = \frac{4}{2 + F} \quad F = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{A \cdot I}}$$

C1 = Coeficiente de retardo
C2 = Coeficiente volumétrico de escoamento (adotado, ver tabela)
f = Coeficiente de amortecimento da bacia
F = Fator de forma da bacia
L = Comprimento do talvegue (km)
A = Área da bacia (km²)

Dados: A= 5,04 km²
C2= 0,30 (Tabela)
L= 3,10 km

F= 1,2248

C1= 1,2404

f= 0,8990

C= 0,22

4 Equação de chuva: (i)

Utilizada a equação do município de
Martinópolis:
Laranja Doce - D8-041R/DAEE

t= 42,00
T= 25

(t+30) = 72,0040

0,022173705

(t+50) = 92,0040

0,010771241

T/(T-1) = 1,041666667

ln =

0,040821995

ln ln =

-3,198534261

$$i_{t,T} = 41,59 (t + 30)^{-0,8906} + 25,90 (t + 50)^{-1,0020} \cdot [-0,48 - 0,89 \ln \ln (T/T-1)]$$

i= 1,5825 mm/min

i= 94,95 mm/hora

5 Vazão Superficial Total: (Q)

Utilizada a equação
do Método de
I-PAI-WU

C= 0,22
i= 94,95 mm/h
A= 5,04 km²
k= 0,95

4,2873356

Q= 0,278.C.i.A^{0,9}.K.1,1

Q= 25,71 m³/s

ESTUDOS HIDROLÓGICOS PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS

CÁLCULO DA INTENSIDADE DE CHUVA

TRAVESSIA RETORNO DE 100 ANOS

X - 548005
Y - 7520311

1 Declividade equivalente da Bacia: (I)

ponto	cota	dl	dh	j	I/j
0	525,00	-			
1	520,00	164,02	5,00	0,0305	939,42
2	500,00	609,49	20,00	0,0328	3.364,61
3	480,00	984,68	20,00	0,0203	6.909,20
4	460,00	1259,84	20,00	0,0159	9.999,04
5	459,00	84,55	1,00	0,0118	777,45
		3.102,58	66,00	0,1113	21.989,71

I = 0,0199 m/m

2 Tempo de concentração: (tc)

FÓRMULA CALIFÓRNIA
CULVERTS PRACTICE

L = 3,10 km
dH = 66,00 m

3,70

tc = 57 . L^{1,155} . H^{-0,385}

tc = 42,00 min

3 Coeficiente de Escoamento Superficial: C

$$C = \frac{f \cdot C_2}{C_1} \quad f = \frac{2}{1 + F}$$

$$C_1 = \frac{4}{2 + F} \quad F = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{A \cdot I}}$$

C1 = Coeficiente de retardo
C2 = Coeficiente volumétrico de escoamento (adotado, ver tabela)
f = Coeficiente de amortecimento da bacia
F = Fator de forma da bacia
L = Comprimento do talvegue (km)
A = Área da bacia (km²)

Dados: A = 5,04 km²
C2 = 0,30 (Tabela)
L = 3,10 km

F = 1,2248

C1 = 1,2404

f = 0,8990

C = 0,22

4 Equação de chuva: (i)

Utilizada a equação do município de
Tatuí:
Campo do Paiol - E5-062R

t = 42,00
T = 100

(t+30) = 72,0040

0,022173705

(t+50) = 92,0040

0,010771241

T/(T-1) = 1,01010101

ln =

0,010050336

ln ln =

-4,600149227

$$i_{t,T} = 41,59 (t + 30)^{-0,8906} + 25,90 (t + 50)^{-1,0020} \cdot [-0,48 - 0,89 \ln \ln (T/(T-1))]$$

i = 1,9305 mm/min

i = 115,83 mm/hora

5 Vazão Superficial Total: (Q)

Utilizada a equação
do Método de
I-PAI-WU

C = 0,22
i = 115,83 mm/h
A = 5,04 km²
k = 0,95

4,2873356

Q = 0,278 . C . i . A^{0,9} . K . 1,1

Q = 31,37 m³/s

Paraguaçu Paulista, 14 de Fevereiro de 2018

Leonardo R. Pinhel

Leonardo Rafael Pinhel
Eng. Agrônomo
CREA: 5069265987