

Descarregadores de cheias de Barragens de Terra. Binómio
Geotecnia - Hidráulica. Casos de Obra.

Earthfill Dam's spillways. Hydraulic and Geotechnical questions.
Practical problems

J. M. Ferreira Lemos (*)

Ricardo E. Leite (**)

SUMÁRIO

Nesta memória são apresentadas as questões de ordem Geotécnica e Hidráulica que influenciaram o tipo e a forma dos Descarregadores de Cheias de três Barragens de Terra, nomeadamente:

- Caudal de cheia e capacidade de amortecimento da albufeira;
- Tipo e localização do descarregador e problemas de interacção com o corpo da barragem;
- Funcionamento hidráulico e condicionantes de ordem geotécnica;
- Volumes de escavações e custos associados.

SUMMARY

This paper presents the Hydraulic and Geotechnical questions which have influenced both the type and the shape of three Earthfill Dam's spillways, namely:

- Maximum flow and the spillway's discharge capacity;
- Type and location of the spillways and potencial interaction problems with the Dams;
- Hydraulic and Geotechnical questions;
- Excavations and associated costs.

(*) - Doutor Eng. Civil (U.P.)
Professor Associado da FEUP
CNEC - Conselho do Norte de Engenheiros Consultores, Lda.

(**) - Eng. Civil (U.P.)
Bolseiro do INIC
CNEC - Conselho do Norte de Engenheiros Consultores, Lda.

1. INTRODUÇÃO

Experiências recentes dos autores em Projectos de Aproveitamentos em que o órgão de retenção é uma barragem de terra, permitiram concluir da estreita ligação entre as questões geotécnicas e hidráulicas relacionadas com a concepção e a execução dos respectivos descarregadores de cheias.

2. DESCRIÇÃO GERAL DOS APROVEITAMENTOS

Os Aproveitamentos Hidráulicos do Arroio, Salgueiral e Palameiro são do mesmo tipo e destinam-se à criação de albufeiras de regularização que permitam, em boas condições, o abastecimento de água às várias povoações vizinhas.

Cada Aproveitamento é constituído pela Barragem, pelos órgãos anexos e pelo correspondente sistema adutor.

Os órgãos anexos das Barragens são:

- Torre de tomada de água;
- Descarga de fundo, partindo da torre de tomada de água e desenvolvendo-se sobre a rocha de fundação;
- Descarregador de cheias, escavado no maciço rochoso situado na vertente oposta àquela em que foi estabelecida a torre de tomada de água;
- Passadiço de acesso à torre de tomada de água;
- Passagem superior ao descarregador de cheias, situado no alinhamento do coroamento da barragem.

As plantas gerais dos Aproveitamentos são apresentadas nas figuras 1a) - Ribeira do Palameiro; 2a) - Ribeira do Salgueiral e 3a) - Ribeira do Arroio. As figuras 1b), 2b) e 3b) mostram, pela mesma ordem, os perfis longitudinais dos descarregadores de cheias dos três Aproveitamentos.

3. QUESTÕES DE HIDROLOGIA. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

De acordo com o actual Regulamento de Pequenas Barragens de Terra, estas devem dispor de órgãos de descarga de cheias que garantam a segurança total contra o galgamento. Assim sendo, para cada um dos Aproveitamentos, tornou-se necessário definir o valor do caudal de cheia. Este depende directamente das características da bacia hidrográfica definida pela secção da Barragem. No caso do Aproveitamento do Ribeiro do Palameiro as principais características da bacia são as seguintes:

Área da bacia hidrográfica	2.56 Km ²
Precipitação média anual	712 mm
Comprimento do curso de água principal	2 Km
Inclinação do curso de água principal	55 m/Km

Utilizando a fórmula de Giandotti obteve-se para o caudal de ponta de cheia um valor não inferior a 34.1 m³/s. Este será o máximo caudal afluente. O caudal máximo a descarregar poderá ser muito inferior, desde que a albufeira tenha uma boa capacidade de amortecimento. Esta depende directamente da área da albufeira e da altura da lâmina de água sobre a crista do descarregador julgada conveniente.

É fácil demonstrar que se a capacidade de amortecimento da albufeira for inferior ao volume afluído desde o início da cheia até ao momento em que se verifica o caudal máximo, o descarregador deve ser dimensionado para esse mesmo caudal. Caso contrário poder-se-á reduzir a vazão daquele órgão de descarga e essa redução será proporcional à capacidade de amortecimento da albufeira, dependendo da forma do hidrograma de cheia.

O caso do Aproveitamento do Ribeiro do Palameiro é bastante particular, na medida em que a altura da lâmina de água (h) para a qual começa a haver amortecimento está próxima do que se poderia considerar como um máximo razoável. Assim para h = 0.70 m a largura do descarregador seria de 26 m, a qual se veria reduzida para apenas 6 m se se aumentasse a altura da lâmina de água para 0.85 m. De notar que se tal altura fosse tomada superior a 1.05 m a capacidade de amortecimento ultrapassaria o volume da cheia pelo que, para uma cheia com as características indicadas no actual Regulamento de Pequenas Barragens de Terra não seria necessário qualquer descarregador, o que é um absurdo.

Adoptaram-se, portanto, as dimensões de 6 m x 0,85 m para a crista do descarregador já que para além de cumprir as recomendações regulamentares, tal largura provou ser suficiente para evacuar cheias mais prolongadas, embora menos intensas.

4. FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO E CONDICIONANTES DE ORDEM GEOTÉCNICA E CONSTRUTIVA

Do ponto de vista hidráulico o descarregador de cheias pode ser dividido em três zonas fundamentais:

- Crista do descarregador, em que o funcionamento hidráulico será o de um descarregador de soleira espessa triangular;
- Canal descarregador;
- Zona de transição entre a crista e o canal.

Na crista do descarregador o escoamento é regido pela equação [1]

$$Q = L \mu \sqrt{2g} h^{1.5} \quad [1]$$

sendo:

Q = caudal

L = largura do descarregador

μ = coeficiente de vazão

h = altura da lâmina de água descarregada

A velocidade do escoamento nesta zona do descarregador é, em geral, moderada, da ordem de 1 a 1.5 m/s. Como consequência, a rugosidade do fundo e paredes do descarregador não influi de forma significativa no coeficiente de escoamento.

Na zona do canal o escoamento é regido pela equação [2],

$$Q = S K i^{1/2} R^{2/3} \quad [2]$$

sendo:

Q = caudal
S = secção do escoamento
K = coeficiente de Manning-Strickler
i = inclinação do fundo do canal
R = Raio hidráulico da secção molhada

Para canais de forte inclinação, como é o caso, a velocidade do escoamento é considerável, da ordem dos 6 m/s. Nestas condições a rugosidade das paredes e do fundo do descarregador tem grande importância, traduzida pelo parâmetro K, o qual pode tomar valores entre 100 para revestimentos de argamassa de cimento e areia muito lisos e cerca de 15 para superfícies de terra em completo abandono.

Na medida em que, para um mesmo caudal, a velocidade do escoamento é inversamente proporcional à secção, esta será bastante menor na zona do canal do que na crista do descarregador. Daí a necessidade de se considerar uma zona de transição em que a velocidade do escoamento vai aumentando gradualmente, por acção da gravidade até (teóricamente) se estabilizar na zona do canal.

A equação que rege o escoamento é do tipo diferencial e pode traduzir-se por [3]:

$$A = (FA - \Sigma FR)/m \quad [3]$$

sendo:

A = aceleração num troço de comprimento infinitesimal
FA = força actuante - gravidade (função da inclinação do fundo)
FR = forças resistentes, devidas ao atrito (função da velocidade) e à distorção da veia líquida (função da variação da forma)
m = massa de água

Do ponto de vista do funcionamento hidráulico, se se pretender minimizar o volume de escavações, interessará fazer uma regularização cuidada das superfícies em contacto com a veia líquida e, em perfil, utilizar para a zona de transição (relativamente larga) uma inclinação bastante grande, de forma a reduzir o seu comprimento.

Do ponto de vista geotécnico haverá que contar com as características do maciço rochoso em que se pretende escavar o descarregador. Se, como se verificou ser o caso nos Aproveitamentos em questão, o maciço rochoso não fôr de boa qualidade interessará limitar as alturas de escavação no descarregador e a velocidade de escoamento no canal, por forma a minimizar os riscos de erosão do maciço que, de resto, é adjacente ao corpo da Barragem e não convém de forma alguma perturbar mais do que o indispensável.

Se a altura de escavação fosse significativa, seria necessário proceder à consolidação (por exemplo por meio de pregagens e posterior revestimento com betão projectado) das paredes do descarregador.

Do ponto de vista construtivo verificou-se em obra que o Empreiteiro não dispunha de equipamento que lhe permitisse escavar o canal estreito e profundo que as leis do escoamento aconselhariam. Por outro lado uma regularização cuidada das superfícies de um canal aberto a fogo em rocha de qualidade deficiente tornava-se impraticável sem que se procedesse à execução de um posterior revestimento.

5. CUSTOS ASSOCIADOS

Analisando criteriosamente as várias condicionantes de ordem hidráulica, geotécnica e construtiva, verificou-se que a solução mais económica, para os Aproveitamentos estudados, consistia num descarregador que acompanhasse, tanto quanto possível e razoável do ponto de vista de definição como estrutura hidráulica, o desenvolvimento da superfície do terreno.

Os descarregadores resultaram assim relativamente largos, pouco profundos e em que as velocidades do escoamento, mesmo na zona do canal, não são significativas. Tornou-se assim desnecessário proceder ao revestimento das superfícies em contacto com a veia líquida e também à contenção das paredes laterais excepto na zona da passagem sobre o descarregador (fig. 4).

Procedeu-se, portanto, a uma minimização do somatório das três parcelas fundamentais do custo de execução de um descarregador deste tipo que são, como é sabido, as escavações, a regularização das superfícies escavadas e a consolidação dos taludes.

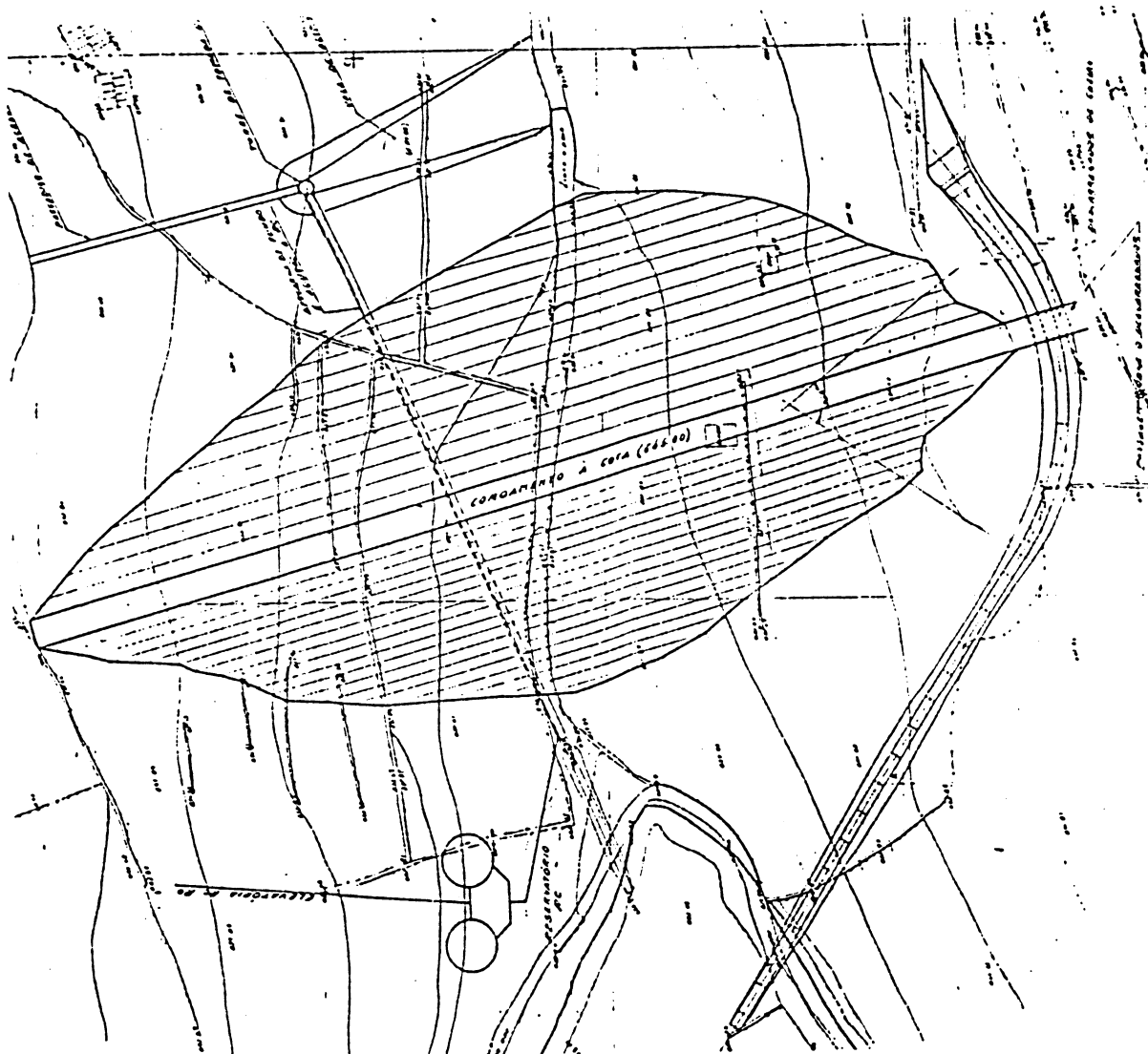


Fig. 1a) Rib. do Palameiro - Planta geral do aproveitamento

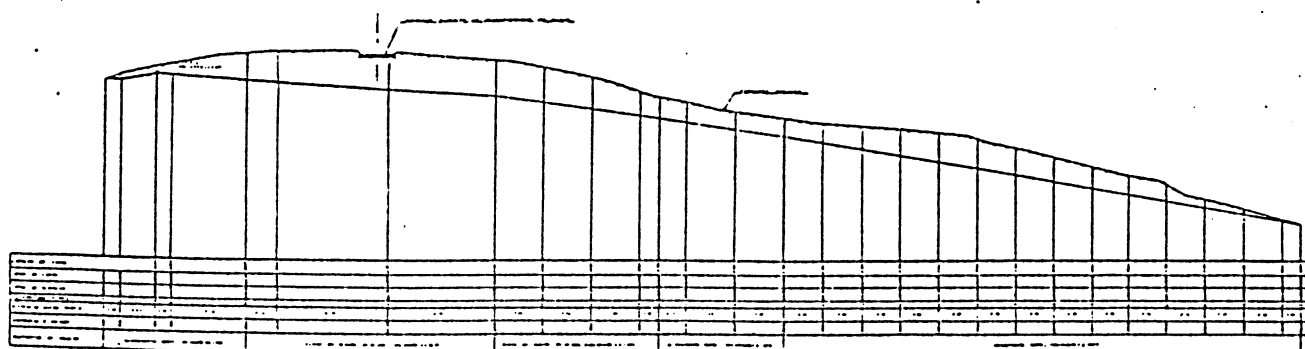


Fig. 1b) Rib. do Palameiro - Perfil longitudinal do descarregador de cheias

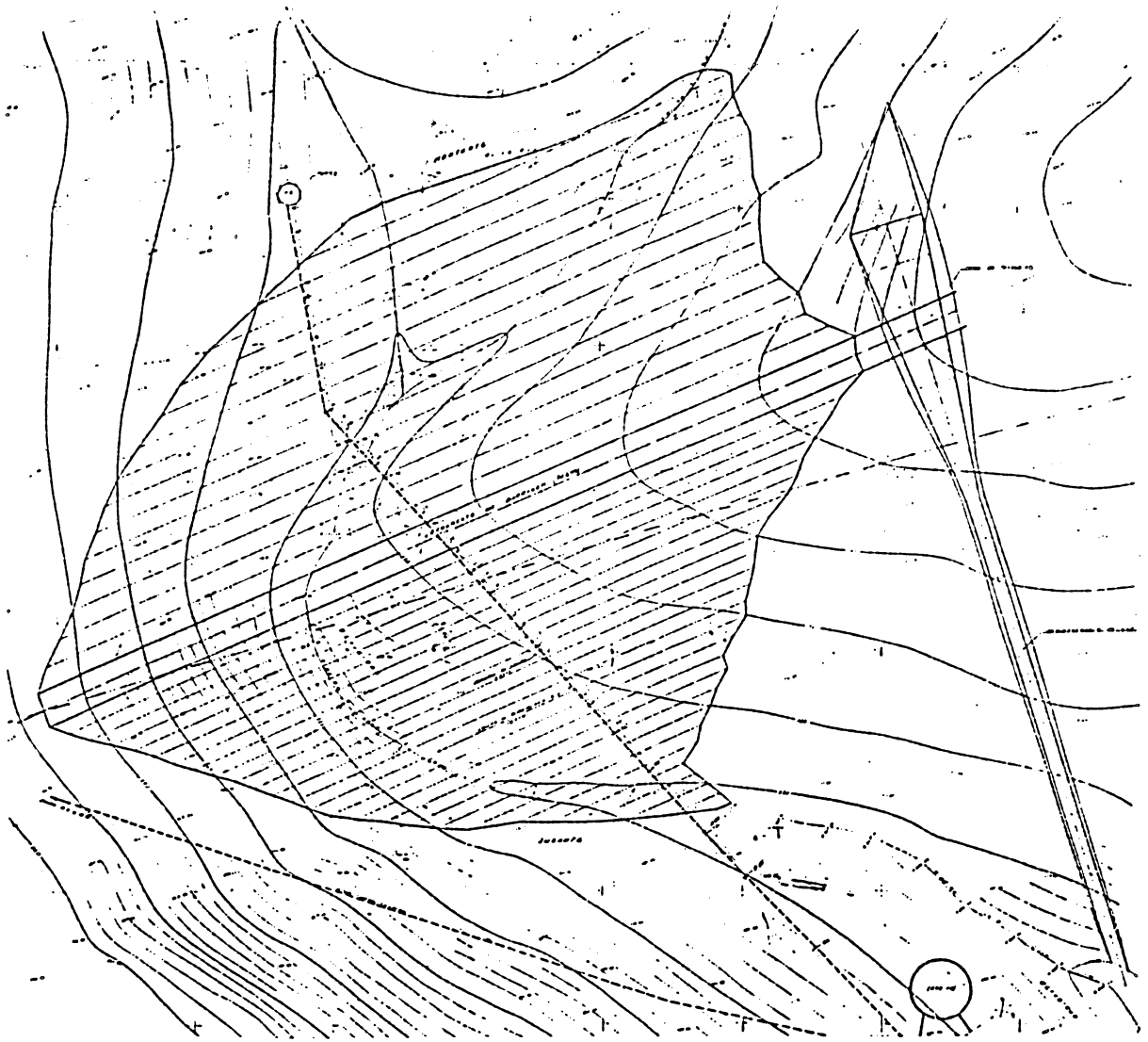


Fig. 2a) Rib. do Salgueiral - Planta geral do aproveitamento

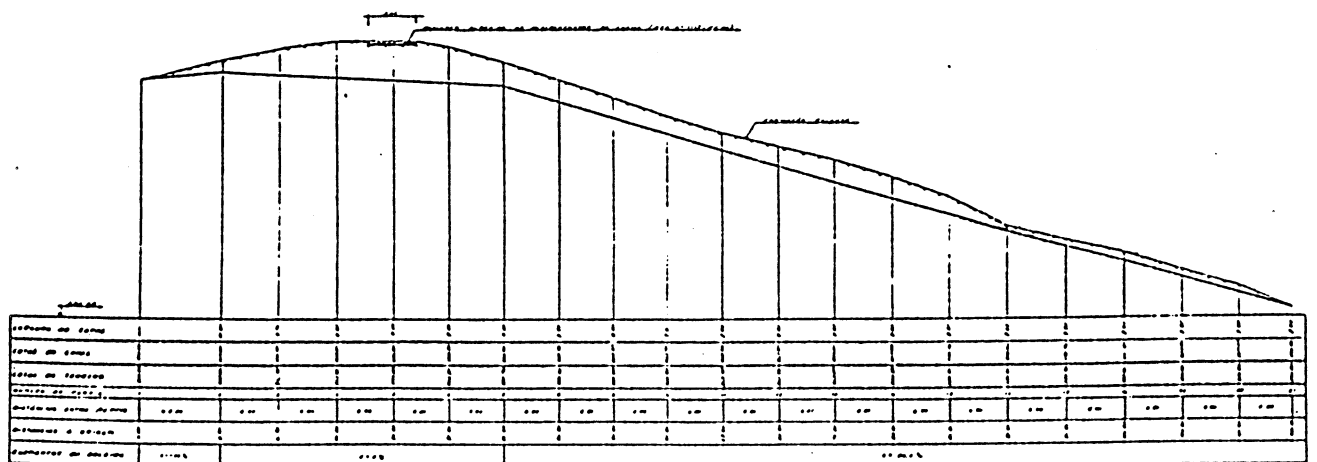


Fig. 2b) Rib. do Salgueiral - Perfil longitudinal do descarregador de cheias

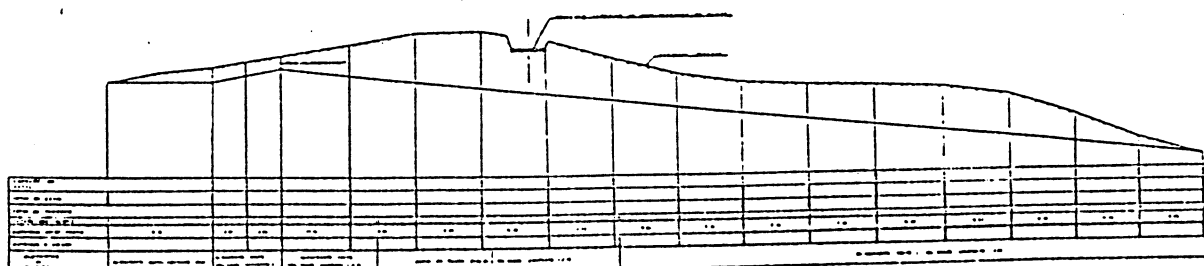
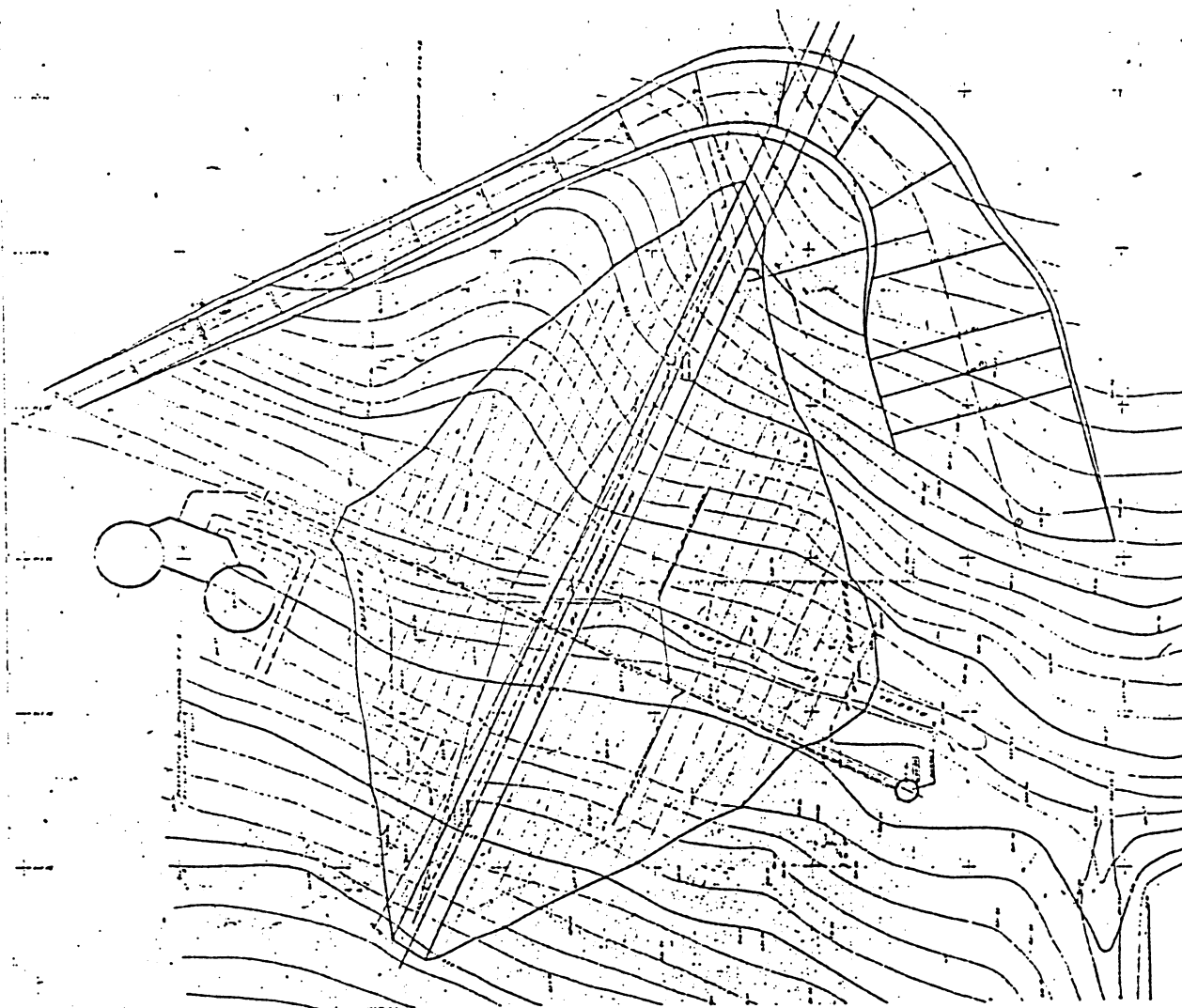


Fig. 3b) Rib. do Arroio - Perfil longitudinal do descarregador de cheias

