



Prefeitura Municipal de Lavrinhas
Paço Municipal n.º 200 - Centro - Tel: (12)-31461110 Fax: 3146-1221
Estado de São Paulo

RELATÓRIO DE
CÁLCULO HIDROLÓGICO
DO CÓRREGO DO VEADO,
BAIRRO RETIRO DOS
BARBOSA, LAVRINHAS, SP.

Sumário

1.	Apresentação.....	3
1.1	Finalidade da Obra Hidráulica:.....	3
1.2	Justificativa para sua realização:	3
1.3	Desenhos:	3
1.3.1.	Mapa da Localização Regional - bacia de contribuição, obtida a partir das folhas do IBGE (1: 50.000).....	4
1.3.2	Croqui de Demonstração dos detalhes de acesso ao local do empreendimento.....	5
2.	Estudos Hidrológicos.....	6
2.1.	Apresentação do valor da área da bacia de contribuição limitada pela seção da obra ou interferência:.....	6
2.2.	Apresentação da metodologia empregada: discriminação e justificativa:.....	6
2.3.	Perfil do talvegue desde o divisor de águas até a seção de projeto:	7
2.3.1	Perfil Longitudinal do Talvegue do Rio do Jacu. Origem Planialtimétrica na escala 1:50.000 (IBGE).....	8
2.4.	Determinação da declividade equivalente do talvegue (leq):	9
2.5.	Calcular o Fator de Forma (F):.....	9
2.6	Determinação do tempo de concentração (tc) relativo à bacia de contribuição: Determinada pela equação:.....	9
2.7	Definição do Coeficiente Volumétrico de escoamento superficial (C2):.....	9
2.8	Período de retorno (TR) – definido em função do tipo de obra:.....	10
2.9	Cálculo da intensidade da chuva de projeto (it,T):	10
2.10	Determinação do Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K):.....	11
2.11	Determinar o Coeficiente C1, através da Equação:.....	12
2.12	Determinar o Coeficiente (C) através da expressão:	12
2.13	Determinação do Volume Total do Hidrograma (m ³), que refere-se o volume total de precipitação na área de estudo:.....	12
	Determinação da vazão de cheia do projeto (Q) é determinada pela expressão de I-PAI-WU que é:.....	12
2.14.1	Hidrograma de Vazão da Cheia Precipitada.....	14
3	Estudos Hidráulicos.....	15
3.1.	Determinação ou definição, para cada trecho homogêneo dos seguintes elementos:.....	15

3.2.	Dimensionamento hidráulico da seção:	16
3.3.	Determinação da linha d'água de projeto:	19
3.4.	Avaliação dos efeitos dos níveis d'água ou vazões de cheia a montante e a jusante da canalização a ser implantada:	22
3.5.	Desenhos:	22
4	Informações Complementares.....	23
4.1.	Relatório fotográfico do local onde a obra será realizada:.....	23

1. Apresentação:

O presente trabalho constitui estudo hidrológico do Projeto de Travessia de um curso d'água denominado "Córrego do Veado", à Estrada Municipal Frederico Zappa, s/nº - bairro Retiro dos Barbosas, município de LAVRINHAS-SP.

1.1 Finalidade da Obra Hidráulica:

Trata-se de uma travessia de curso d'água, que complementar o uso pleno da citada estrada pelos proprietários localizados acima do referido trecho.

1.2 Justificativa para sua realização:

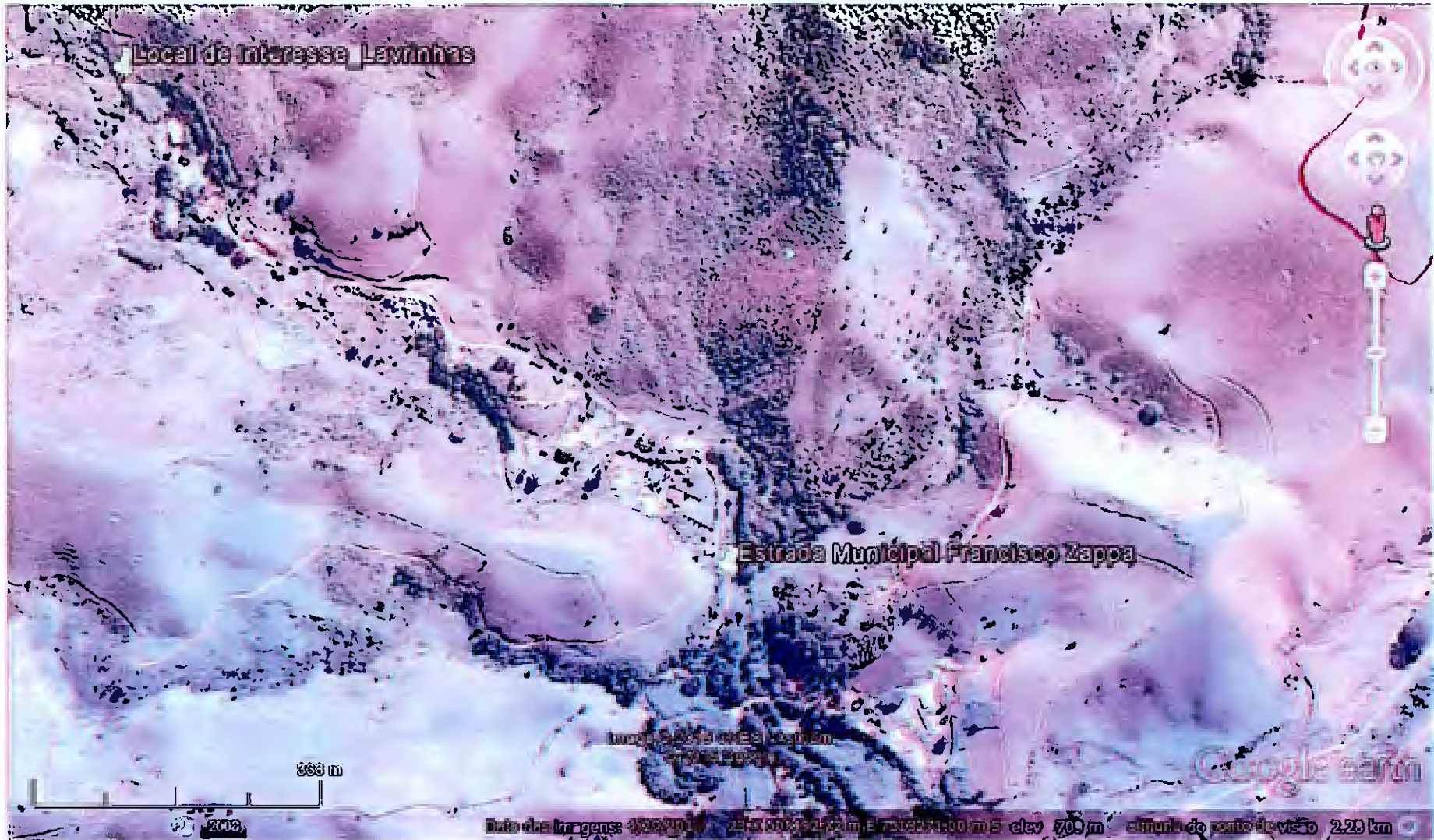
Acesso viário às propriedades acima localizadas, bem como o escoamento de produtos agrícolas dessas.

1.3 Desenhos:

1.3.1 Mapa da Localização Regional – planta planialtimétrica da bacia de concentração com a hidrografia, limites das áreas de interferência (IBGE);

1.3.2 Croqui de Demonstração dos detalhes do acesso ao Local do Empreendimento;

1.3.2 Croqui de Demonstração dos detalhes de acesso ao local do empreendimento.



P

2. Estudos Hidrológicos:

2.1. Apresentação do valor da área da bacia de contribuição limitada pela seção da obra ou interferência:

A Bacia de contribuição descreve um perímetro de 15.258,27 m (Quinze Mil Duzentos e cinquenta e oito metros e vinte e sete centímetros), formando uma área de 13,80 km² (Treze quilômetros quadrados).

2.2. Apresentação da metodologia empregada: discriminação e justificativa:

A metodologia empregada foi a do cálculo pelo método I-PAI-WU:

$$Q = 0,278 * C * i * A^{0,9} * K, \text{ onde}$$

Q = Vazão de enchente (m³/s);
C = Coeficiente de Escoamento Superficial (runoff);
i = intensidade de precipitação (mm/h);
A = Área de Bacia de Contribuição (km²)

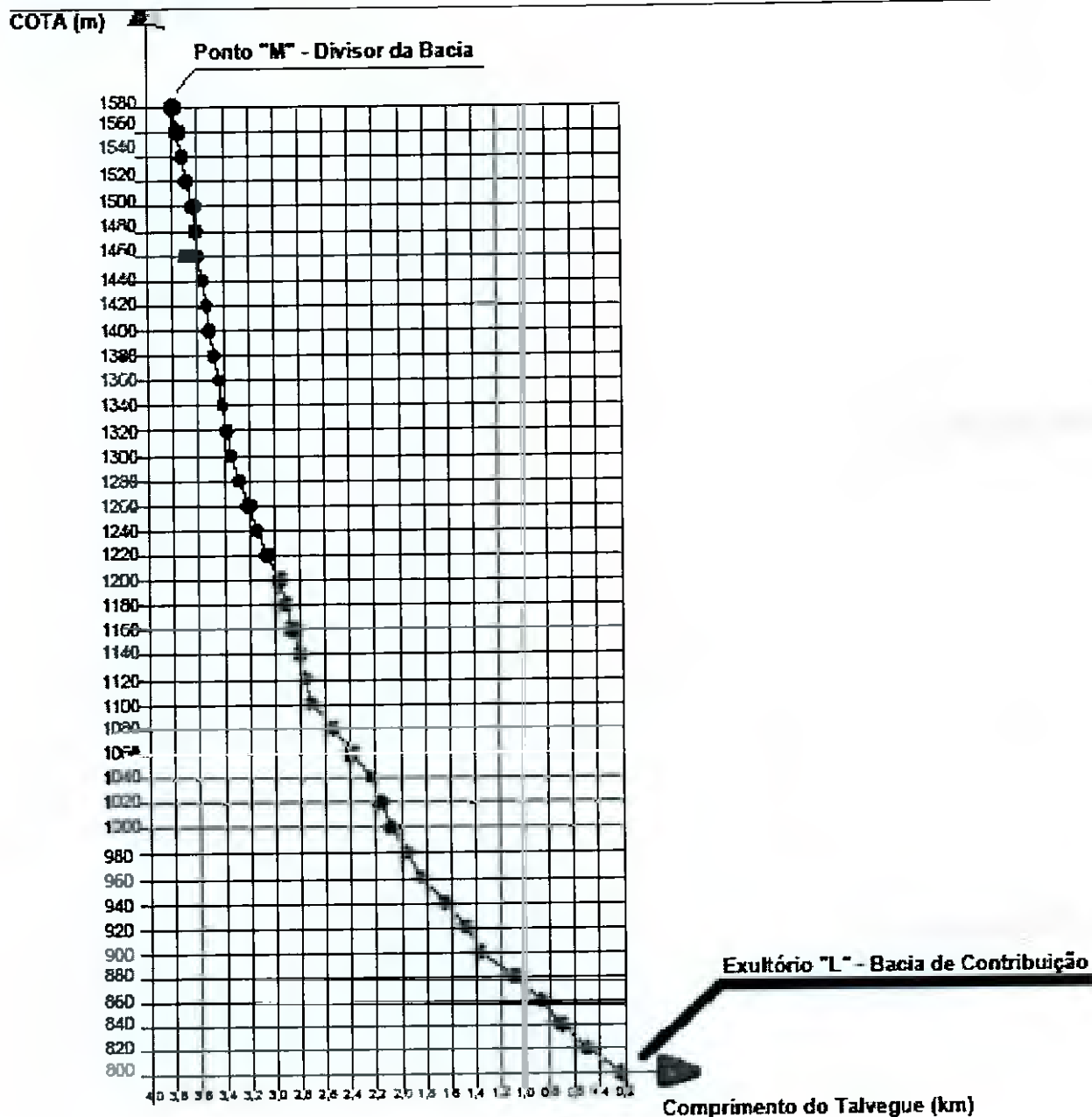
Justifica-se a adoção desta metodologia, pelo fato desta Área de Drenagem (Bacia Hidrográfica) ser maior que 200 ha ($2 \leq AD \leq 200 \text{ km}^2$).

2.3. Perfil do talvegue desde o divisor de águas até a seção de projeto:

Tabela 1: Dados do Levantamento da extensão do talvegue (Divisor "M" até o ponto de entrada da canalização "S" - JUSANTE)

Ponto do Talvegue	Cota H (m)	Distância de "M": L (km)	Desnível no Trecho ΔH (m)	Extensão do Trecho (m)	Declividade no Trecho jn (m/m)
Divisor M	1580,0	3,854	-	-	-
Curva de Nível 01	1560,0	3,816	20	38,66	0,52
Curva de Nível 02	1540,0	3,781	20	34,48	0,58
Curva de Nível 03	1520,0	3,746	20	34,94	0,57
Curva de Nível 04	1500,0	3,691	20	55,24	0,36
Curva de Nível 05	1480,0	3,669	20	21,61	0,92
Curva de Nível 06	1460,0	3,639	20	29,98	0,67
Curva de Nível 07	1440,0	3,618	20	21,30	0,94
Curva de Nível 08	1420,0	3,588	20	30,33	0,66
Curva de Nível 09	1400,0	3,566	20	21,19	0,94
Curva de Nível 10	1380,0	3,531	20	34,95	0,57
Curva de Nível 11	1360,0	3,493	20	38,14	0,52
Curva de Nível 12	1340,0	3,467	20	26,70	0,74
Curva de Nível 13	1320,0	3,430	20	36,31	0,55
Curva de Nível 14	1300,0	3,400	20	29,86	0,67
Curva de Nível 15	1280,0	3,336	20	64,44	0,31
Curva de Nível 16	1260,0	3,256	20	80,22	0,25
Curva de Nível 17	1240,0	3,194	20	61,46	0,32
Curva de Nível 18	1220,0	3,114	20	80,80	0,25
Curva de Nível 19	1200,0	3,012	20	101,87	0,20
Curva de Nível 20	1180,0	2,965	20	46,43	0,43
Curva de Nível 21	1160,0	2,919	20	46,64	0,43
Curva de Nível 22	1140,0	2,858	20	60,46	0,33
Curva de Nível 23	1120,0	2,811	20	47,19	0,42
Curva de Nível 24	1100,0	2,771	20	40,05	0,50
Curva de Nível 25	1080,0	2,590	20	181,12	0,11
Curva de Nível 26	1060,0	2,440	20	149,04	0,13
Curva de Nível 27	1040,0	2,298	20	142,86	0,14
Curva de Nível 28	1020,0	2,206	20	92,20	0,22
Curva de Nível 29	1000,0	2,132	20	73,27	0,27
Curva de Nível 30	980,0	2,011	20	121,74	0,16
Curva de Nível 31	960,0	1,897	20	113,67	0,18
Curva de Nível 32	940,0	1,707	20	190,17	0,11
Curva de Nível 33	920,0	1,529	20	177,57	0,11
Curva de Nível 34	900,0	1,423	20	105,54	0,19
Curva de Nível 35	880,0	1,148	20	275,59	0,07
Curva de Nível 36	860,0	0,931	20	217,55	0,09
Curva de Nível 37	840,0	0,758	20	172,21	0,12
Curva de Nível 38	820,0	0,559	20	199,00	0,10
Curva de Nível 39	810,86	0,375	20	184,18	0,11

2.3.1 Perfil Longitudinal do Talvegue do Rio do Jacu. Origem Planialtimétrica na escala 1:50.000 (IBGE).



2.4. Determinação da declividade equivalente do talvegue (leq):

$$\left(\frac{L}{\frac{L1}{\sqrt{j1}} + \frac{L2}{\sqrt{j2}} + \frac{L3}{\sqrt{j3}} + \frac{L4}{\sqrt{j4}} + \frac{L5}{\sqrt{j5}} + \frac{L6}{\sqrt{j6}} + \frac{L7}{\sqrt{j7}} + \dots} \right)^2$$

Onde que:

$$\text{leq (S)} = 204,40 \text{ m/km}$$

2.5. Calcular o Fator de Forma (F):

$$F = \frac{L}{2\left(\frac{A}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}} \rightarrow \frac{3,854}{2\left(\frac{13,80}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}} \therefore F = 0,88$$

2.6. Determinação do tempo de concentração (tc) relativo à bacia de contribuição:
Determinada pela equação:

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^2}{leq}\right)^{0,385} \Rightarrow 57 * \left(\frac{3,854^2}{204,40}\right)^{0,385} \therefore t_c = 12,36 \text{ min.}$$

2.7. Definição do Coeficiente Volumétrico de escoamento superficial (C2):

Foi utilizado o coeficiente de escoamento superficial (C) no valor de **0,30**, devido à bacia de contribuição estar locada no zoneamento rural do município;

GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	COBERTURA OU TIPO DE SOLO	USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO
Baixo	<ul style="list-style-type: none"> - com vegetação rala e/ou esparsa - solo arenoso seco - terrenos cultivados 	<ul style="list-style-type: none"> - zonas verdes não urbanizadas
Médio	<ul style="list-style-type: none"> - terrenos com manto fino de material poroso - solos com pouca vegetação - gramados amplos - declividades médias 	<ul style="list-style-type: none"> - zona residencial com lotes amplos (maior que 1000 m²) - zona residencial rarefeita
Alto	<ul style="list-style-type: none"> - terrenos pavimentados - solos argilosos - terrenos rochosos estêreis ondulados - vegetação quase inexistente 	<ul style="list-style-type: none"> - zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m²)

2.8 Período de retorno (TR) – definido em função do tipo de obra:

Adotou-se o valor estabelecido na Instrução DAEE – DPO nº 002/2007 de para Travessias (**TR = 100 anos**), ao fato de que a bacia de contribuição em toda a sua totalidade se localiza na área rural do município, conforme o Plano Diretor Municipal;

2.9 Cálculo da intensidade da chuva de projeto ($i_{t,T}$):

Primeiramente, temos os dados de identificação da Estação Pluviográfica do DAEE utilizados no estudo de referência à área-objeto desta outorga:

Nome da Estação:	Queluz	D1-009
Coordenadas geográficas:	Latitude: 22° 32' S	Longitude: 44° 46' W
Altitude da Estação:	500 m	
Período de Dados utilizados:	1970-1971; 1973-1975; 1977; 1979-1981; 1983-1989; 1991-1995	

Nesta Estação, o cálculo da determinação da intensidade de chuva é realizado pela Equação:

$i_{t,TR}$

$$46,25011 * (tc + 20)^{-0,91478} + 12,03699 * (tc + 20)^{-0,89408} * \left[-0,49233 - 0,93573 \ln \ln \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right]$$

,

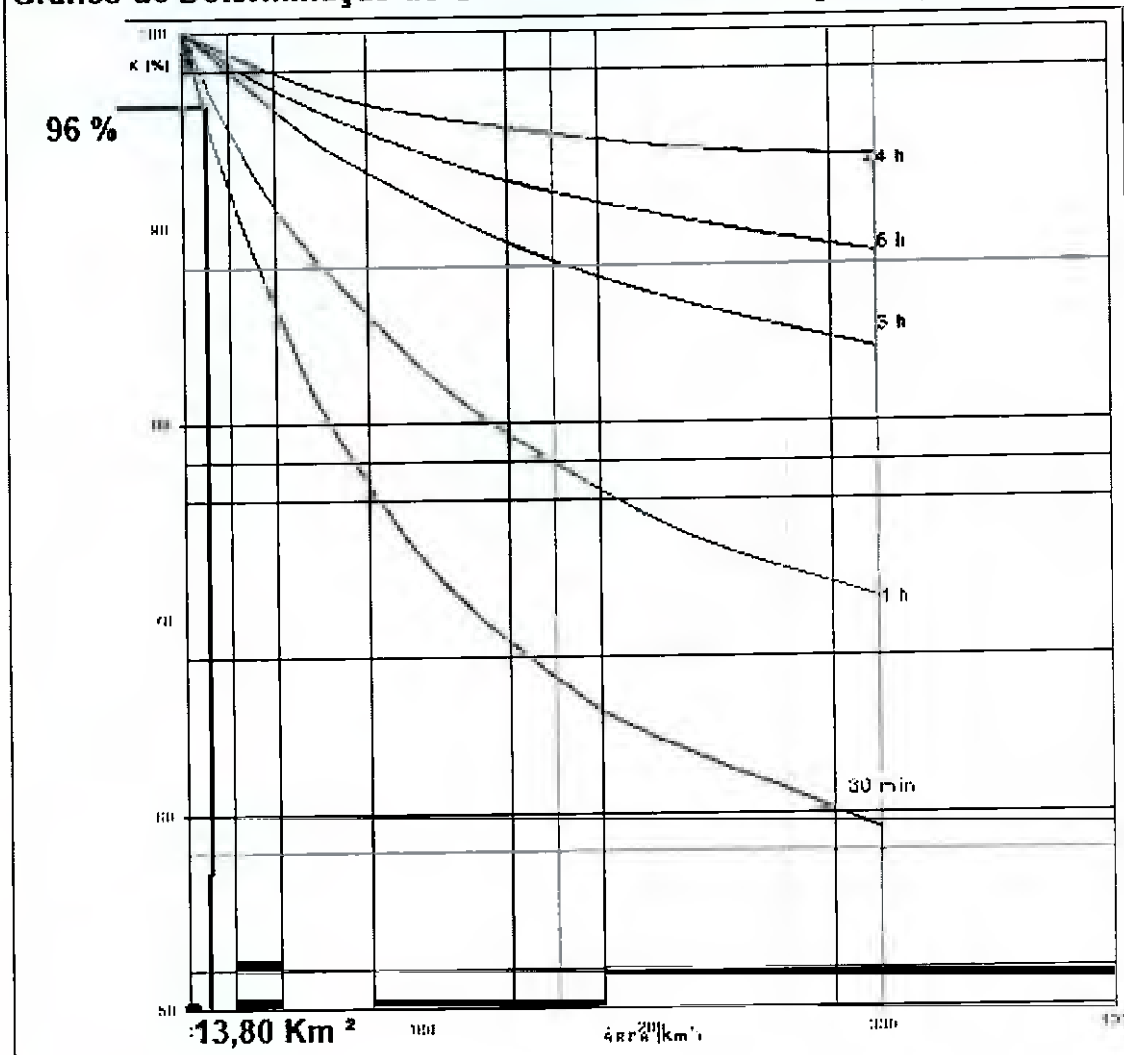
onde, se substituindo pelos valores encontrados no Levantamento, teremos que:

$$46,25011 * (12,36 + 20)^{-0,91478} + 12,03699 * (12,36 + 20)^{-0,89408} * \left[-0,49233 - 0,93573 \ln \ln \left(\frac{100}{100-1} \right) \right] \therefore$$

$$i_{12,36;100} = 9,38 \text{ mm/min} \approx 563 \text{ mm/h}$$

2.10 Determinação do Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K):

Gráfico de Determinação do Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K)



(assinatura)

2.11 Determinar o Coeficiente C1, através da Equação:

$$C1 = \frac{4}{(2 + F)} \rightarrow \left(\frac{4}{2 + 0,88} \right) \therefore C1 = 1,39$$

2.12 Determinar o Coeficiente (C) através da expressão:

$$C = \frac{2}{(1 + F)} * \frac{C2}{C1} \rightarrow \frac{2}{(1 + 0,88)} * \frac{0,30}{1,39} \therefore C = 0,23$$

2.13 Determinação do Volume Total do Hidrograma (m³), que refere-se o volume total de precipitação na área de estudo:

O volume de enchente de projeto (V), foi determinado pela equação:

$$\begin{aligned} V &= (0,278 * C2 * i * tc * 3600 * A^{0,9} * K) * 1,5 \\ &\rightarrow (0,278 * 0,30 * 563 * 0,21 * 3600 * (13,80^{0,9}) * 0,96) * 1,5 \therefore \\ V &\cong 542.562,67 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2.14 Determinação da vazão de cheia do projeto (Q) é determinada pela expressão de I-PAI-WU que é:

$$\begin{aligned} Q &= 0,278 * C * i * A^{0,9} * K \rightarrow 0,278 * 0,23 * 563 * (13,80^{0,9}) * 0,96 \\ &\therefore Q = 366,81 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Conseqüentemente, calcula-se a **Vazão Máxima de Projeto (Qp)** determinada pela expressão:

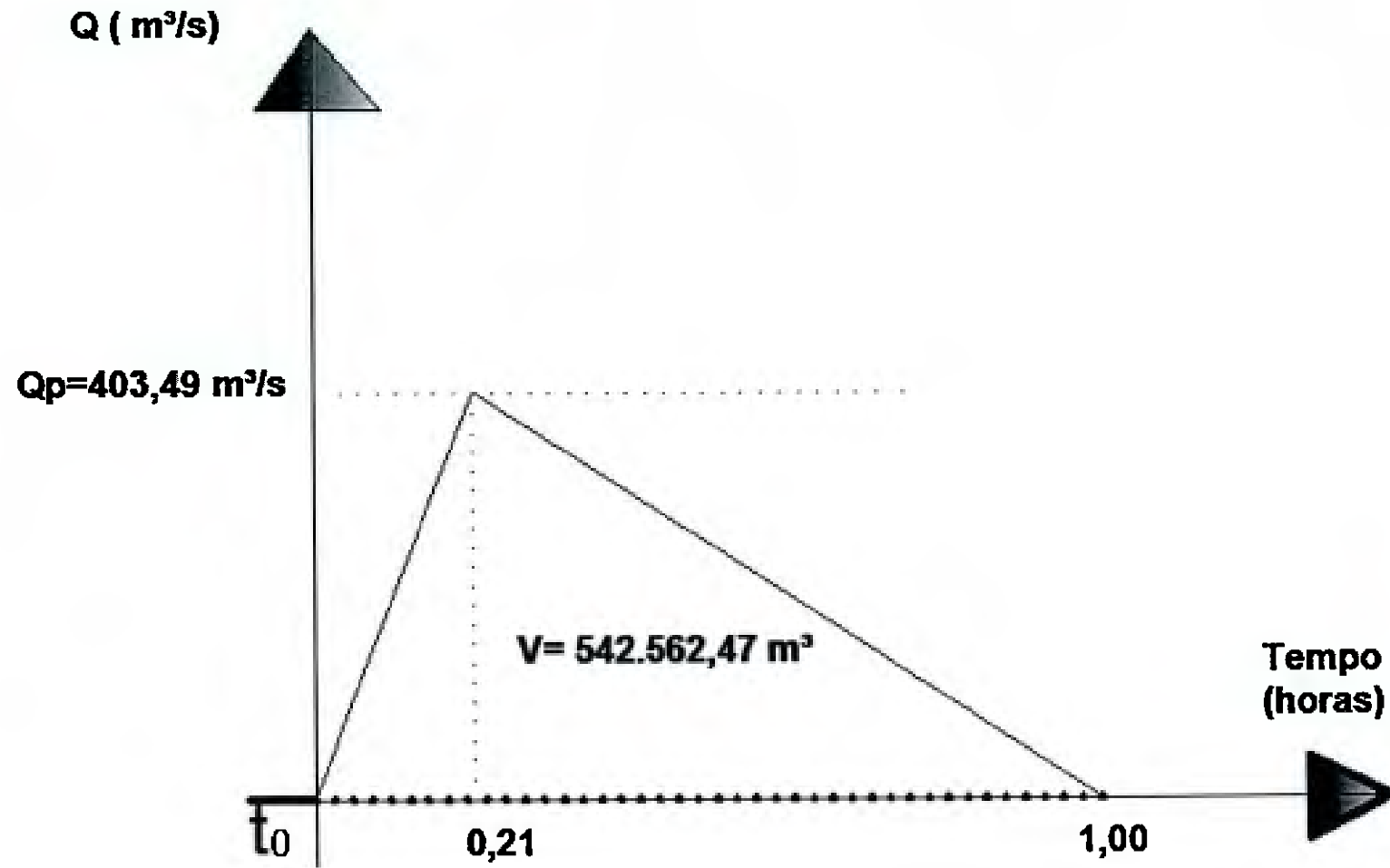
$$Qb = 0,10 * Q \rightarrow 0,10 * 366,81 \therefore Qb = 36,68 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (Vazão de Base),}$$

Portanto:

$$Q_p = Q_b + Q \rightarrow 366,81 + 36,68 \therefore Q_p = 403,49 \text{ m}^3/\text{s}$$



2.14.1 Hidrograma de Vazão da Cheia Precipitada



3 Estudos Hidráulicos:

3.1. Determinação ou definição, para cada trecho homogêneo dos seguintes elementos:

Por se tratar de canal fechado e confeccionado em **concreto**, utilizou-se a **Tabela 4 – Limites Superiores para Velocidades em Canais**, do “Manual de Dimensionamento de Canais – DAEE, a fim de determinar a **velocidade (m/s)** do escoamento”. Chegou-se ao valor adotado de **V = 1,5 m/s**.

Tabela 4. Limites superiores para velocidades em canais⁷.

REVESTIMENTO	V _{máx} (m/s)
Terra	1,5
Gabião	2,5
Pedra argamassada	3,0
Concreto	4,0

⁷ Os limites da Tabela 4 são recomendados como valores de referência, com base em experiência de projetos.

Deve-se determinar também a Declividade média do Canal (**i**), utilizando-se de sua equação e dados do projeto: *Comprimento do Canal (L) = 06 metros;*

Desnível do fundo do Canal (Δh) = 810,86 – 810,50m $\therefore \Delta h = 0,36$ m.

Portanto:

$$i = \frac{\Delta h}{L} \rightarrow \frac{0,36 \text{ m}}{6,0 \text{ m}} \therefore i = 0,06 \text{ m/m}$$

- **Revestimentos e respectiva rugosidade:** Deve-se também adotar o Coeficiente de Rugosidade de Manning. (**n**) apresentado pela **Tabela 3** do Guia:

Tabela 3. Coeficiente de Rugosidade de Manning (n).

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.

⁶ Para canais revestidos de concreto bem acabado, de traçado retilíneo, com águas limpas, pode-se admitir $n=0,013$. Caso a canalização apresente singularidades, onde houver a possibilidade de retenção e/ou de deposição de sedimentos, deve-se adotar $n=0,018$ ou estimar a rugosidade equivalente (n_{eq}) pela expressão (10).

E o valor adotado será o do revestimento de **TERRA** ($n=0,035$)

- **Seção típica de projeto:** A partir desse momento, o material adotado para a Travessia desse córrego será a comum para travessia sob Ponte. A seção típica do projeto a ser adotada será a de **Seção Retangular**.

3.2. Dimensionamento hidráulico da seção:

- Utilizando-se da **Equação da Continuidade**, obteve-se o valor da Área Molhada (A_m):

$$Q = V \cdot A_m \rightarrow \frac{Q}{V} = A_m \rightarrow \frac{403,49 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} \therefore A_m \cong 269,0 \text{ m}^2$$

A partir de valores determinados pelas expressões utilizadas até então tabelas oferecidas pelo Guia, podemos determinar o Raio Hidráulico (RH) utilizando-se da seguinte Equação proposta no referido Guia (página 26)

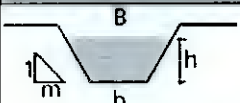
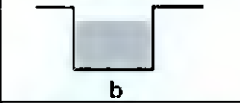
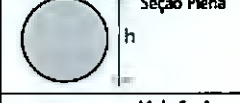
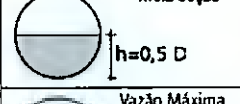
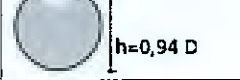
$$Q = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * \sqrt{i} * A_m \equiv R_H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{\frac{1}{n} * \sqrt{i} * A_m}\right)^2}$$

$$\text{Portanto: } R_H = \sqrt[3]{\left(\frac{403,49}{\frac{1}{0,035} * \sqrt{0,06} * 269}\right)^2} \therefore R_H = 0,36 \text{ m}$$

Definido o Raio Hidráulico (R_H), determinamos as dimensões que este canal de concreto ($b \cdot h$) terá para o escoamento da Vazão (Q) acima determinada.

Determinamos as dimensões retangulares do canal, com base na Equação do Raio Hidráulico (R_H) (tabela do Guia/DAEE), onde a altura de canal (h) adotado para esse projeto será de: $h=4,00 \text{ m}$

Tabela 5. Elementos hidráulicos característicos de diferentes tipos de seções transversais.

Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_H)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
 Seção Plena h	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	---
 Meia Seção $h=0,5 D$	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	---
 Vazão Máxima $h=0,94 D$	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	---

Logo:

$$R_H = \frac{b \cdot h}{b + 2h} \rightarrow 0,36 = \frac{b \cdot 4,0}{b + (2 \cdot 4,0)} \therefore b = 0,79 \text{ m}$$



Por ser uma travessia (Canal de Contorno Fechado), adota-se:

$$f \geq 0,20 * H_{TR} \rightarrow 0,2 * 4,0 \therefore f \geq 0,8 m$$

A profundidade da lâmina d'água de projeto determinada será de:

$$H_{TR} = 4,0 - f \rightarrow 4,0 - 0,8 \therefore H_{TR} = 3,20 m$$

Com essas informações e, considerando inclusive a dimensão da BORDA LIVRE (**f**), teremos um canal com dimensões mínimas de **0,79 x 4,0 m**, ou a partir destas medidas.

3.3. Determinação da linha d'água de projeto:

Considerou-se $H_{TR} = 3,20 \text{ m}$, como linha d'água de projeto de enchente adotado, já considerando o **Fator de Borda Livre = $f \geq 0,80\text{m}$** .

O método a ser adotado será com base na variável profundidade (Direct Step Method), considerando as seguintes equações:

$\Delta_x = \frac{E_2 - E_1}{i - j} \quad \text{Onde:}$	
$E_i = y_i + \frac{\alpha_i * V_i^2}{2 * g}$	$i = \frac{z_2 - z_1}{\Delta_x}$
$j = \frac{j_2 - j_1}{2}$	$j_i = \left(\frac{V * n}{R_H^{2/3}} \right)^2$

Em que:

E_i = energia específica numa das seções de cálculo;

Δ_x = discretização da distância entre duas seções de cálculo = **6,00 m** ;

i = declividade de fundo = **0,06 m/m**

j = declividade de linha de energia (média entre as duas seções de cálculo);

j_i = declividade da linha de energia numa seção de cálculo;

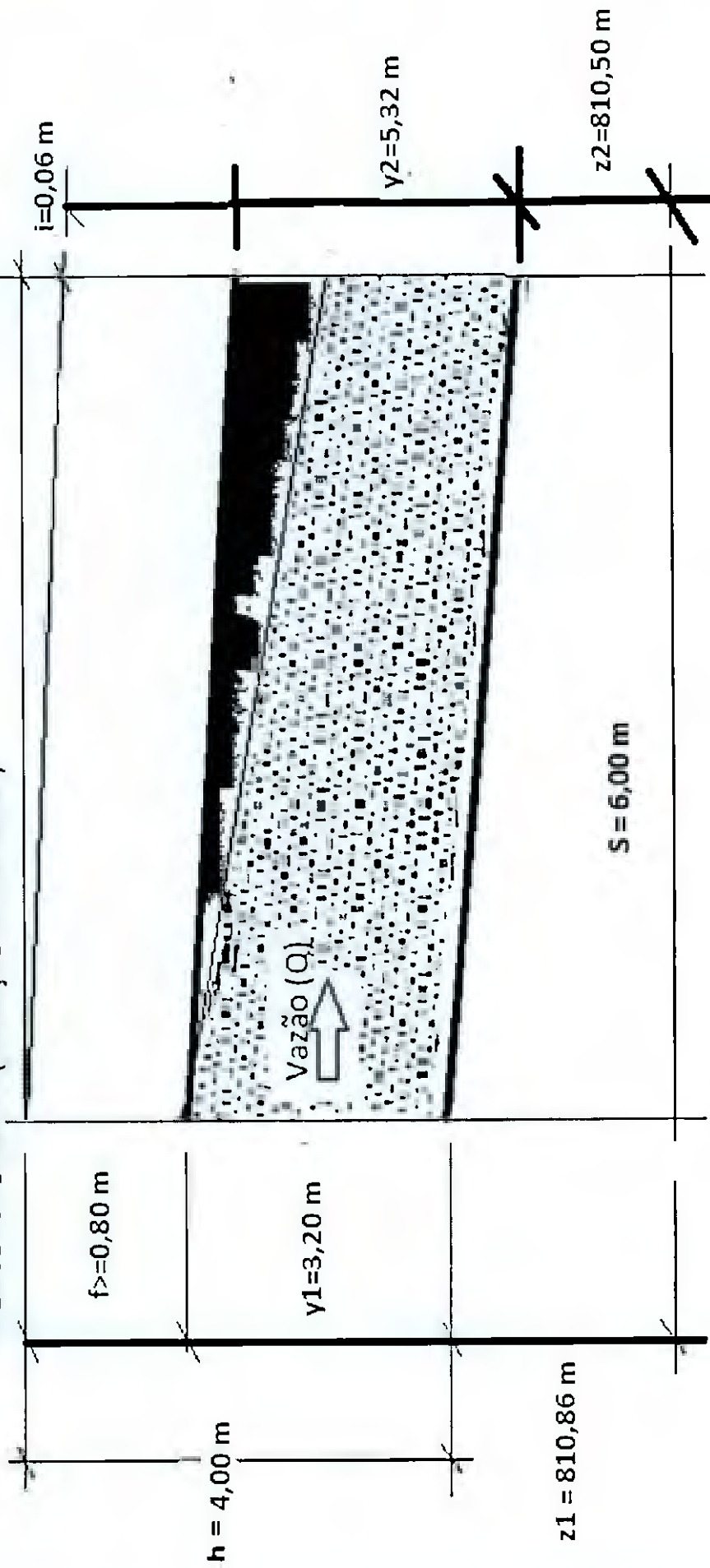
z = cota do fundo do canal numa dada seção: $z_1 = 810,50 \text{ m}$; $z_2 = 810,86 \text{ m}$;

y = profundidade numa dada seção: $y_1(H_{TR}) = 3,20 \text{ m}$; $y_2 = ? \text{ m}$.

Substituindo os valores encontrados nas respectivas incógnitas, temos:

$E_{1-2} = y_i + \frac{\alpha_i * V_i^2}{2 * g}$	$E_1 = 3,20 + \frac{1 * (1,5^2)}{2 * 9,81} \therefore E_1 = 3,31$ $E_2 = y_2 + \frac{1 * (1,5^2)}{2 * 9,81} \therefore E_2 = y_2 + 0,11$	$i_{1-2} = \frac{z_2 - z_1}{\Delta x}$ $i = 0,06 \text{ m/m}$
$j_{1-2} = \left(\frac{V * n}{R_H^{2/3}} \right)^2 \rightarrow j_{1-2} = \left(\frac{1,5 * 0,035}{0,36^{2/3}} \right)^2 \therefore j_{1-2} = 1,48 \text{ m/m}$		
$\Delta_x = \frac{E_2 - E_1}{i - j}$	<p>Onde:</p> $6,00 = \frac{(y_2 + 0,11) - 3,31}{0,06 - 1,48}$	$y_2 = 5,32 \text{ m}$

Dimensionamento e Alturas de "Linha d'água de Projeto" - Pontos mais e menos favoráveis (situação sem Escala)



3.4. Avaliação dos efeitos dos níveis d'água ou vazões de cheia a montante e a jusante da canalização a ser implantada:

As avaliações foram feitas de maneira empírica, considerando as ocupações à montante e Jusante da referida Travessia. Tendo isso como base, nota-se que os efeitos estão sujeitos à própria precipitação histórica, pois à montante estão implantadas apenas pastagens e plantações de eucaliptos, bem como uma rodovia municipal instalada em uma cota topográfica acima da cota de fundo do canal, estando uma travessia instalada com dimensões bem maiores que a adotada para a canalização.

No caso a jusante está implantada outras áreas de pastagens bem como outras propriedades.

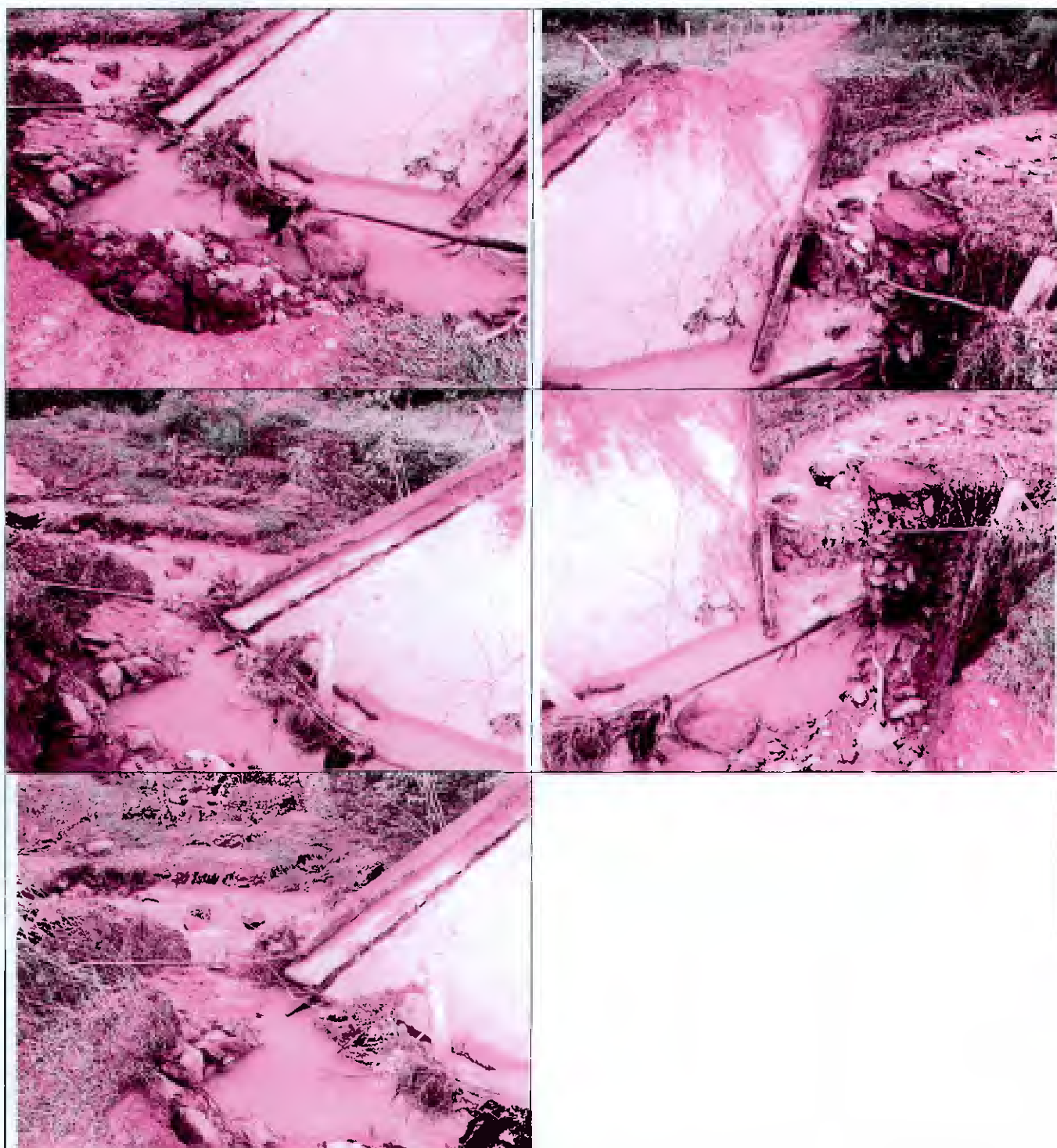
Portanto, entende-se que a canalização representaria um **impacto mínimo ou insignificante** quanto ao escoamento da vazão de enchente, devido ao dimensionamento adotado para a referida canalização.

3.5. Desenhos:

- a) Planta, resultante de levantamento topográfico semicadastral, com a implantação do traçado geométrico do canal, indicação dos proprietários ribeirinhos e das seções transversais topobatimétricas;
- b) Perfil longitudinal do curso d'água, com a indicação das margens esquerda e direita, do leito natural, do fundo do canal projetado, da linha d'água de projeto, das seções transversais topobatimétricas; para cada trecho homogêneo, informar declividade, velocidade, vazão, seção típica e revestimento de projeto;
- c) Seções transversais do curso d'água, com indicação da seção de projeto;
- d) Detalhes de transições = trechos em que ocorrem alterações na geometria da seção;
- e) Plantas e detalhes das estruturas de dissipação de energia, se houver;

4 Informações Complementares:

4.1. Relatório fotográfico do local onde a obra será realizada:




PREFEITURA MUNICIPAL DE LAVRINHAS
Paulo César Felix Júnior
Secretário de Planejamento e Obras
CREA-SP 506.288.266-8