

**INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO
DE BLUMENAU**

RELATÓRIO 1

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das
infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

Novembro de 2003

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

APRESENTAÇÃO

O IPPUB está desenvolvendo estudos para ampliação da infra-estrutura urbana junto a Avenida Beira Rio, em Blumenau. Esta sendo proposta a implantação de uma Ponte de ligação Centro-Ponta Aguda, situada a jusante da Ponte Adolfo Konder e a urbanização da margem direita. Estas infra-estrutura gerarão um impacto sobre o escoamento da onda de cheia no rio Itajaí-Açu, onde a ocorrência de enchentes é freqüente. Neste sentido faz-se necessário determinar a magnitude dos impactos e discutir possíveis soluções e, sobre a adequacidade hidráulica das infra-estruturas propostas

O objeto do estudo é avaliar o escoamento fluvial, de modo a permitir simular modificações nas características físicas do sistema hidrodinâmico considerando as seguintes intervenções:

- a) Da nova Ponte Centro x Ponta Aguda;
- b) Estudo de caso da reurbanização da Beira-Rio;
- c) da urbanização da margem esquerda, no trecho entre a Ponte Metálica e Prainha.

O presente relatório descreve os resultados obtidos com a aplicação do modelo HEC-RAS, que fornece com resultado a evolução da linha de água, e valores médios da velocidade e da altura da lâmina de água, na seção transversal.

A área de estudo abrangeu o trecho diretamente afetado e aquele de influencia direta de propagação da onda de remanso. Assim, foi considerado como área de estudo o trecho entre as pontes Irineu Bomhausen (Rua Santa Catarina) e Ponte dos Arcos (Ponta Aguda-Rua Itajaí)

Os objetivos do estudo são a determinação das linhas de águas e das velocidades medias para diferentes magnitudes de eventos de cheias, para as condições sem e com a existência da infra-estrutura proposta. Foram realizadas simulações empregando-se o modelo hidráulico HEC - River Analysis System, desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau

do Hydrologic Engineering Center, versão 3.1 de novembro de 2002. Este modelo simula o escoamento permanente gradualmente variado, unidimensional e o escoamento não permanente. Neste trabalho foi avaliada a condição de escoamento permanente. Informações mais detalhadas, como campos de velocidade e de pressão, serão obtidas com a aplicação do modelo fluidodinâmico CFX.

ESTUDO DE VAZÕES DE MÁXIMAS

A história das enchentes, no município de Blumenau, caminha lado a lado com a história da colonização e do seu desenvolvimento. Os registros de enchentes iniciam em 1850. Desta data até 2001 foram registradas 63 enchentes em Blumenau. A tabela 1 apresenta a série histórica dos níveis máximos registrados. Os maiores eventos ocorreram nos anos de 1852, 1880, 1911, 1983 e 1984, quando os níveis foram superiores a 15 m. A enchente de 1852 destruiu praticamente todos os esforços dos imigrantes.

A aplicação de funções de probabilidade de extremos às séries históricas de enchentes tem permitido estabelecer os riscos de ocorrência destes eventos nos diferentes locais, representados pelo período de retorno. Este termo é definido como o intervalo de tempo, em média, com que um evento é igualado ou superado pelo menos uma vez e é obtido pelo inverso da probabilidade de não excedência de um dado valor.

Pinheiro et al. (1987) apresentaram um estudo dos períodos de retorno para a estação fluviométrica de Blumenau. Este estudo foi realizado logo após as grandes enchentes de 1983 e 1984. Em 1986, o DNOS executou o melhoramento de um trecho do rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar, removendo obstáculos, alargando, aprofundando e retificando o canal. O alargamento não foi executado em toda a extensão do canal, já que a retirada de sedimentos somente ocorreu a montante e a jusante da margem convexa (margem esquerda), com valores compreendidos entre 28 e 132 m. O objetivo desta obra foi o abaixamento da linha de água a montante, cujo trecho mais importante encontra-se no centro da cidade de Blumenau. Em 1992, foi concluída a barragem Norte, que influencia fortemente nos níveis da estação fluviométrica de Blumenau. Recentemente, Cordero e Medeiros (2003a,b) realizaram uma avaliação do risco de ocorrência de enchentes para Blumenau. Estes resultados incorporam a influência das obras supra citadas. Os resultados deste estudo são apresentados na tabela 3. Na figura 1 é apresentada uma comparação dos dois resultados.

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

Tabela 1 - Picos das Enchentes em Blumenau.

Ano	Dia/Mês	Cota (m)	Ano	Dia/Mês	Cota (m)
1852	29/10	16,30	1953	01/11	9,65
1855	20/11	13,30	1954	08/05	9,56
1862	00/11	9,00	1954	22/11	12,53
1864	17/09	10,00	1955	20/05	10,61
1868	27/11	13,30	1957	18/08	13,07
1870	11/10	10,00	1961	12/09	10,35
1880	23/09	17,10	1961	30/09	9,63
1888	00/01	12,80	1961	01/11	12,49
1891	18/06	13,80	1962	21/09	9,29
1898	01/05	12,80	1963	29/09	9,67
1900	00/06	12,80	1966	13/02	10,07
1911	29/10	9,86	1969	06/04	10,14
1911	02/10	16,90	1971	09/06	10,35
1923	20/06	9,00	1972	29/08	11,35
1925	14/05	10,30	1973	25/06	11,30
1926	14/01	9,50	1973	28/07	9,35
1927	09/10	12,30	1973	29/08	12,35
1928	18/06	11,76	1975	04/10	12,63
1928	15/08	10,82	1978	26/12	11,50
1931	02/05	11,05	1979	10/05	9,45
1931	14/09	11,25	1979	09/10	10,45
1931	18/09	11,53	1980	22/12	13,27
1932	25/05	9,75	1983	04/03	10,60
1933	04/10	11,85	1983	20/05	12,52
1935	24/09	11,65	1983	09/07	15,34
1936	06/08	10,40	1983	24/09	11,75
1939	27/11	11,45	1984	07/08	15,46
1943	03/08	10,50	1990	21/07	8,82
1946	02/02	9,45	1992	29/05	12,80
1948	17/05	11,85	1992	01/07	10,62
1950	17/10	9,45	1997	01/02	9,44
			2001	01/10	11,02

Fonte: IPA/FURB

Tabela 2: Períodos de retorno dos níveis de Blumenau (Pinheiro et al., 1987).

TR (anos)	5	10	20	30	50	100	200	500	1000
Níveis (m)	10,80	12,80	14,10	15,05	16,00	16,80	17,10	17,50	17,90

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

Tabela 3: Níveis e vazões em Blumenau (Cordero e Medeiros, 2003b).

TR (anos)	2	5	10	25	50	100	200	300	500	1000
Níveis (m)	8,2	10,5	11,9	13,6	14,7	15,8	16,8	17,4	18,2	19,1
Vazão (m ³ /s)	2113,2	3078,3	3717,4	4524,7	5123,7	5718,3	6310,6	6656,6	7092,2	7682,8

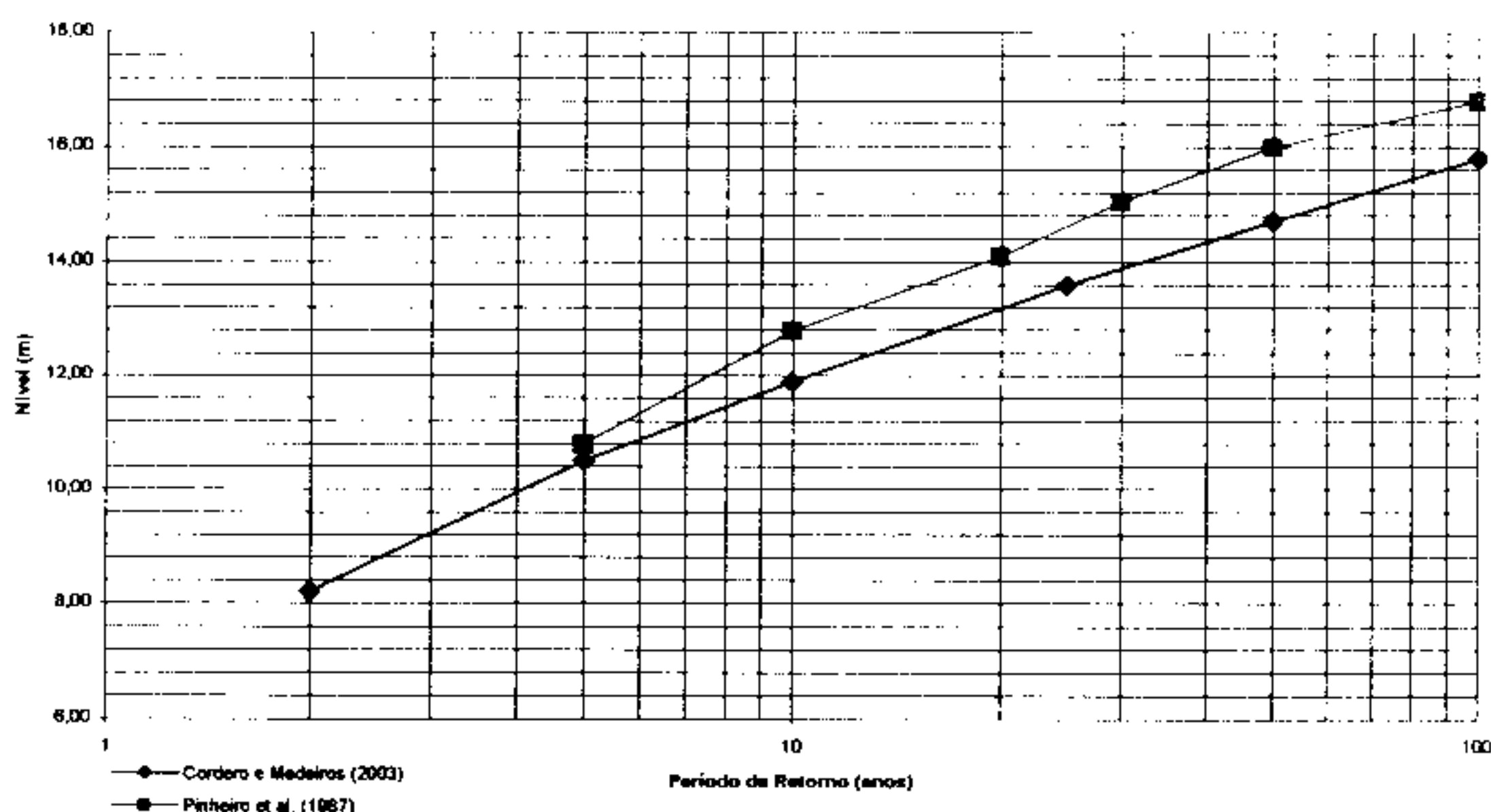


Figura 1 – Análise de frequência para a estação fluviométrica de Blumenau

Neste trabalho, os níveis escolhidos foram:

- **10,00 m.** Em Blumenau, no Plano Diretor, o Código de Parcelamento do Solo define abaixo do nível de referência de 12,00 m como proibitivo para loteamentos residenciais¹. No Código de Zoneamento e Uso do Solo ficam proibidos os usos industriais e comerciais abaixo do nível de referência 10,00 m, e o uso residencial abaixo do nível 12,00 m. Ainda neste código acima da cota 10,00 os aterros somente serão permitidos desde que comprovadamente não interfiram nos fluxos máximos de enxurradas no local, atendendo à vazão de recorrência de 25 anos². O Código de Diretrizes Urbanísticas define como áreas frágeis as baixadas abaixo da cota 10,00 m e contíguas aos cursos d'água que poderão

¹ Lei complementar nº 139/97 – Código de Parcelamento da Terra, art. 10 inciso V

² Lei complementar nº 140/96 – Código de Zoneamento e de uso e ocupação do solo art. 47, parágrafo único.

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

comportar usos agrícolas e de lazer, condicionados a projetos específicos³. No mesmo código ainda é criada a ANEA - áreas não edificáveis e não aterráveis ao longo dos cursos d'água com larguras variáveis conforme a área da bacia hidrográfica que integram e que faz novamente referência à ocupação restritiva abaixo da cota 10,00⁴ m (Schult e Pinheiro, 2003);

- **12,00 m**. A cidade entra em colapso total quando as águas atingem este nível. Todos os serviços públicos essenciais ficam bloqueados. O sistema viário urbano é na sua quase totalidade interrompido (Pinheiro et. al, 1987);

- **15,46 m**. Este foi o nível máximo instantâneo observado na enchente de agosto de 1984 e superou em 12 cm o nível observado na enchente de julho do ano anterior (Frank, 2003).

Para estes níveis da estação fluviométrica de Blumenau, localizada junto a Ponte Adolfo Konder, foram estimadas as vazões escoadas, e que foram usadas na simulação dos escoamentos no trecho considerado. Os valores são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 4 – Vazões na estação fluviométrica de Blumenau

Nível (m)	Vazão (m ³ /s)
10,00	2920
12,00	3780
15,46	5600

³ Lei complementar n°142/96 – Código de Diretrizes Urbanísticas, art.58

⁴ Lei complementar n°142/96 – Código de Diretrizes Urbanísticas, art.60.

MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS

As condições de escoamento do rio Itajaí-Açu ao longo do trecho estudado foi simulada com o modelo HEC-RAS (River Analysis System) Versão 3.1 de 2002, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do US Army Corps of Engineers, USA. Trata-se de um modelo desenvolvido para executar cálculos hidráulicos unidimensionais para escoamento permanente ou não permanente em rios ou canais. No presente estudo foi utilizada a componente do programa para análise de escoamento permanente visando à determinação de perfis de linha d'água. Esta componente do modelo de um sistema é usada para o cálculo de perfis de linha d'água para regime permanente gradualmente variado.

A base de cálculo do modelo para regime permanente é amparada na solução da equação de energia unidimensional. As perdas de energia são avaliadas por atrito (equação de Manning) e por contração/expansão (coeficiente multiplicado pela variação na altura de velocidade). A equação de continuidade é aplicada em situações de regime rapidamente variado. Estas situações incluem cálculos para regime de escoamento misto, ressalto hidráulico, escoamento em pontes, situação de ilhas e em confluência de rios (junções).

O perfil da linha de água entre duas seções transversais (figura 2) é determinado através da expressão:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

onde

Y_1, Y_2 - altura da lamina de água na seção transversal;

Z_1, Z_2 - elevação do fundo do canal principal;

V_1, V_2 - velocidade média na seção transversal (Vazão/área total de fluxo)

α_1, α_2 - coeficiente de ponderação da velocidade

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

h_e – perda de energia.

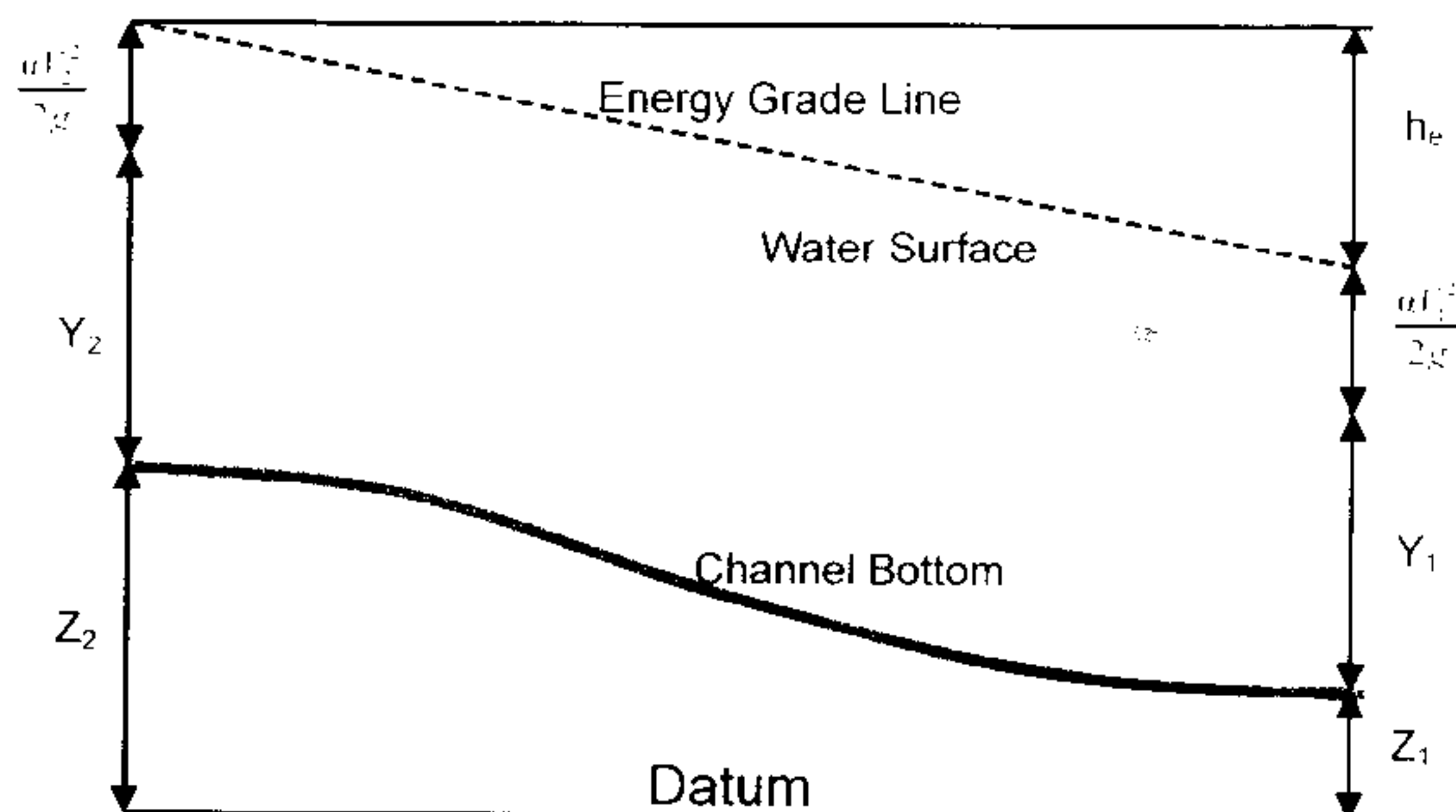


Figura 2 – Perfil da linha de água (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002)

A perda de carga entre duas seções é compreendida pela perda de atrito e a perda por contração ou expansão. Ela é expressa por:

$$h_e = L S_f + C \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right)$$

onde

L – comprimento do trecho, ponderado pela vazão;

S_f – representa a declividade da linha de atrito entre as duas seções;

C – coeficiente de perda de contração ou expansão.

O comprimento do trecho ponderado é expresso por:

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

$$I_s = \frac{L_{lob}Q_{lob} + L_{ch}Q_{ch} + L_{rob}Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

onde os índices *lob*, *ch* e *rob* indicam margem esquerda, canal principal e margem direita.

A vazão é determinada pela equação de Manning, expressa por:

$$Q = K S_f^{1/2}$$

$$\text{onde } K = \frac{1,486}{n} A R^{2/3}$$

A – área da seção transversal

R – raio hidráulico

n – coeficiente de rugosidade de Manning, ponderando na seção transversal pelo comprimento do perímetro molhado correspondente, de acordo com a expressão seguinte:

$$n_i = \left[\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{1.5}}{P} \right]^{2/3}$$

O coeficiente α de ajuste da carga cinética é determinada pelo produto da vazão e da velocidade média das sub-seções considerada, expresso por:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

A declividade da linha de atrito é obtida pela expressão seguinte:

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

$$S_f = \left(\frac{Q_1 - Q_2}{K_1 - K_2} \right)^2$$

O modelo da equação de momentos considera o balanço de forças que atua no trecho, entre as duas seções (figura 3). A integração da aceleração do movimento, hidrostática, peso e atrito externo, resulta em:

$$\frac{Q_2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_o - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1$$

onde β é o coeficiente do momento que leva em consideração a variação da velocidade na seção transversal de canal irregular.

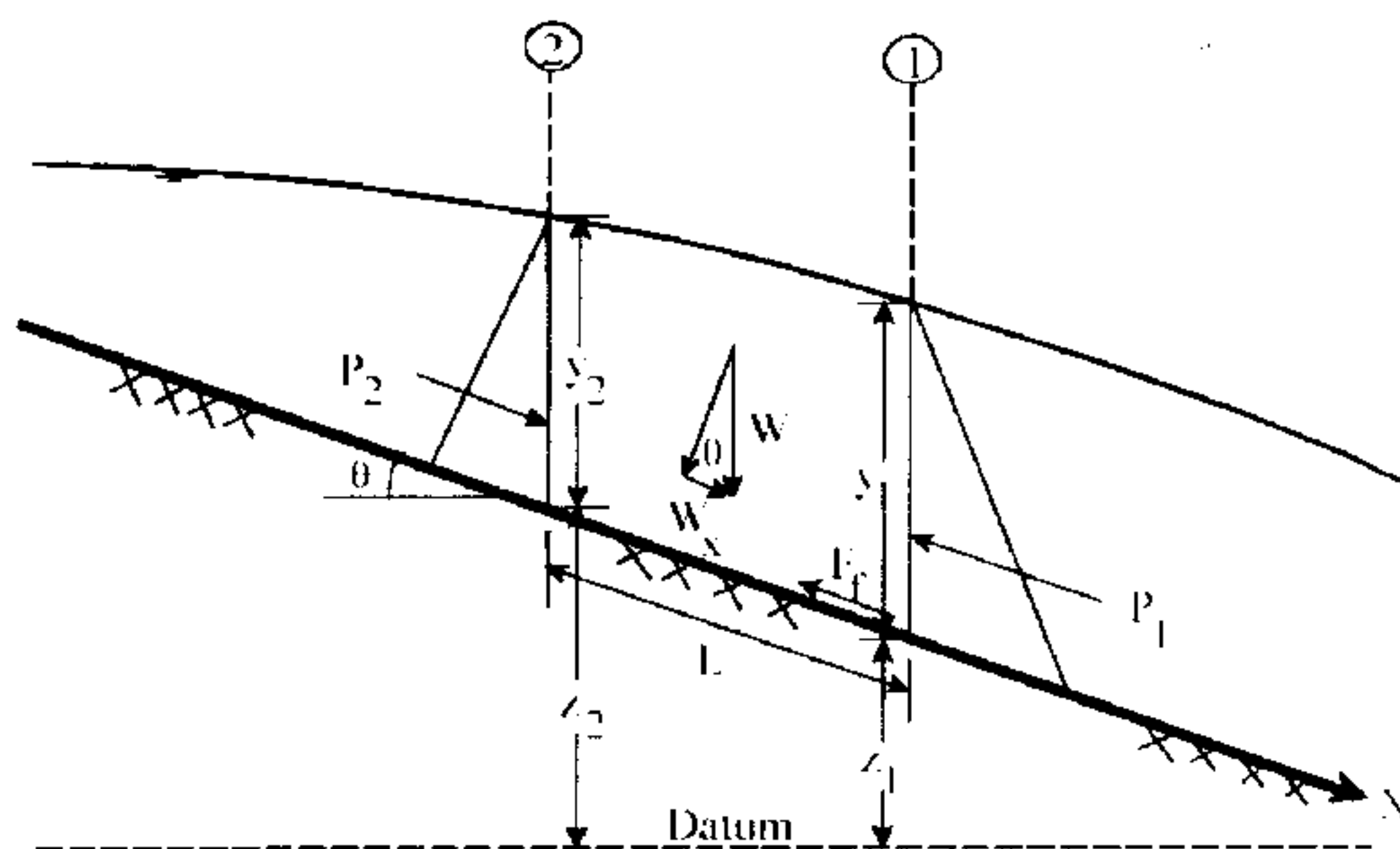


Figura 3 – Balanço de quantidade de movimento (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002)

Nas seções que possuem ponte, é preciso definir uma seção a montante e a jusante, conforme é apresentado nas figura 4 e 5. Quatro tipo de métodos são disponíveis para aplicação em fluxo baixo:

- equação de energia (método padrão);
- balanço de momento;
- equação de Yarmell;
- método FHWA WSPRO.

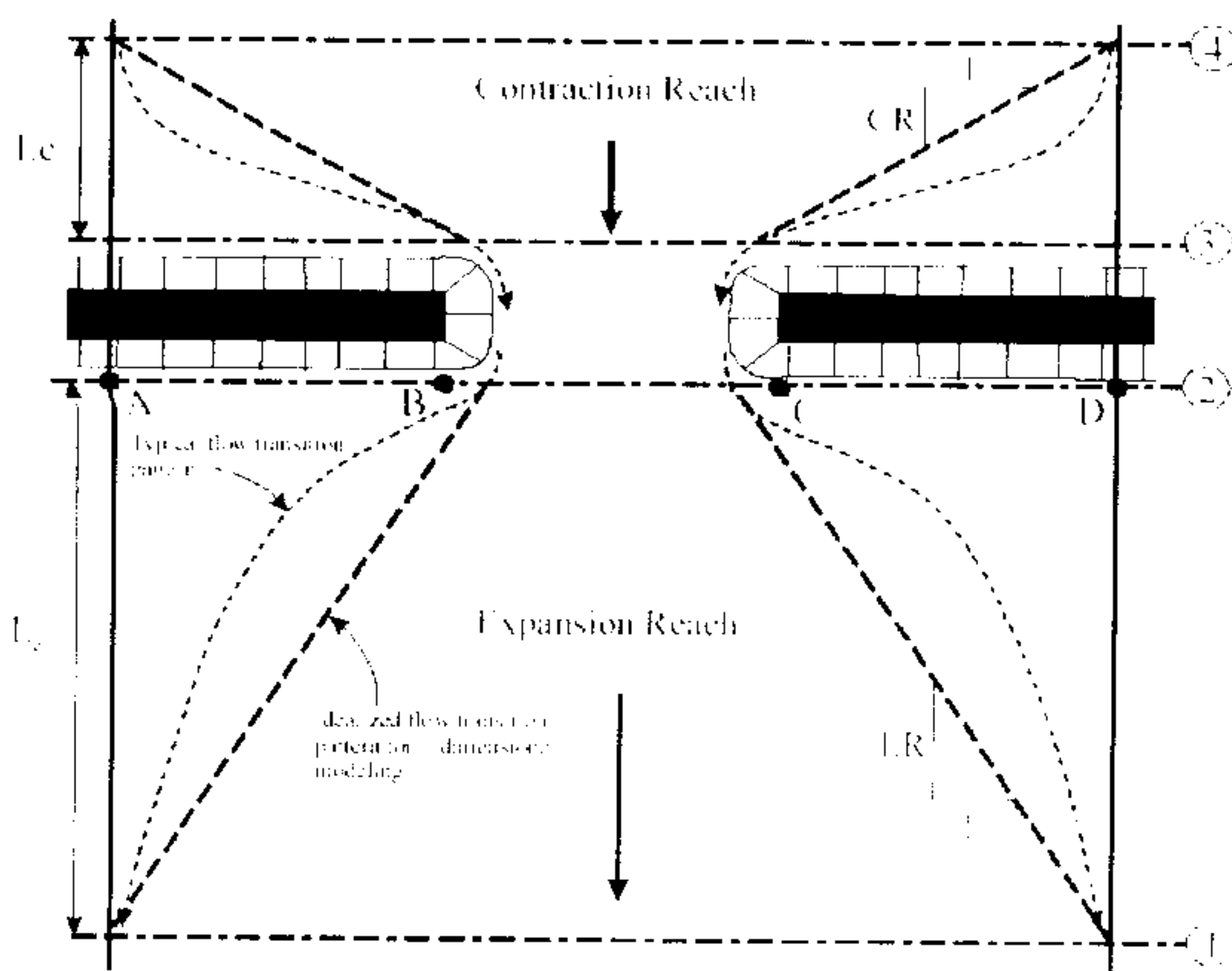


Figura 4 Plano de inserção de uma ponte (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002)

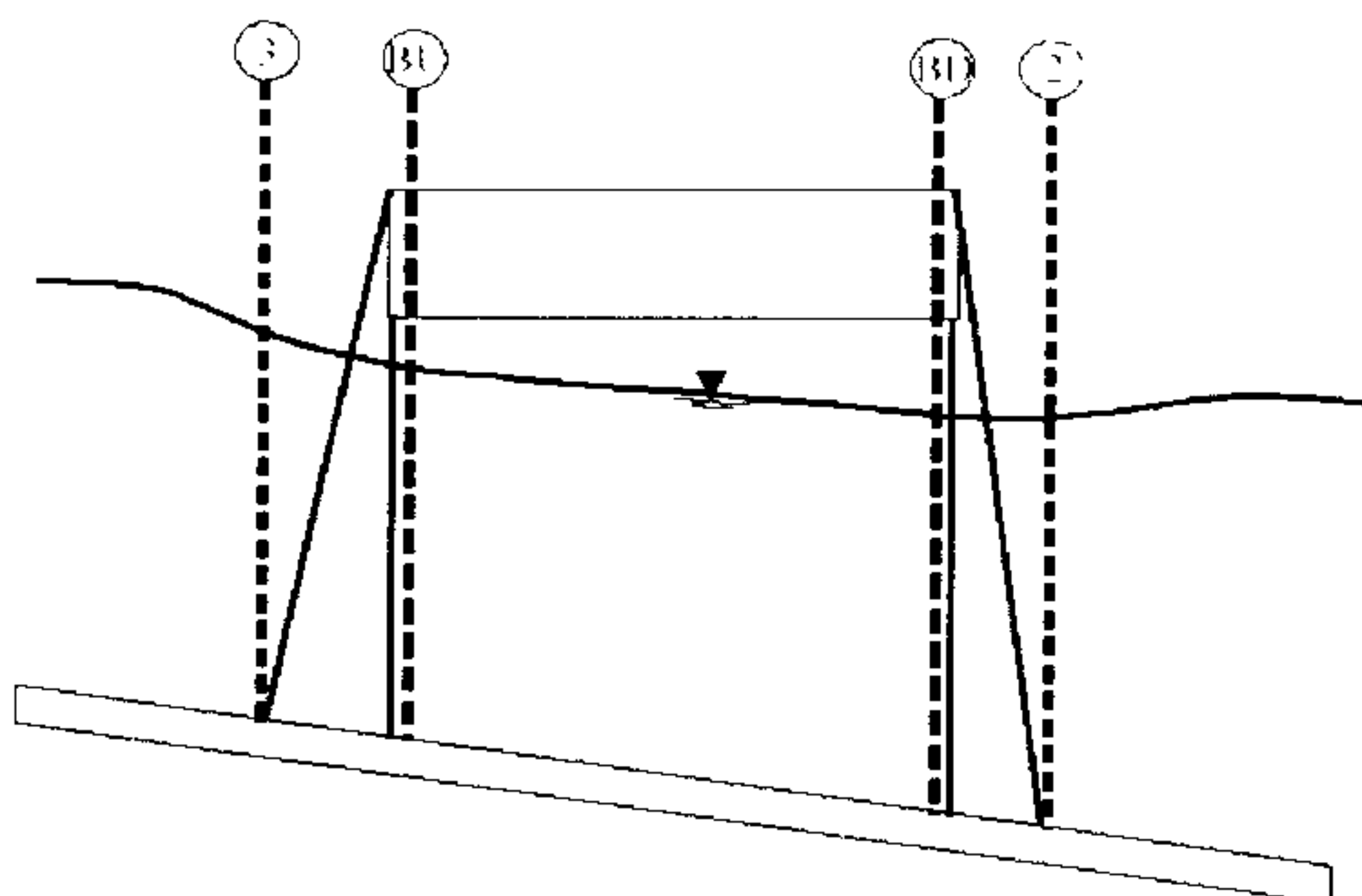


Figura 5 – Elevação vertical da inserção de uma ponte (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002).

Para fluxo alto, são disponíveis os métodos de energia e o método de fluxo sob pressão. Dependendo da condição de fluxo, o cálculo é realizado considerando um orifício ou um vertedor. Para o orifício emprega-se a seguinte expressão:

$$Q = C_d A_{BU} \sqrt{2g \left(Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \right)}$$

onde

C_d - coeficiente de descarga para fluxo sob pressão,

A_{BU} - área líquida da abertura da ponte, na seção BU,

Y_3 - altura hidráulica na seção 3;

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em
Blumenau

Z distância vertical máxima da superestrutura da ponte até o fundo do leito do rio, na seção BU.

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Serra Rio, em
Blumenau

MODELO FLUIDODINÂMICO CFX

O software CFX (CFX-4-User Guide, 2002), da AEA Technology será empregado para obtenção de informações mais detalhadas, como campo de velocidades e pressões, ao longo do trecho estudado. Tal produto tem uma utilização considerável, a nível mundial, quando o assunto é fluidodinâmica computacional, visto sua grande aplicabilidade e flexibilidade diante de diversas situações físicas.

Ele é um modelo tridimensional, multifásico, transiente e turbulento em sistema de coordenadas cartesianas para qualquer propriedade, ϕ_k , na fase k . Ele pode ser generalizado da seguinte forma (Meier *et al.*, 1999):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_k f_k \phi_k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_k f_k v_x \phi_k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_k f_k v_y \phi_k) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_k f_k v_z \phi_k) = \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left[f_k \Gamma_k \frac{\partial(\rho_k \phi_k)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[f_k \Gamma_k \frac{\partial(\rho_k \phi_k)}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[f_k \Gamma_k \frac{\partial(\rho_k \phi_k)}{\partial z} \right] + S_\phi,$$

onde ϕ_k são as propriedades fluidodinâmicas (u , v , w , k e ϵ) na fase k ; Γ e S são o coeficiente de difusão e o termo fonte para cada propriedade ϕ_k , respectivamente; ρ_k é a massa específica da fase k e f_k é a fração volumétrica da fase k .

A particularização do modelo a partir da equação geral de conservação, por definição da fase k , da propriedade conservável ϕ_k , do coeficiente de difusão Γ e o termo fonte S , é apresentada em detalhes nos itens subseqüentes.

O modelo homogêneo é uma simplificação do modelo multi-fluido no qual é assumido que as propriedades de transporte são as mesmas para todas as fases presentes, ou seja,

$$\phi_k = \phi \quad 1 \leq k \leq N_k$$

No entanto, as frações volumétricas são distintas. Então, a continuidade individual da fase deve ser resolvida para determinar as frações volumétricas, com a restrição de que:

$$\sum_{k=1}^{N_p} \Gamma_k = 1$$

A conservação da quantidade de movimento é imposta como da mistura e contrabalançada pelas frações volumétricas de cada fase presente no sistema multifásico.

A turbulência é tratada pelo modelo k-ε padrão, com uma equação para energia cinética turbulenta da mistura e uma equação para taxa de dissipação de energia cinética turbulenta da mistura.

A tabela 5 mostra, de forma compacta, o modelo 2-D homogêneo onde se pode identificar cada termo que o caracteriza este modelo e suas equações constitutivas de natureza experimental.

Tabela 5 - Forma Compacta do Modelo CFX.

Conservação	f_k	ϕ_k	Γ_k	S_k
<i>Momentum</i> Direção x	1	v_x	$\frac{\mu_{mix} + \mu^l}{\rho_{mix}}$	$-\frac{\partial p}{\partial x} + \rho_{mix} g_x$
<i>Momentum</i> Direção y	1	v_y	$\frac{\mu_{mix} + \mu^l}{\rho_{mix}}$	$-\frac{\partial p}{\partial y} + \rho_{mix} g_y$
Energia cinética turbulenta	1	k	$\frac{\mu_{mix} + \frac{\mu^l}{\sigma^k}}{\rho_{mix}}$	$G_T - \rho_{mix} \varepsilon$
Taxa de dissipação de energia cinética turbulenta	1	ε	$\frac{\mu_{mix} + \frac{\mu^l}{\sigma^\varepsilon}}{\rho_{mix}}$	$\frac{\varepsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho_{mix} \varepsilon)$

Para a resolução das equações diferenciais parciais do modelo, será empregado o código comercial de CFD, o CFX 4.4 da AEA Technology, que baseia-se no método numérico dos volumes finitos para a discretização numérica. O acoplamento pressão – velocidade do tipo SIMPLEC, modelo de turbulência k - ε padrão para ambas as fases e esquema de diferenciação de segunda ordem. Também serão usados para garantir estabilidade e convergência numérica.

BASE DE DADOS

Para realização das simulações de escoamentos no rio Itajaí-Açu, foi considerado o trecho entre as Pontes dos Arcos (seção 0: jusante) e Ponte Irineu Bomhausen (seção 7700: montante). Neste trecho existem dados de topobatimetria, fornecidos pelo IPPUB, levantamentos planialtimétricos nas escalas de 1:2000 e 1:10000; mapas de áreas inundáveis nas escalas 1:2000 e 1:10000, e perfis das linhas de águas observadas nas cheias de 10,00, 12,00 e 15,46 m (Pinheiro et al, 1987).

Estas linhas de água foram usadas no ajuste dos coeficientes de Manning, do modelo HEC-RAS. Foram estabelecidos valores para o canal principal e margens esquerda e direita.

As geometrias, como cotas das elevações, da Ponte Adolfo Konder e da Ponte Proposta foram fornecidas pelo IPPUB.

SIMULAÇÕES

O modelo HEC-Ras foi simulado para as condições de regime permanente, considerando diversas condições:

- a) sem a ponte proposta
 - método da energia
 - método de fluxo sob pressão.
- b) com a ponte proposta
 - método da energia
 - método de fluxo sob pressão.

Os resultados gráficos das simulações são apresentados nos APÊNDICES.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas tabelas 6 e 7 e nas figuras 6 e 7 são apresentados os resultados resumidos das simulações, para as três valores de níveis, referenciados a estação fluviométrica de Blumenau, situada na ponte Adolfo Konder e, para as duas condições de fluxo elevado: equação de energia e fluxo sob pressão (a ponte é considerada como orifício ou vertedor).

Os resultados demonstram que a construção da ponte ligando o Centro a Ponte Aguda provocará ligeira elevação da linha da água durante a passagem de uma onda de cheia no rio Itajai-Açu. A elevação é da ordem de 2 cm na seção situada imediatamente a montante. Para a jusante não haverá alteração da lâmina de água. Observa-se que a Ponte Adolfo Konder, situada a montante, tem efeito um pouco superior a Ponte Proposta, devido a existência de pilares no meio do canal principal.

Por outro lado, acredita-se que a elevação do nível da água da ordem de 2 cm seja pouco significativa para acrescentar prejuízos econômicos, sociais e humanos durante a passagem de uma onda de cheia no rio Itajaí, no centro do município de Blumenau. Pode se dizer, neste caso, que o acréscimo do nível das águas é pouco representativo.

Vale ressaltar que o tipo de ponte proposta, sem pilares, apenas com apoio junto às margens, contribui significativamente ao reduzido efeito sobre os níveis d'água do rio Itajai-Açu, no centro de Blumenau.

Tabela 6 - Linha de água para fluxo sob pressão

Seção	10m		12 m		15,46 m	
	Sem Ponte	Com Ponte	Sem Ponte	Com Ponte	Sem Ponte	Com Ponte
7700	11.64	11.65	13.57	13.59	17.12	17.13
7207.9	11.44	11.45	13.46	13.47	17.06	17.08
6746	11.31	11.33	13.3	13.31	16.91	16.93
6343.4	11.16	11.18	13.15	13.17	16.84	16.85
5941.6	10.96	10.97	12.93	12.95	16.65	16.67
5048.8	10.77	10.79	12.76	12.78	16.48	16.5
4639.8	10.68	10.7	12.66	12.69	16.41	16.43
4186.6	10.63	10.65	12.62	12.65	16.37	16.39
3781.6	10.52	10.54	12.51	12.53	16.25	16.26
3257.3	10.44	10.46	12.43	12.45	16.2	16.22
2899.8	10.36	10.38	12.34	12.36	16.1	16.11
2537.4	10.28	10.3	12.25	12.27	16.03	16.05
2290	10.23	10.25	12.21	12.23	16.01	16.03
2265	Ponte Estrada de Ferro					
2250	10.19	10.21	12.16	12.18	15.98	16
2180.7	10.26	10.28	12.28	12.31	16.15	16.17
1821.6	10.14	10.16	12.12	12.15	16.01	16.03
1566.1	9.99	10.01	11.95	11.97	15.77	15.79
1555.6	Ponte Adolfo Konder					
1540.1	9.95	9.98	11.9	11.93	15.41	15.42
1459.5	9.98	10	11.94	11.96	15.53	15.55
1381.5	9.99	10.01	11.95	11.97	15.56	15.58
1364	Ponte Proposta					
1347	9.98	9.98	11.94	11.94	15.56	15.56
1101	10	10	11.98	11.98	15.61	15.61
747	9.96	9.96	11.92	11.92	15.46	15.46
0	9.84	9.84	11.8	11.8	15.33	15.33

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

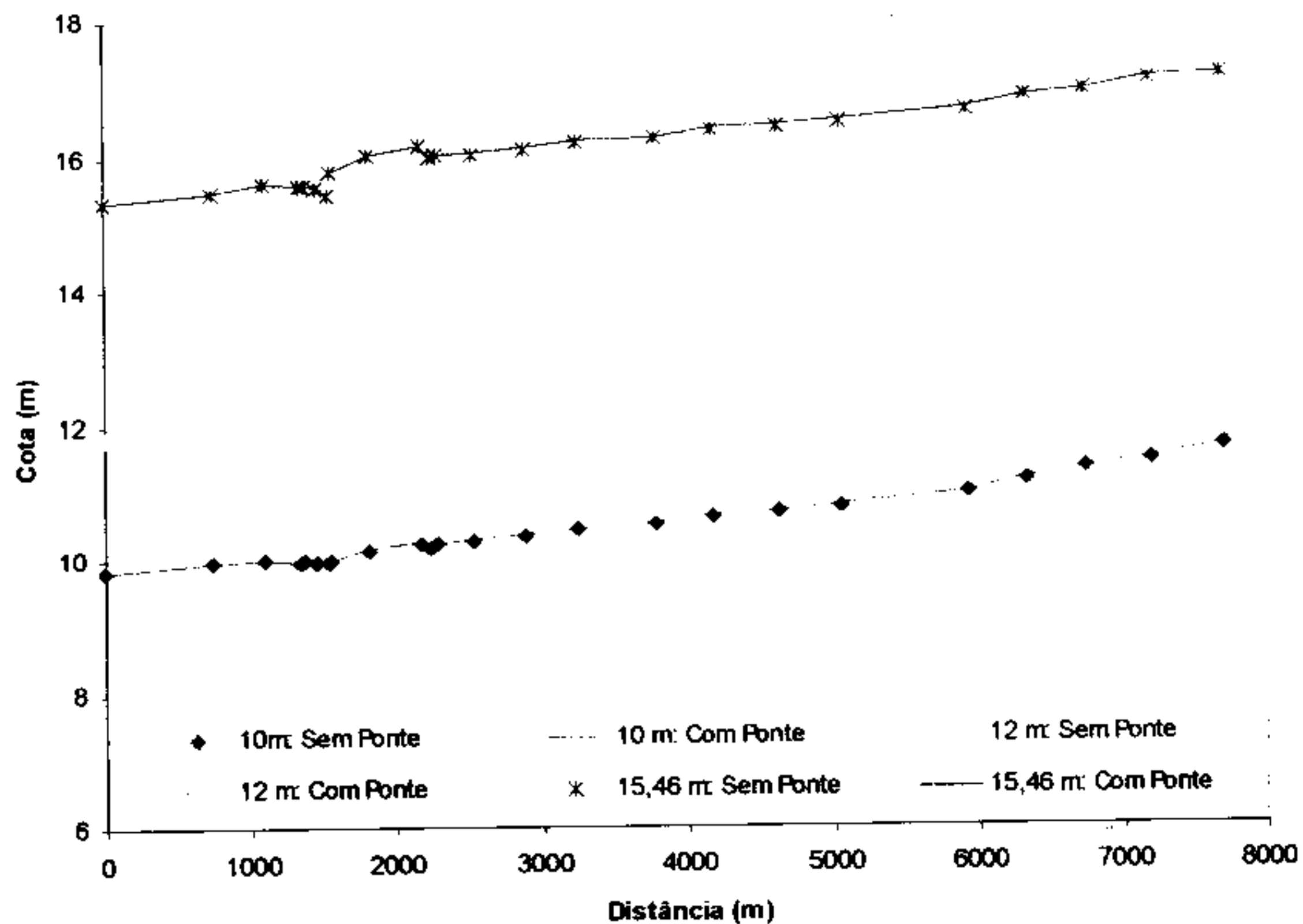


Figura 6 – Evolução da linha de água obtida para fluxo sob pressão.

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

Tabela 7 - Linha de água para equação de energia

Seção	10m		12 m		15,46 m	
	Sem Ponte	Com Ponte	Sem Ponte	Com Ponte	Sem Ponte	Com Ponte
7700	11.64	11.65	13.57	13.59	16.92	16.92
7207.9	11.44	11.45	13.46	13.47	16.86	16.87
6746	11.31	11.33	13.3	13.31	16.7	16.7
6343.4	11.16	11.18	13.15	13.17	16.62	16.62
5941.6	10.96	10.97	12.93	12.95	16.42	16.42
5048.8	10.77	10.79	12.76	12.78	16.23	16.24
4639.8	10.68	10.7	12.66	12.69	16.15	16.16
4186.6	10.63	10.65	12.62	12.65	16.11	16.12
3781.6	10.52	10.54	12.51	12.53	15.98	15.99
3257.3	10.44	10.46	12.43	12.45	15.94	15.94
2899.8	10.36	10.38	12.34	12.36	15.82	15.82
2537.4	10.28	10.3	12.25	12.27	15.75	15.76
2290	10.23	10.25	12.21	12.23	15.72	15.73
2265	Ponte da Estrada de Ferro					
2250	10.19	10.21	12.16	12.18	15.7	15.7
2180.7	10.26	10.28	12.28	12.31	15.88	15.88
1821.6	10.14	10.16	12.12	12.15	15.72	15.73
1566.1	9.99	10.01	11.95	11.97	15.46	15.47
1555.6	Ponte Adolfo Konder					
1540.1	9.95	9.98	11.9	11.93	15.41	15.41
1459.5	9.98	10	11.94	11.96	15.53	15.54
1381.5	9.99	10.01	11.95	11.97	15.56	15.56
1364	Ponte Proposta					
1347	9.98	9.98	11.94	11.94	15.56	15.56
1101	10	10	11.98	11.98	15.61	15.61
747	9.96	9.96	11.92	11.92	15.46	15.46
0	9.84	9.84	11.8	11.8	15.33	15.33

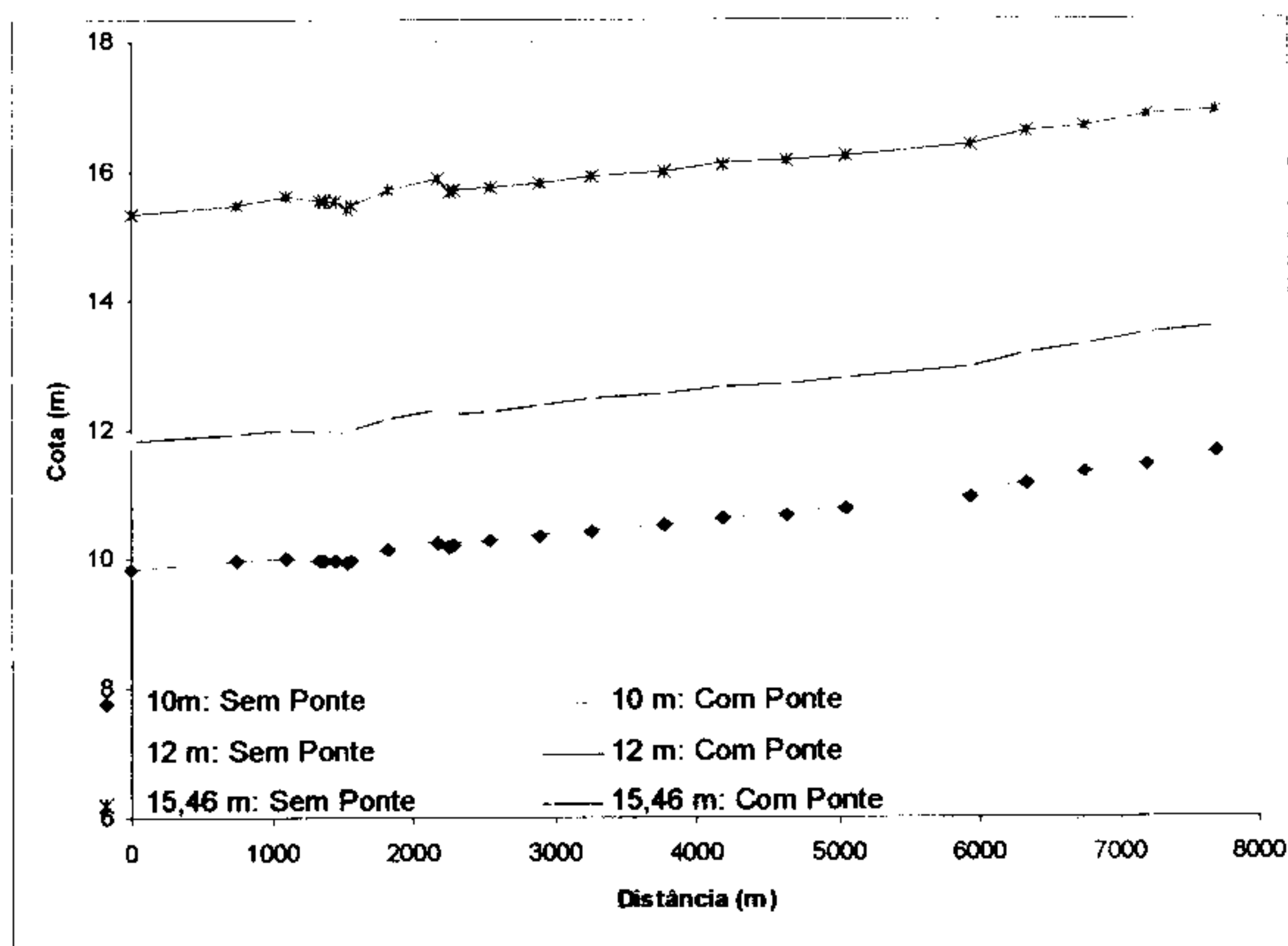


Figura 7 – Evolução da linha de água obtida com equação de energia.

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em Blumenau.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CFX-4 for Windows NT: *CFX- 4.4 User Guide*. AEA Technology. Oxfordshire, United Kingdom, 2001.
- CORDERO, A.; MEDEIROS, P., Estimativa da curva chave de Blumenau, in XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, anais, Curitiba, de 23 a 27 de novembro de 2003.
- CORDERO, A.; MEDEIROS, P., Estudo estatístico das vazões máximas do rio Itajaí Açu em Blumenau, in XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, anais, Curitiba, de 23 a 27 de novembro de 2003.
- FRANK, B. Uma história das enchentes e seus ensinamentos In: Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 anos de experiências. 1ª ed. Blumenau : Editora da Furb, 2003, v. único, p. 15-62.
- MEIER, H. F.; ALVES, J. J. N.; MORI, M.; Comparison between staggered and collocated grids in the finite-volume method performance for single and multi-phase flows. *Computers and Chemical Engineering*, 23, p. 247-262, 1999.
- PINHEIRO, A.; FRANK, B.; CORDERO A.; LUNGERSHAUSEN J., Traçado das zonas de inundação de Blumenau in VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e de Recursos Hídricos et III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e de Recursos Hídricos, Salvador, de 8 à 13 de novembro de 1987.
- SCHULT, S. I. M., PINHEIRO, A. Ocupação e controle de áreas urbanas inundáveis In: Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 anos de experiências. 1ª ed. Blumenau: Editora da FURB, 2003, p. 173-190.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HEC-RAS River Analysis System – Hydraulics Reference Manual, version 3.1, november de 2002

APÊNDICE 1 – Trecho estudado

estudo_trecho_ponte proposta

Plan: Plan 31 22/11/2003

Legend

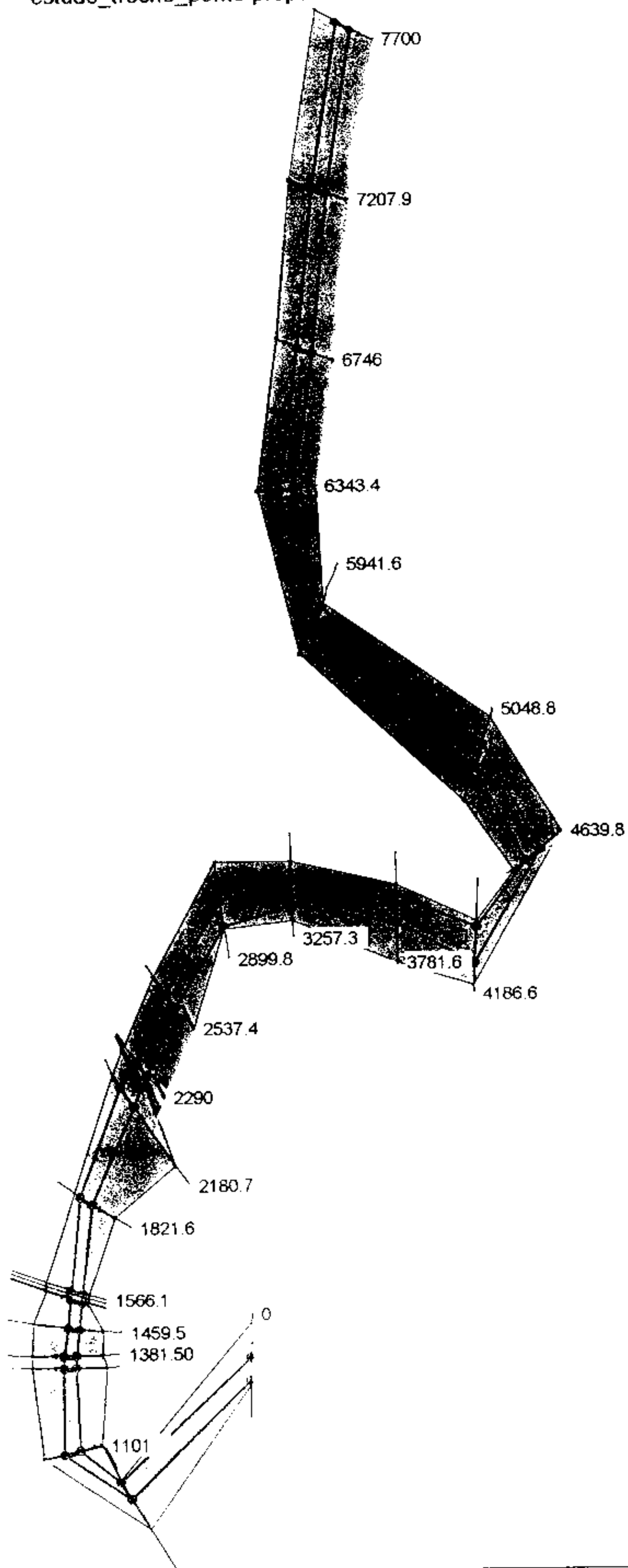
WS h = 10 m

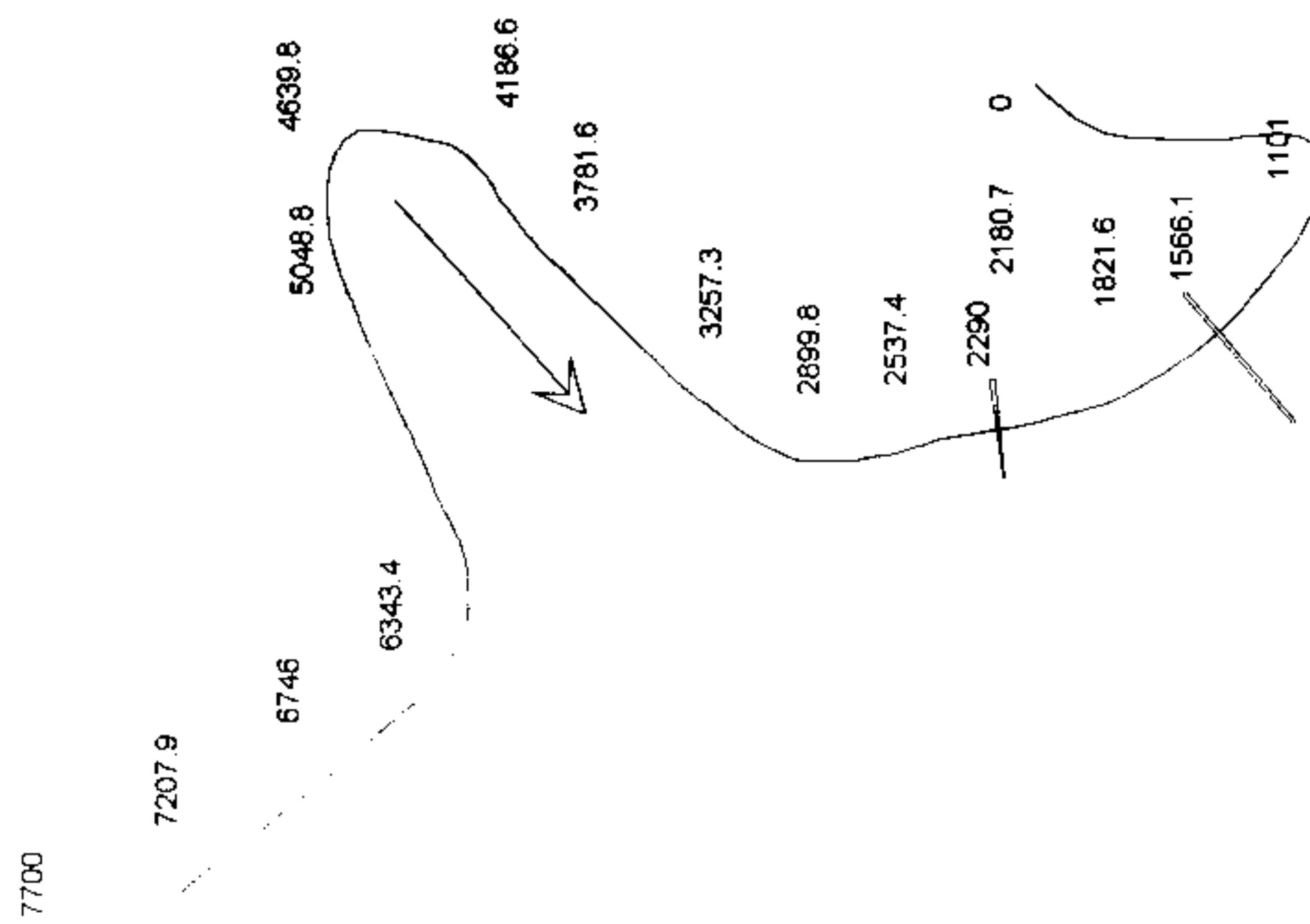
WS h = 12 m

WS h = 15.46 m

Ground

Bank Sta



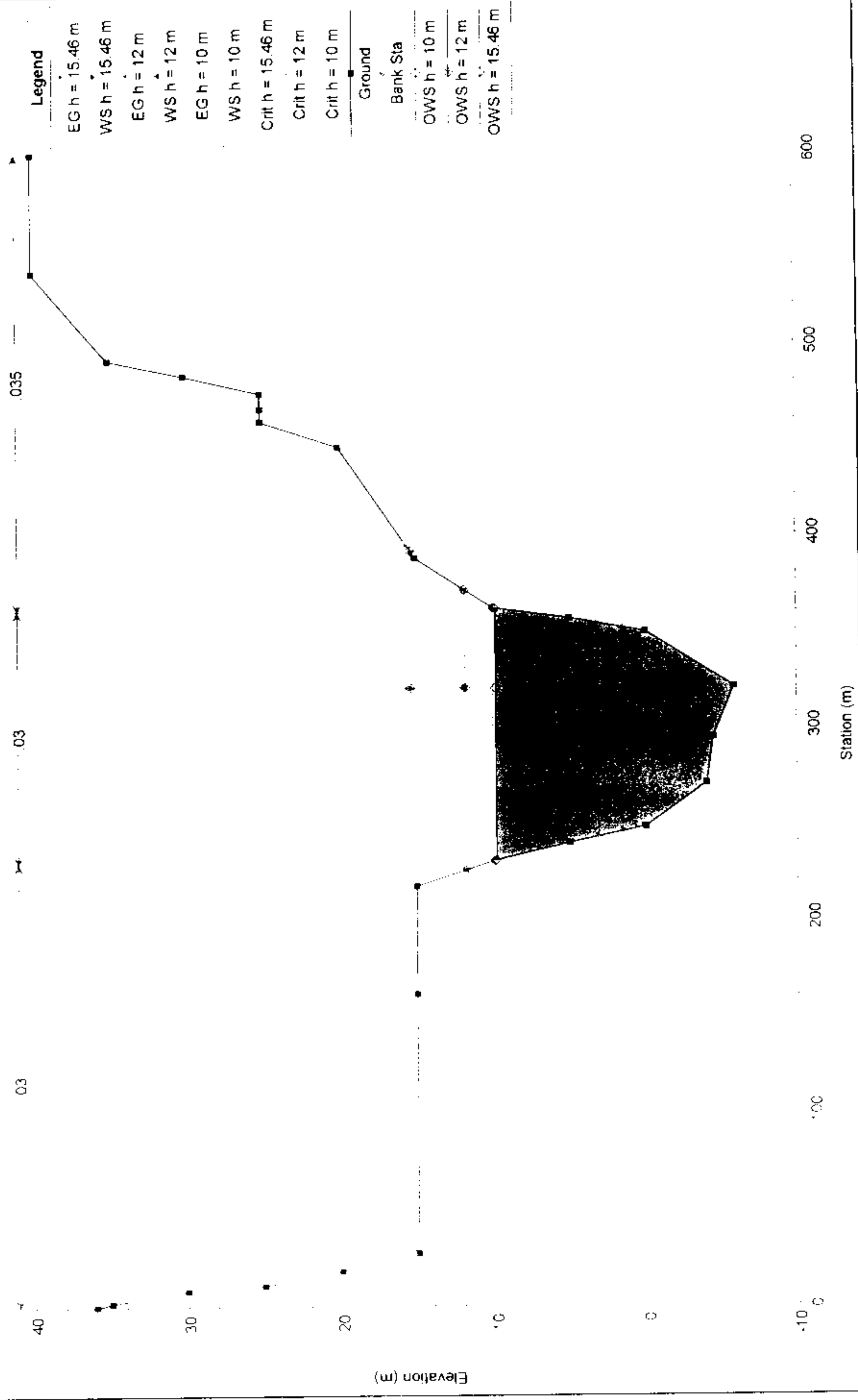


APÊNDICE 2 – Seções transversais

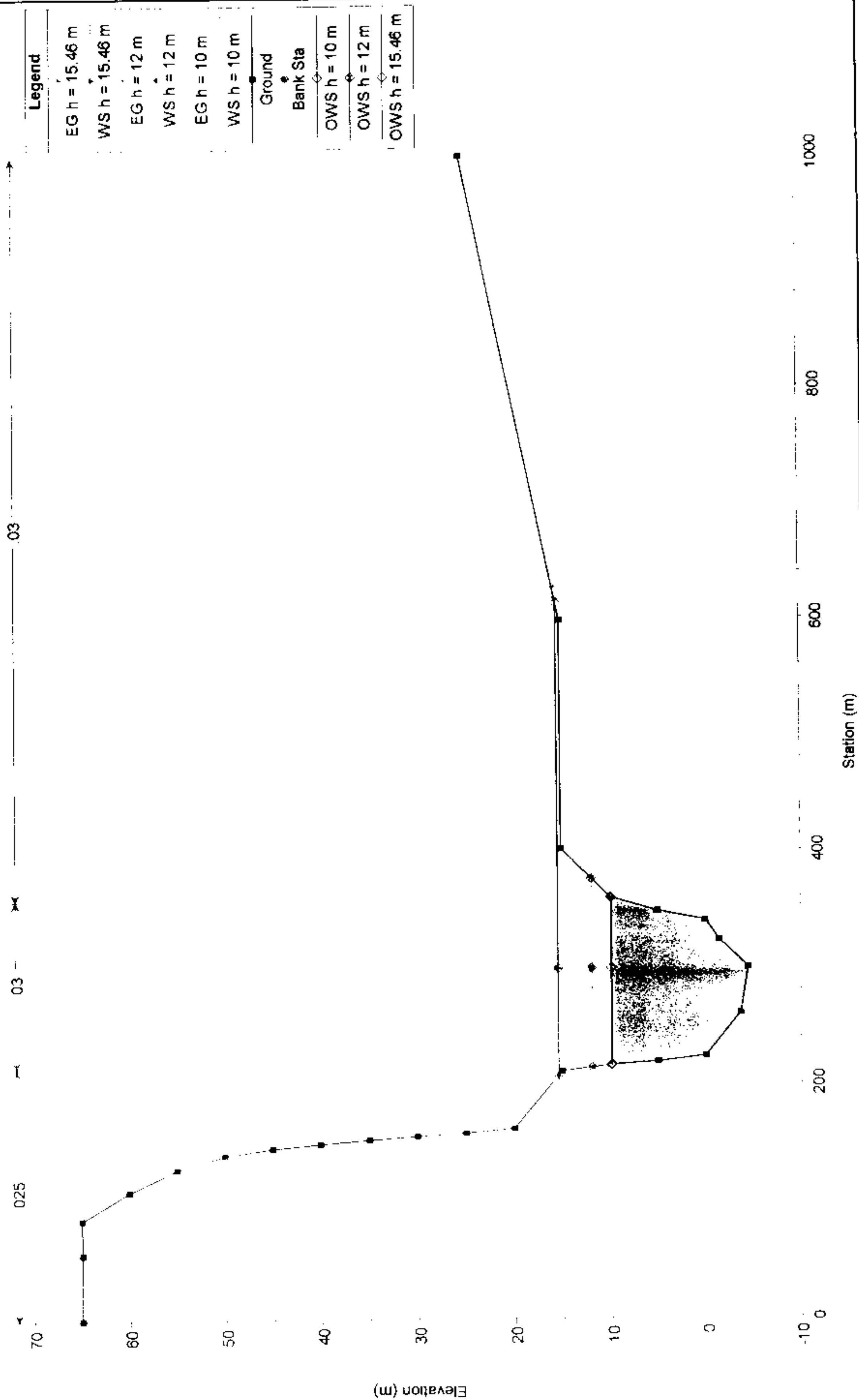
UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em
Blumenau

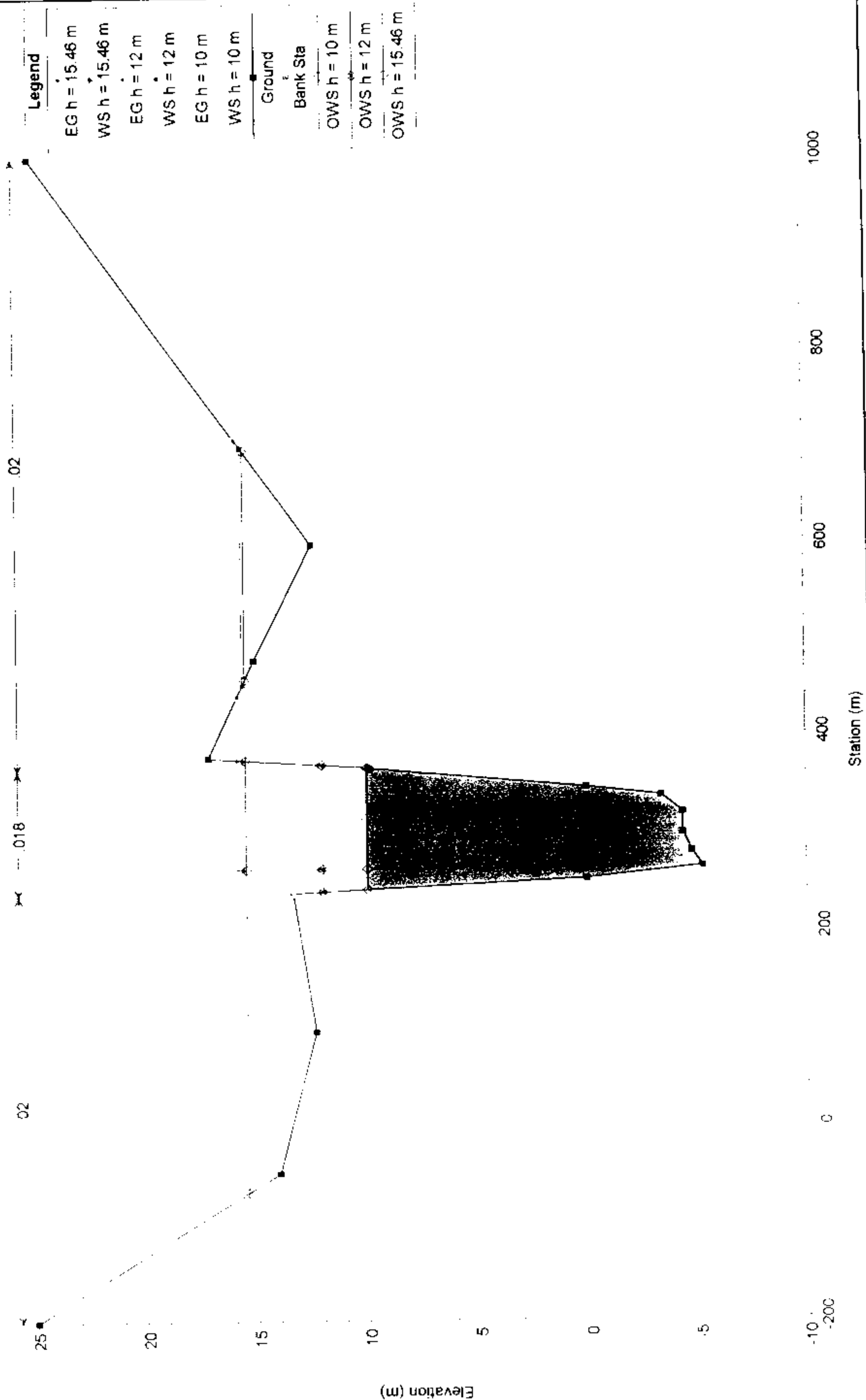
estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003
 secão 1 (ponte sulfabril)



estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003
 secão 2



estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003
 secão 4 (ponte proposta_usante)

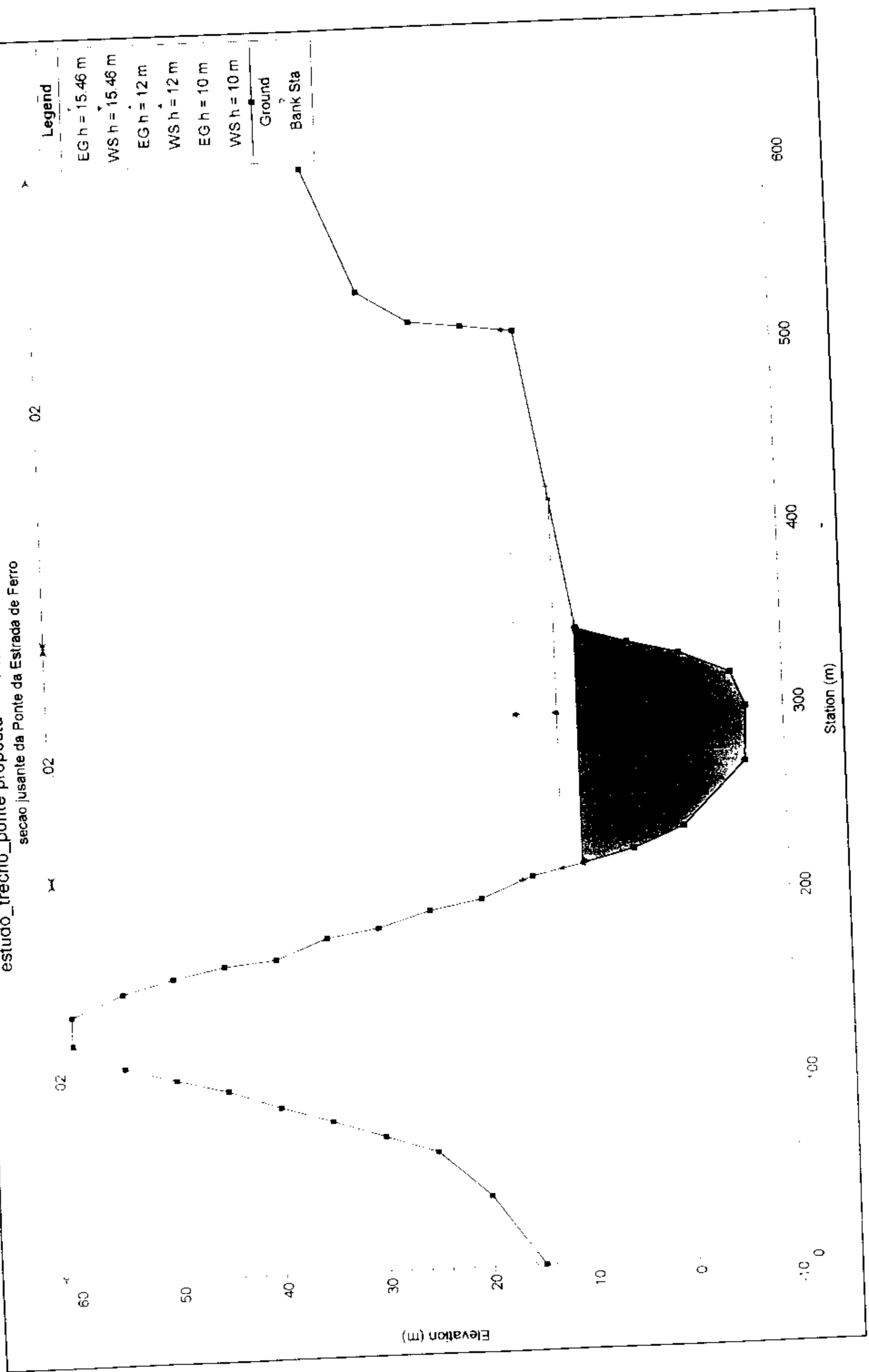


estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003

secao jusante da Ponte da Estrada de Ferro

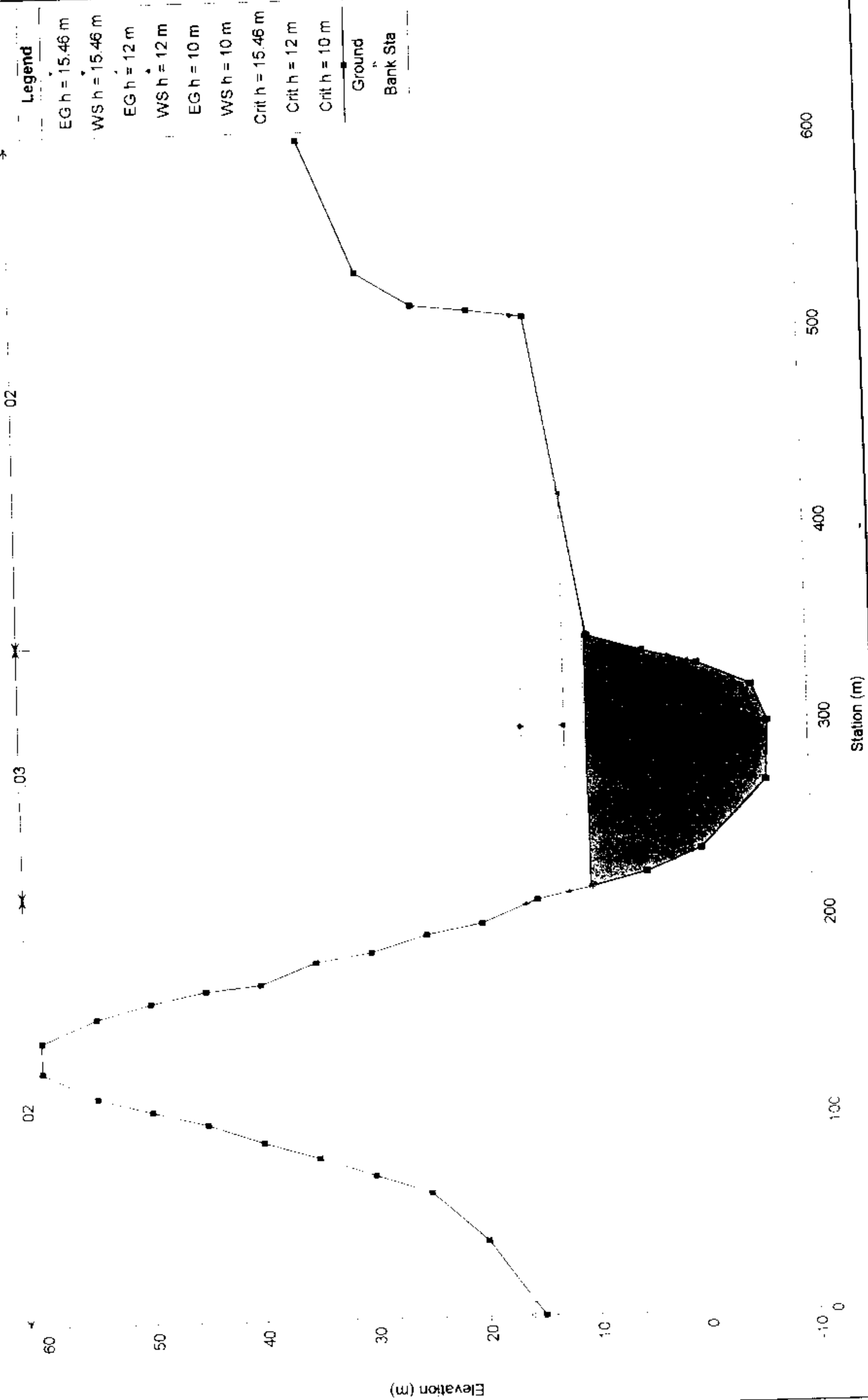
Legend	
EG h = 15.46 m	→
WS h = 15.46 m	→
EG h = 12 m	→
WS h = 12 m	→
EG h = 10 m	→
WS h = 10 m	→

Ground	■
Bank Sta	■

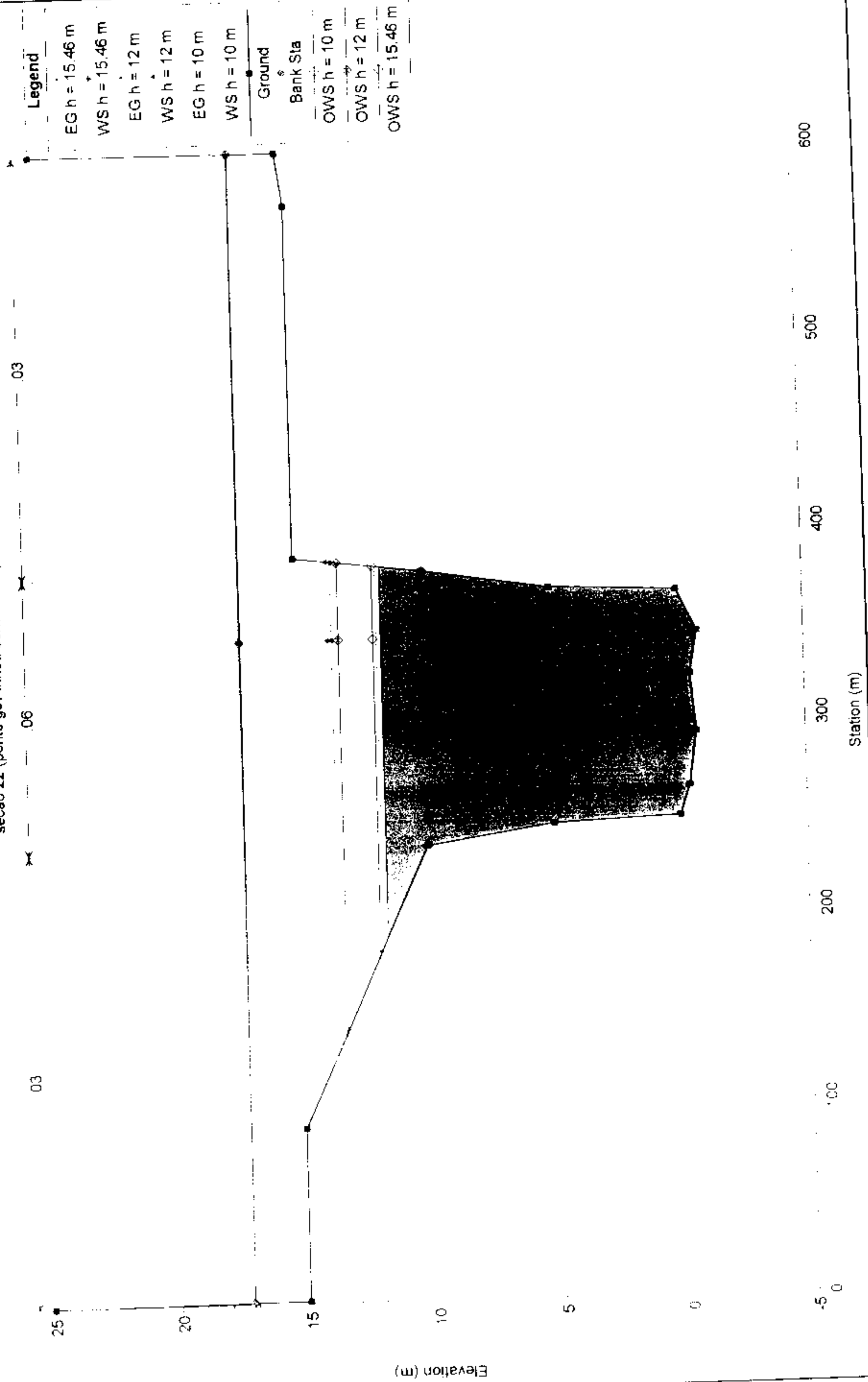


estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003

secao montante da Ponte da Estrada de Ferro



estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003
 secão 22 (ponte gov Irineu bornhausen)



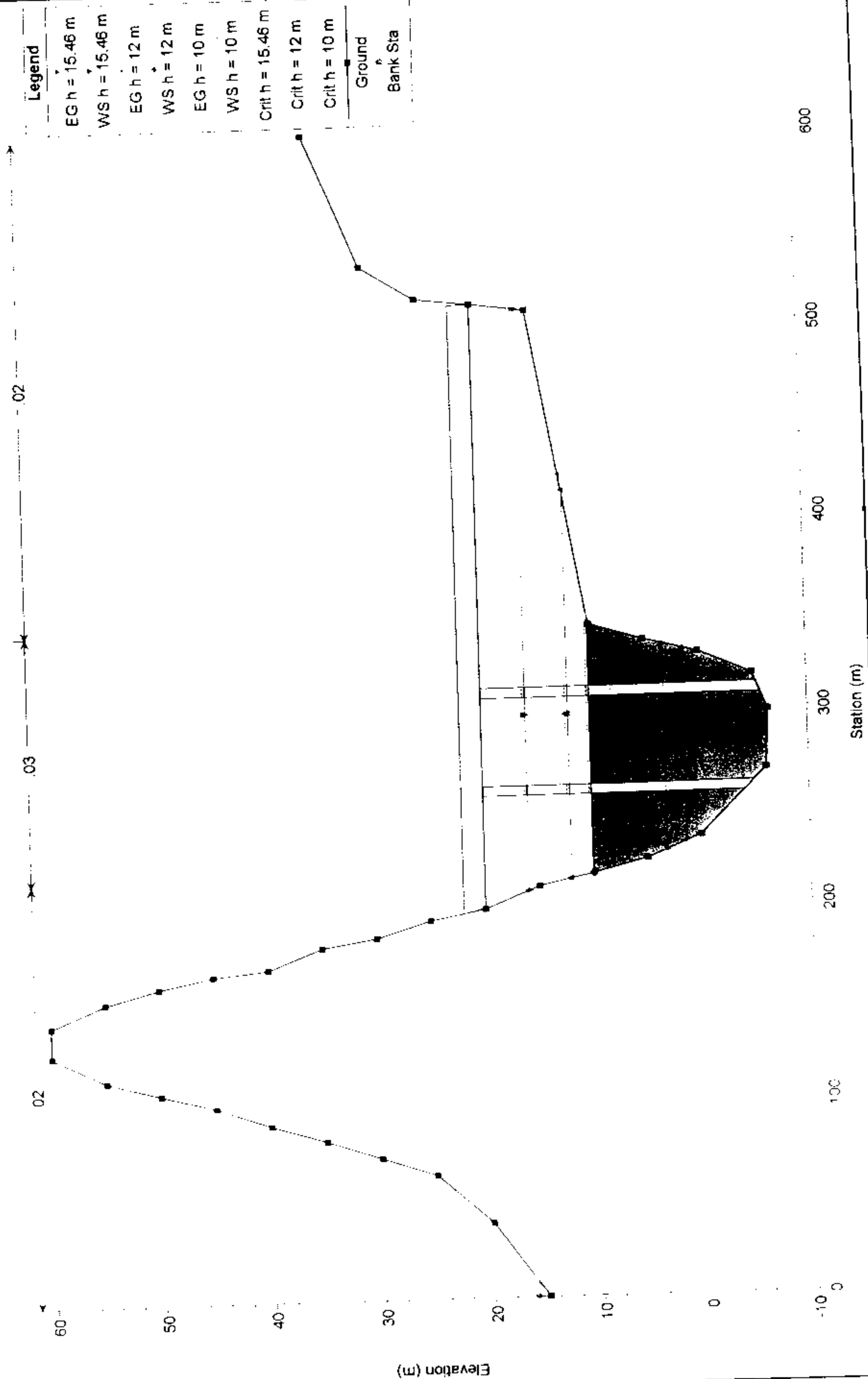
APÊNDICE 3 – Seções transversais das pontes

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

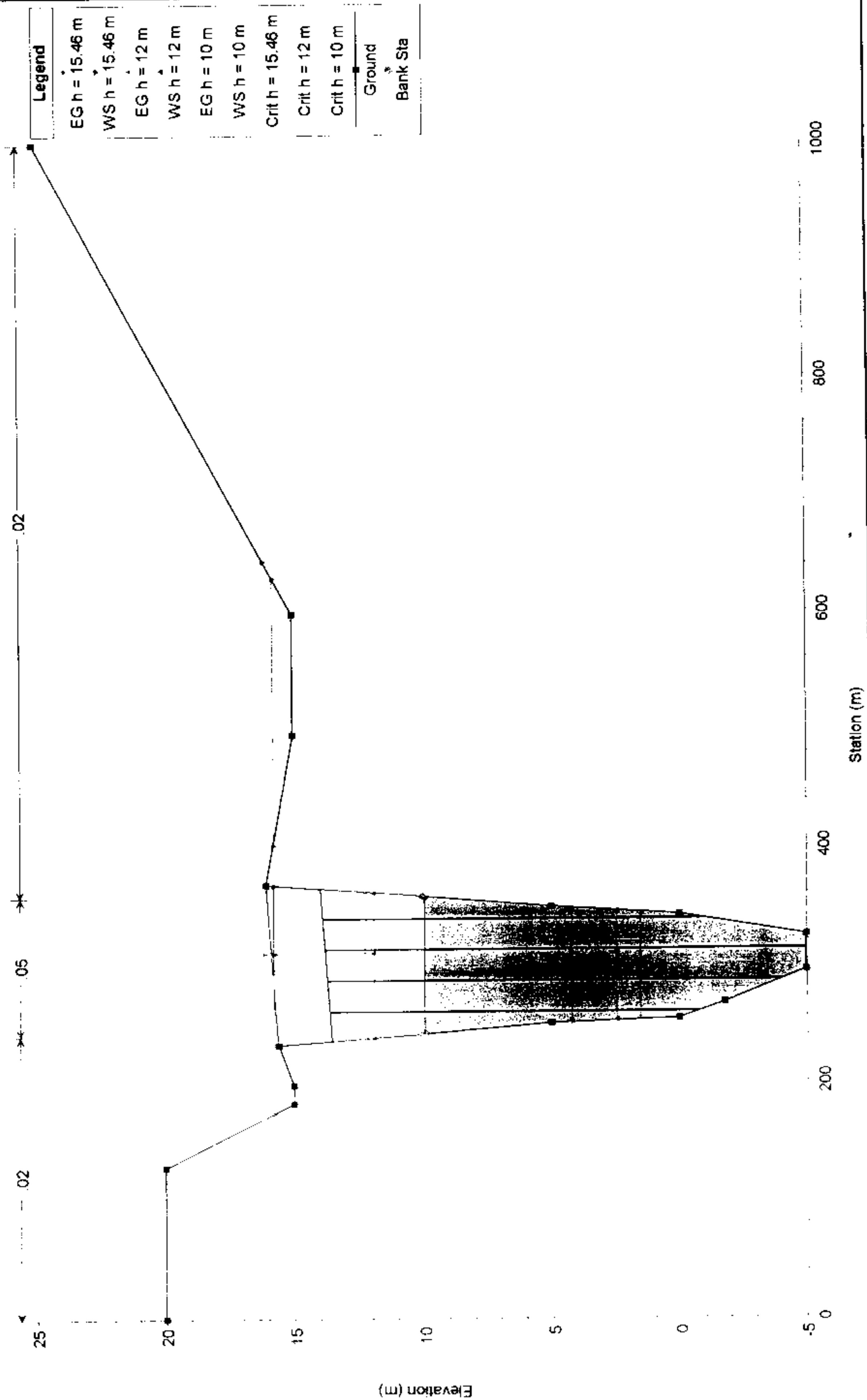
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

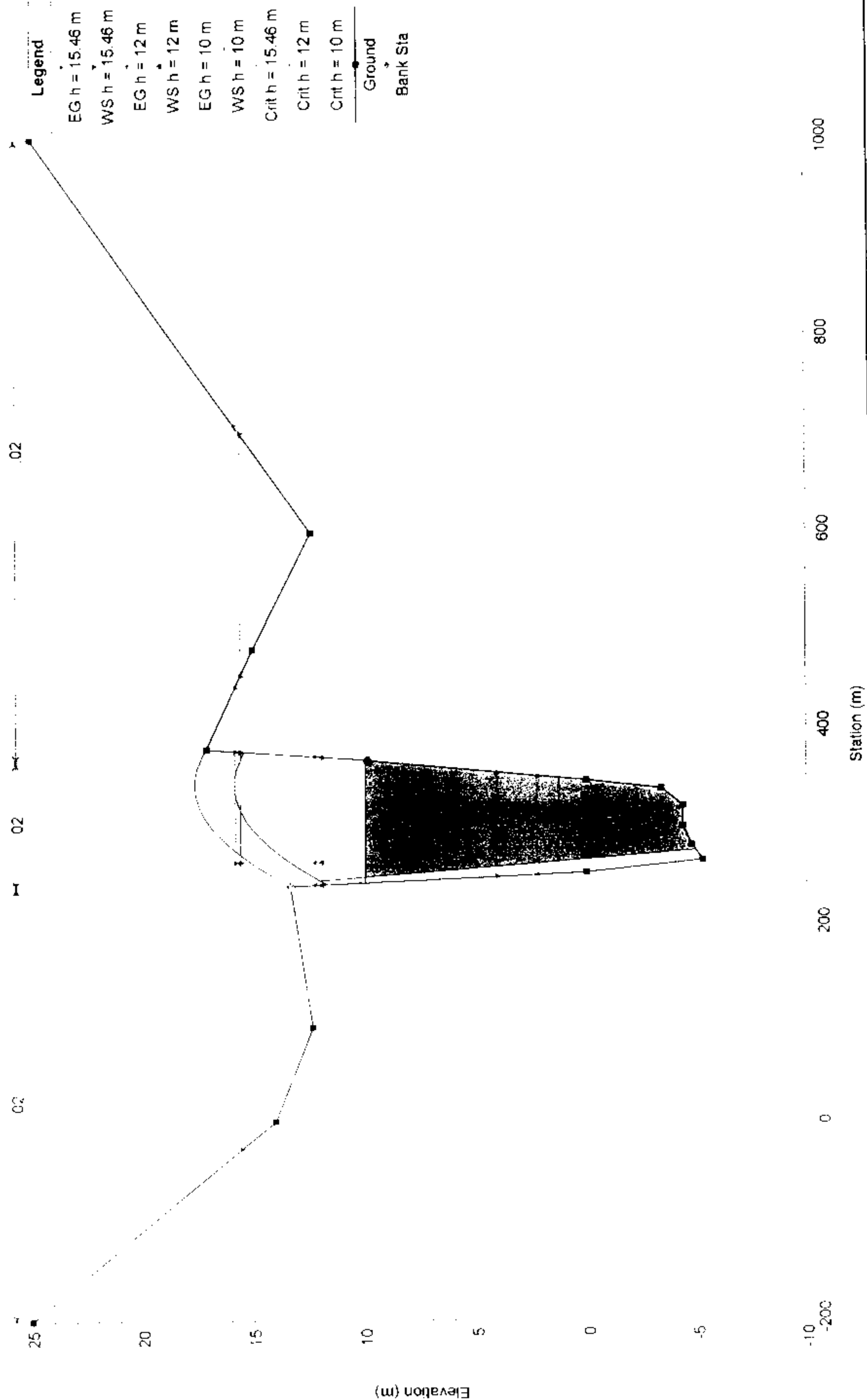
Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em
Blumenau

estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003



estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 22/11/2003





APÊNDICE 4 – Simulação sem a ponte proposta: método de energia

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em
Blumenau

estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 24/3/2004

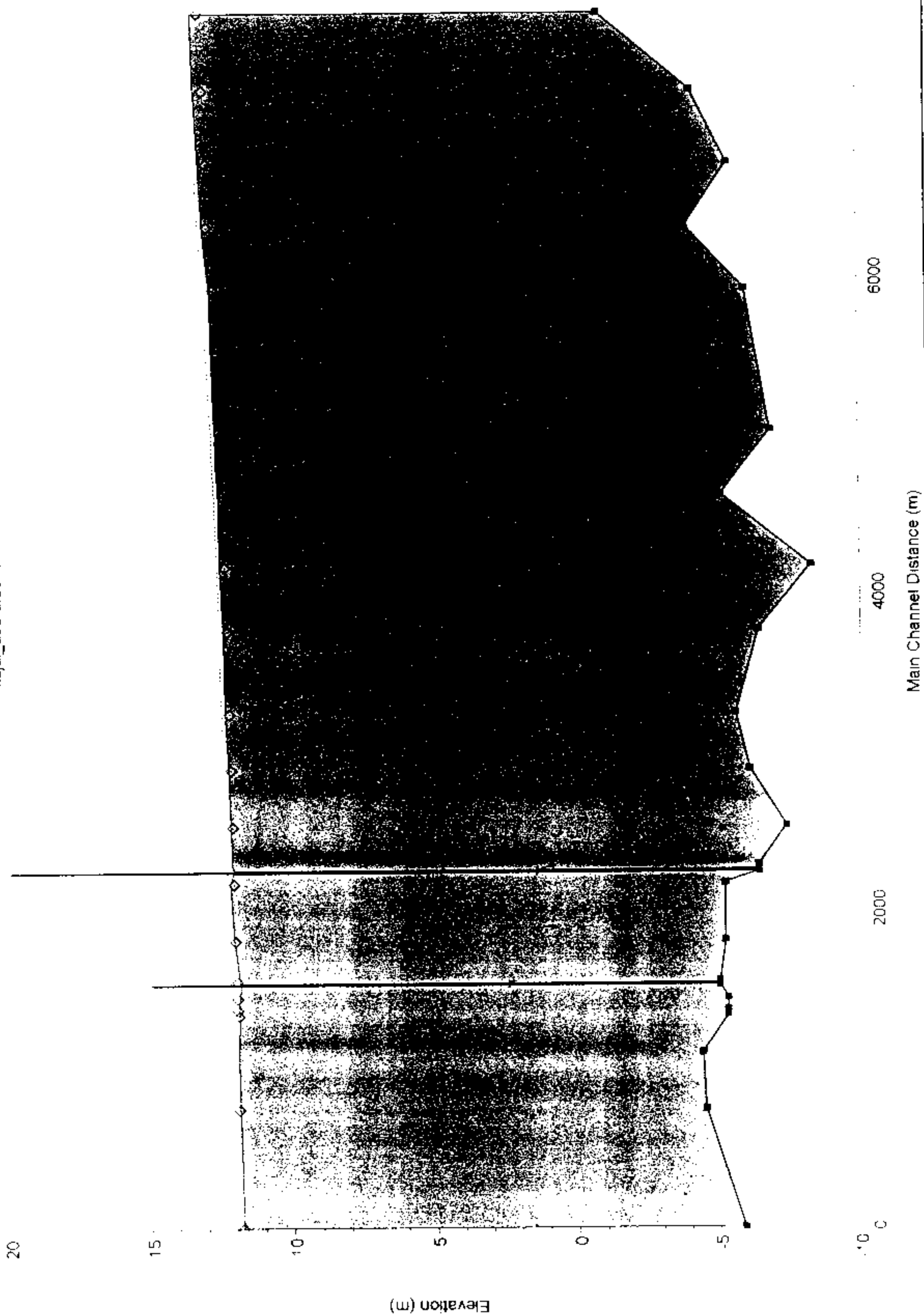
Itajaí - área urbana

- Legend**
- EG h = 10 m
 - WS h = 10 m
 - Crit h = 10 m
 - Ground
 - OWS h = 10 m



Itajai_acu urbano

Legend
 EG h = 12 m
 WS h = 12 m
 Crit h = 12 m
 Ground
 OWS h = 12 m

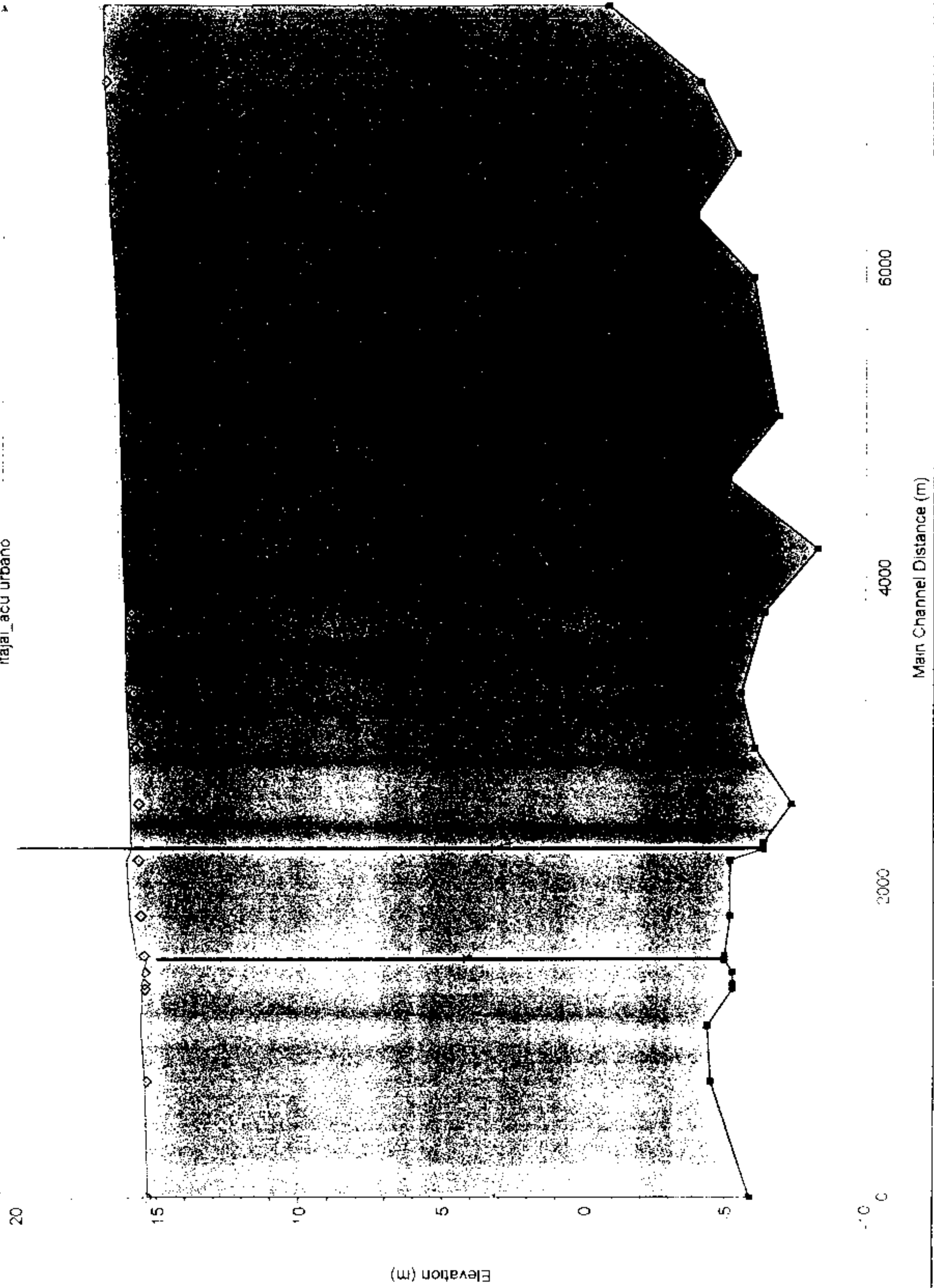


estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 31 24/3/2004

itajai_acu urbano

Legend
EG h = 15.46 m
WS h = 15.46 m
Crit h = 15.46 m

Ground
OWS h = 15.46 m



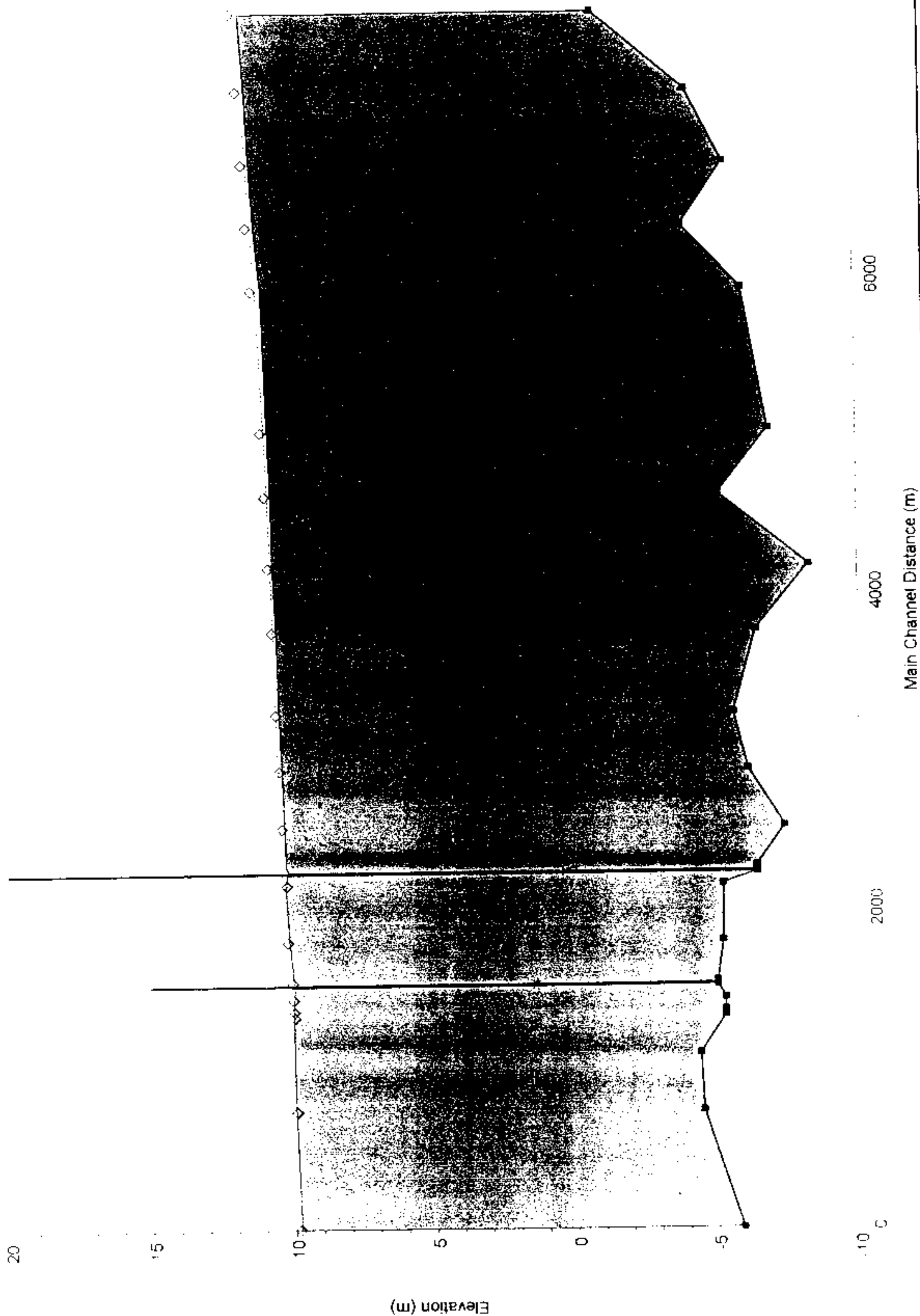
APÊNDICE 5 – Simulação sem a ponte proposta: método de fluxo sob pressão

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em
Blumenau

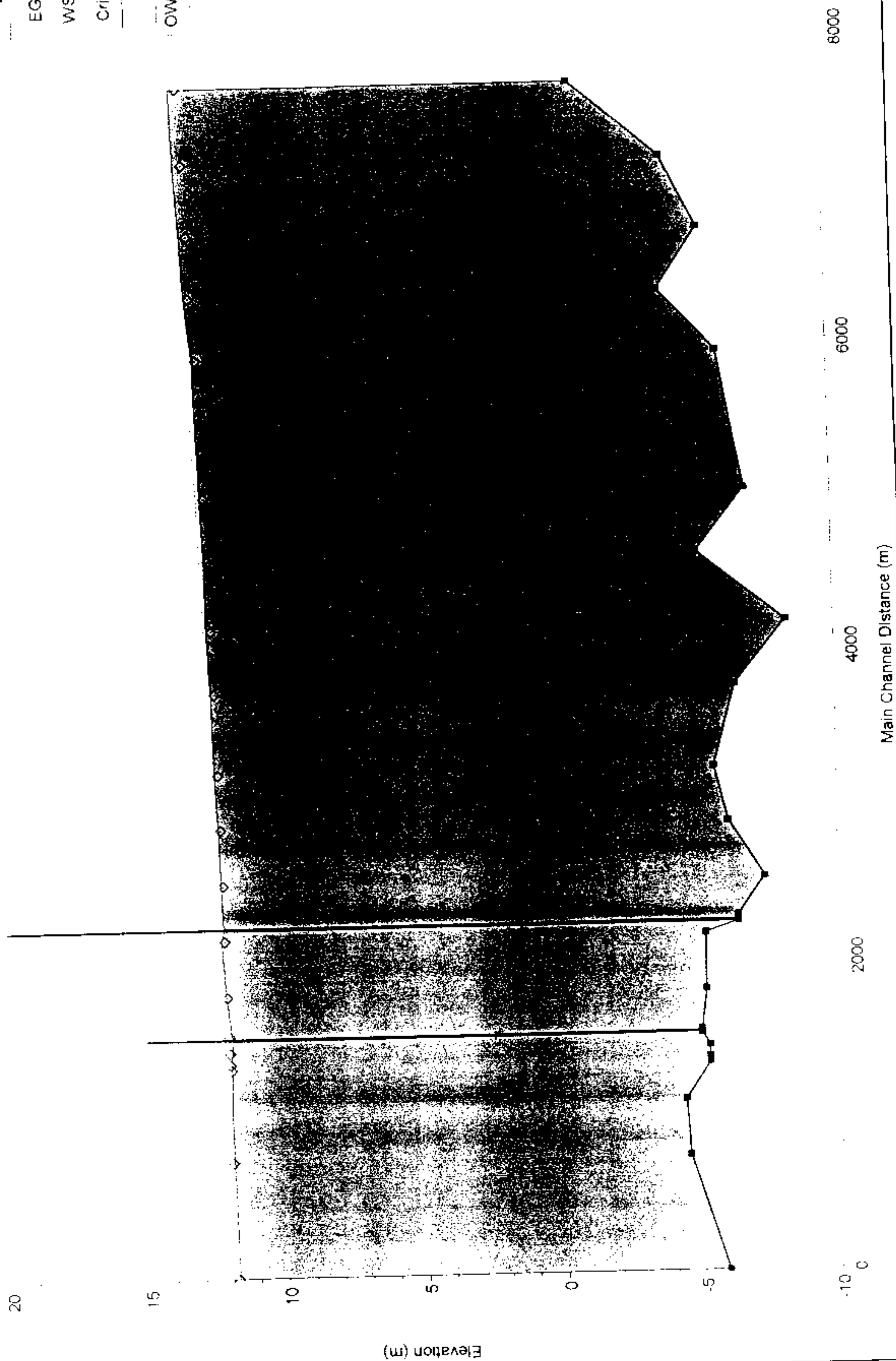
itajai_acu urbano

Legend	
EG	h = 10 m
WS	h = 10 m
Crit	h = 10 m
Ground	
OWS	h = 10 m



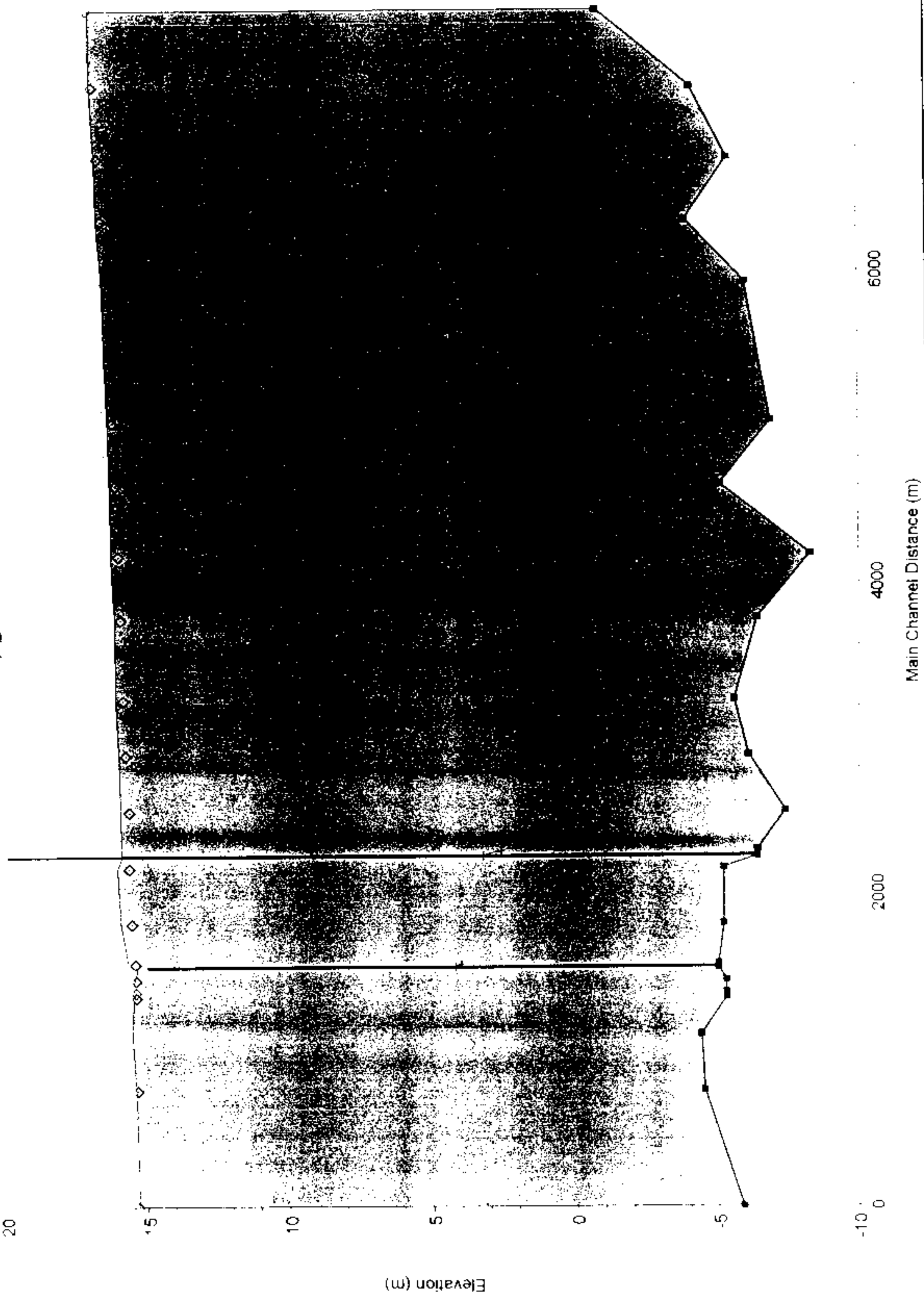
Itajaí, área urbana

Legend	
EG	h = 12 m
WS	h = 12 m
Crit	h = 12 m
Ground	
OWS	h = 12 m



itajai_acu urbano

Legend	
EG	h = 15.46 m
WS	h = 15.46 m
Crit	h = 15.46 m
Ground	
OWS	h = 15.46 m



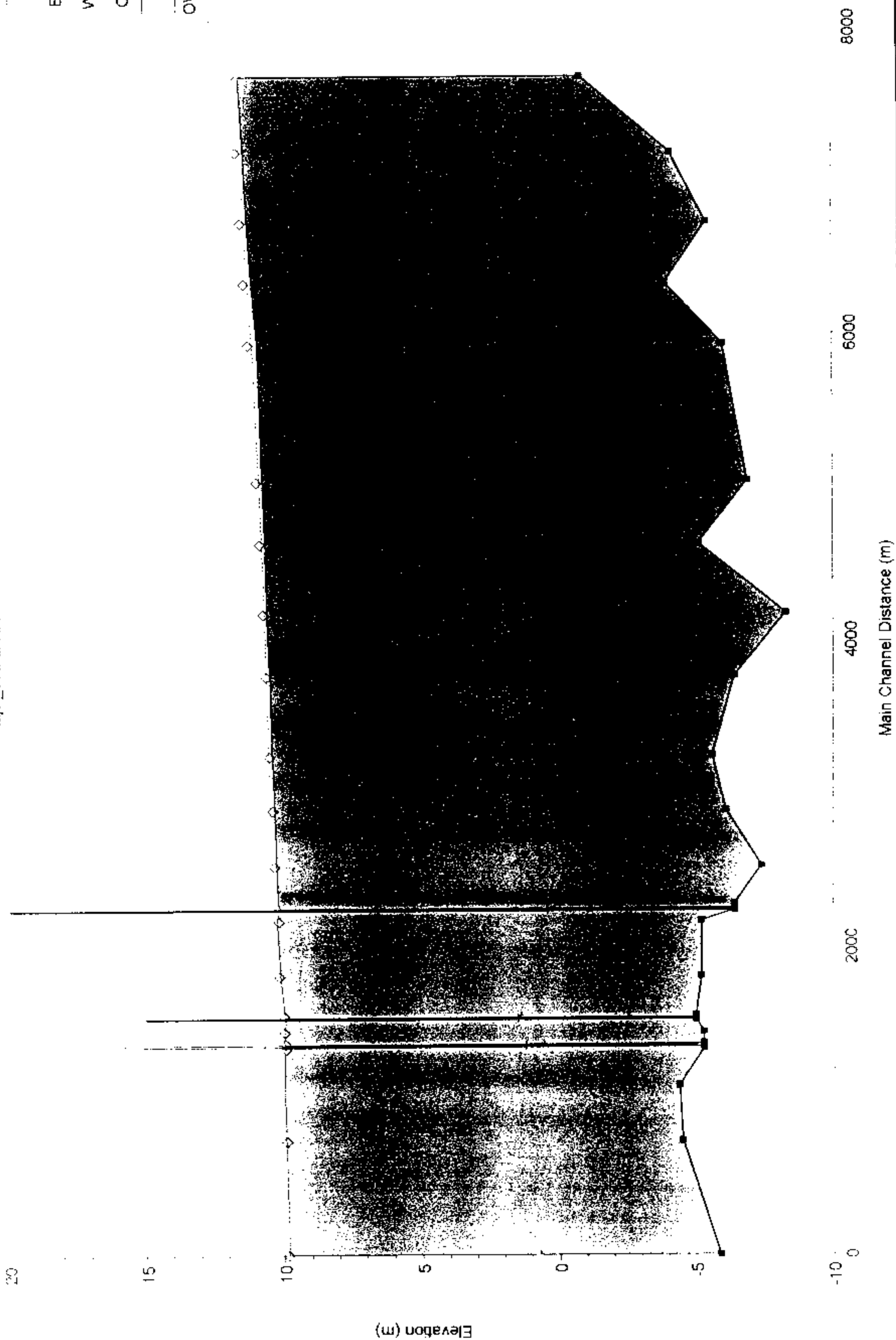
APÊNDICE 6 – Simulação com a ponte proposta: método de energia

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Estudo do escoamento fluvial sob a ação da ampliação das infra-estruturas da Avenida Beira Rio, em
Blumenau

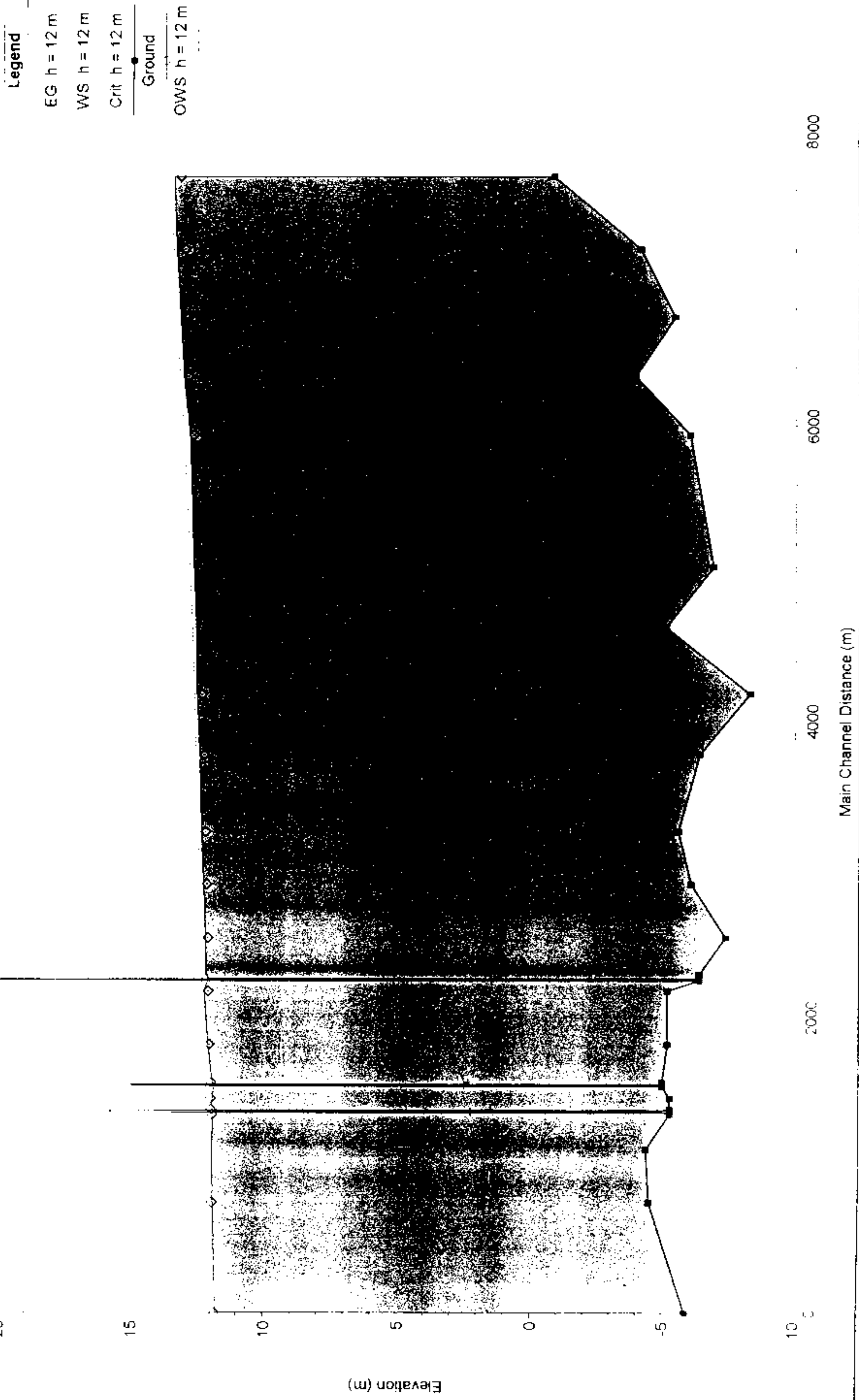
itajai_acu urbano

- Legend**
- EG h = 10 m
 - WS h = 10 m
 - Crit h = 10 m
 - Ground
 - OWS h = 10 m



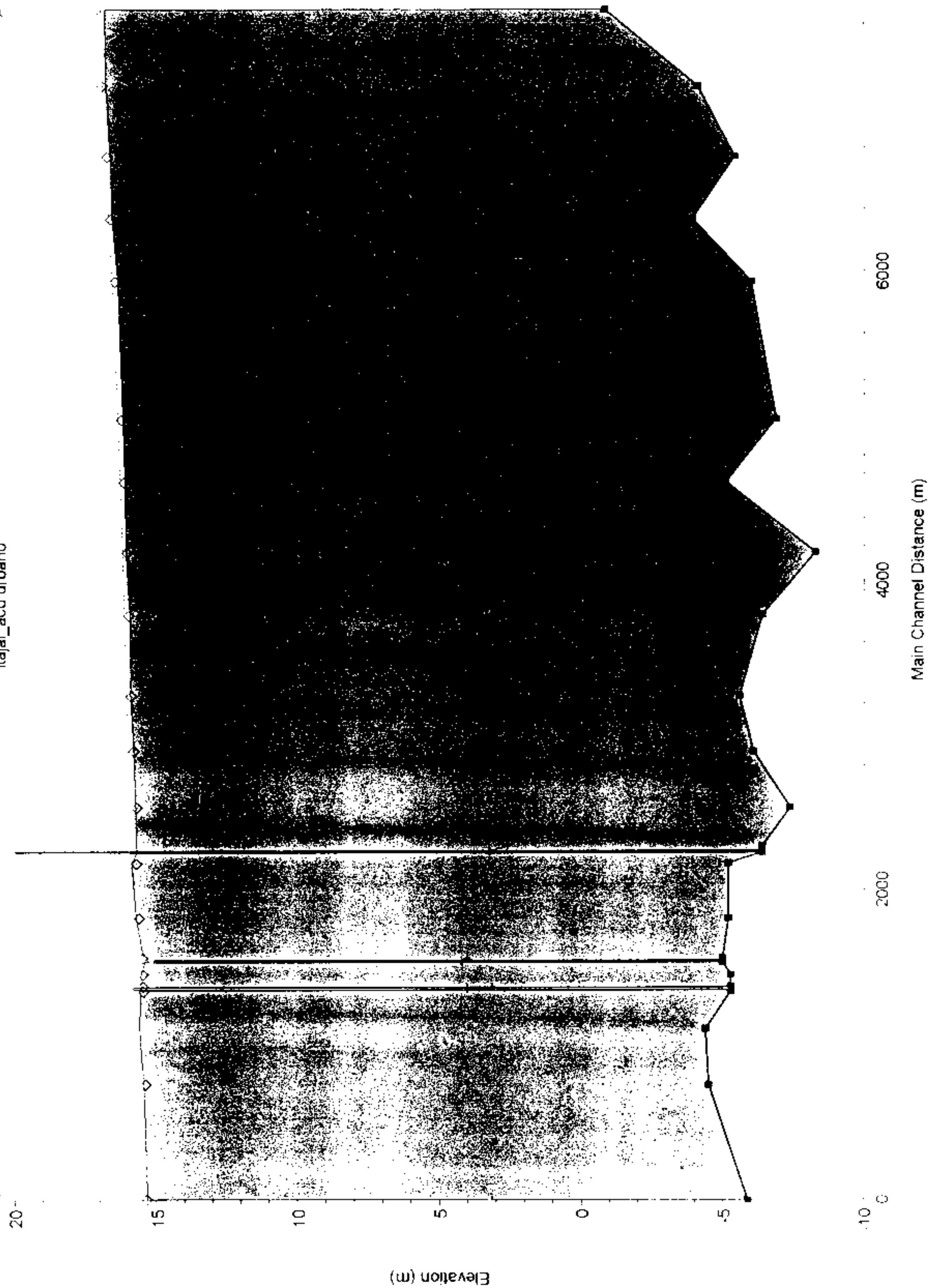
estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 32 24/3/2004

Itajai - acu urbano



itajai_acu urbano

Legend	
EG	h = 15.46 m
WS	h = 15.46 m
Crit	h = 15.46 m
Ground	
OVS	h = 15.46 m



APÊNDICE 7 – Simulação com a ponte proposta: método de fluxo sob pressão

estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 32 24/3/2004

itajai_acu urbano

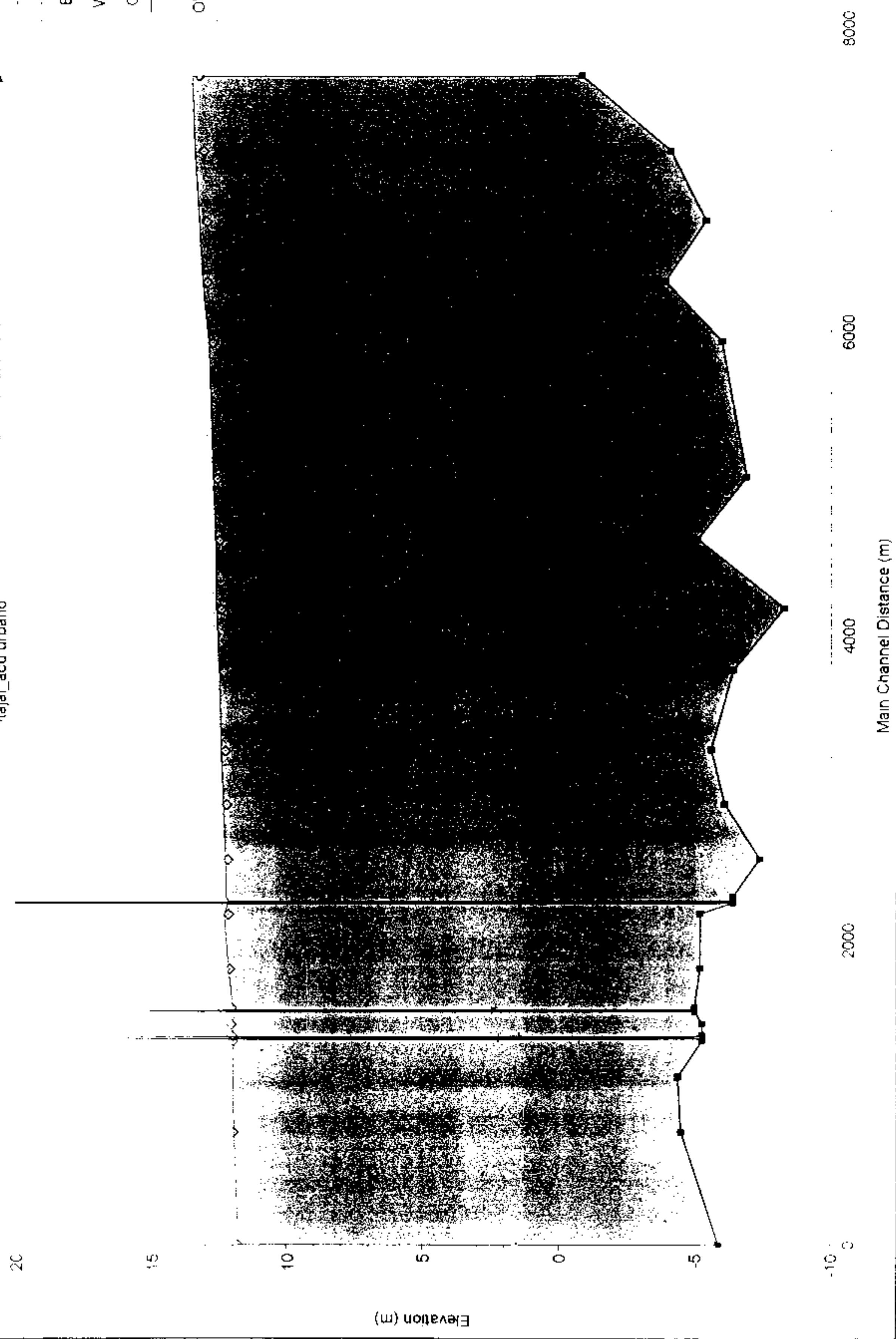
Legend	
EG	h = 10 m
WS	h = 10 m
Crit	h = 10 m
Ground	
OWS	h = 10 m



estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 32 24/3/2004

Atajajacu urbano

- Legend**
- EG h = 12 m
 - WS h = 12 m
 - Crit h = 12 m
 - Ground
 - OWS h = 12 m



estudo_trecho_ponte_proposta Plan: Plan 32 24/3/2004

itaja_acu urbano

Legend	
EG	h = 15.46 m
WS	h = 15.46 m
Cnt	h = 15.46 m
Ground	
OVS	h = 15.46 m

