

# Ensaio de um modelo de avaliação de danos na agricultura As inundações da ribeira da Meimoa (Cova da Beira)\*

*António Sobrinho*

## 1. A PROBLEMÁTICA DAS INUNDAÇÕES

Neste estudo considera-se inundação a acumulação de massas de água em terrenos adjacentes a um rio ou ribeiro pelo seu transbordamento durante a ocorrência de uma cheia. Importa, contudo, referir que uma cheia pode ocorrer sem que haja necessariamente inundação.

Uma cheia correspondente a uma situação extrema no regime de um curso de água motivada por aumento da precipitação útil, ou seja, da precipitação que dá origem ao escoamento superficial directo, que se traduz no aparecimento de picos num hidrograma.

As cheias são fenómenos perfeitamente naturais derivados do carácter aleatório dos processos hidrológicos, cujo conhecimento interessa aprofundar para se minimizarem os efeitos delas decorrentes.

Em linguagem corrente costuma-se considerar as cheias divididas em dois grupos: pequenas e grandes. Às primeiras correspondem, regra geral, períodos de retorno relativamente pequenos e estão associadas a probabilidades de ocorrência elevadas; normalmente são restritas a áreas de inundação reduzidas nas quais os danos produzidos são de pouca monta; às segundas estão associados períodos de retorno elevados, podendo dar origem a grandes áreas de inundação nas quais se contabilizam prejuízos avultados.

As cheias não se caracterizam apenas pelos valores das respectivas pontas, mas também por outros parâmetros como o volume, duração, forma do hidrograma de cheia e tempos de ascensão e descida.

A propagação de ondas de cheia ao longo de um mesmo vale, com caudais de ponta idênticos mas com diferentes volumes e dura-

---

\* Adaptação do texto apresentado à Faculdade de Letras da Universidade do Porto como prova de aptidão científica para passagem a assistente.

ções, por exemplo, provocará naquele impactos distintos. Podem-se desde já mencionar dois aspectos importantes que afectam a rentabilidade dos terrenos cultivados e que são: a velocidade do escoamento e o tempo de submersão das culturas.

A velocidade de escoamento, sendo elevada, favorece o processo erosivo e de transporte; pelo contrário, sendo baixa, dá lugar a processos de deposição dos materiais transportados. Tanto num como noutro caso, os terrenos agrícolas podem vir a ressentir-se.

O tempo de submersão é deveras importante para cada espécie cultivada, no que concerne a sua resistência à asfixia. Além deste aspecto, outro deverá merecer referência; a capacidade de enxugo dos terrenos. Esta mostra-se determinante na avaliação da relação acumulação de massas de água — drenagem. A título de exemplo cabe referir que terrenos alagados durante uma cheia podem permanecer durante largo tempo nessa situação em virtude da sua constituição (estrutura e textura) não favorecer uma drenagem rápida daqueles.

Ainda há a considerar a relação cheias-inundações-danos.

O homem, perante a presença de potenciais riscos de inundação tem procurado minimizá-los através da adopção de várias medidas de defesa como a construção de barragens ou diques, dragagens e zonamento do vale inundável, apenas para mencionar as mais comuns. Das medidas referidas importa referir o que se entende por zonamento. Assim, no caso vertente, por zonamento entende-se o processo de controlo do desenvolvimento dos terrenos susceptíveis de inundação, através da regulamentação da sua utilização.

As várias alternativas de protecção dos campos marginais aos cursos de água, quando correctamente seleccionadas e postas em prática contribuirão para o estabelecimento de formas de ocupação do solo isentas de maiores riscos em relação à ocorrência de inundações. Mas que inundações?

Normalmente o dimensionamento das obras de protecção baseia-se num compromisso entre custos e benefícios, trazendo como consequência uma defesa mais eficaz para ocorrências associadas a pequenos períodos de retorno.

O comportamento humano também se processa de outra forma: sentindo-se protegido, o homem intensifica a sua actividade e relega para segundo plano os limites de confiança garantidos no projecto de execução de determinada obra. Nessa ocasião são assumidos certos riscos.

Ocorre então uma cheia com um período de retorno elevado. As obras de regularização não se mostram eficazes para controlarem as afluências dos caudais em regime de cheia e dá-se o transbordamento do leito menor do curso de água, com o consequente alagamento dos respectivos campos marginais.

A actividade agrícola entretanto havia sido intensificada e obviamente os danos potenciais serão muito maiores do que num período anterior às obras de regularização do referido curso de água.

Tem-se constatado que a tendência da relação cheias-inundações-danos tem vindo a evoluir da seguinte forma:

— cheias em cursos de água naturais produzem ou não inundações capazes de submergir os campos marginais aos cursos de água. Naqueles, as formas de ocupação humana e de aproveitamento do solo não são muito difundidas implicando, por conseguinte, danos de pouca monta.

— cheias em cursos de água naturais, marginados por uma ocupação agrícola relevante, produzem danos frequentes e de montantes variáveis de acordo com a magnitude da onda de cheia.

— cheias em cursos de água regularizadas dão origem a inundações que podem assumir grandes proporções caso o seu período de retorno (das cheias) seja elevado. Verifica-se então que a ocorrência de uma cheia pouco frequente poderá dar lugar a uma grande inundação a qual provocará danos consideráveis na região, particularmente na sua agricultura.

Estudos que vários investigadores, como geógrafos, psicólogos, sociólogos, engenheiros entre outros, têm vindo a elaborar, conduzirão, se é que já não conduziram, a uma nova forma de adaptação das actividades do homem no domínio dos sistemas agrícolas, relativamente à ocupação de áreas com elevado grau de vulnerabilidade a inundações.

Na perspectiva de contribuir para a melhor compreensão das formas de ocupação humana em vales inundáveis, foi concebido um modelo de avaliação dos impactos causados pelas inundações nos campos marginais à ribeira da Meimoa.

Nos capítulos seguintes, após a caracterização da região estudada, é feita uma descrição pormenorizada de todos os procedimentos (bem como a respectiva crítica) que conduziram ao estabelecimento do referido modelo.

## 2. O VALE DA MEIMOA

«A Cova da Beira é, como o nome expressivamente indica, uma depressão situada entre os altos relevos das serras da Estrela e da Gardunha, que a fecham pelo Norte e Oeste e pelo Sul. Tem 30 km de comprimento e 12 km de largura máxima, sendo atravessada pelo Zêzere no sentido do comprimento. Os relevos que marginam este rio apertam-se e como que fecham pelo ocidente, a saída», segundo ORLANDO RIBEIRO<sup>1</sup> (figura 1).

---

<sup>1</sup> RIBEIRO, O.; A Cova da Beira. Controvérsia de Geomorfologia. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. Tomo XXX Lisboa 1949 pp. 4-23.

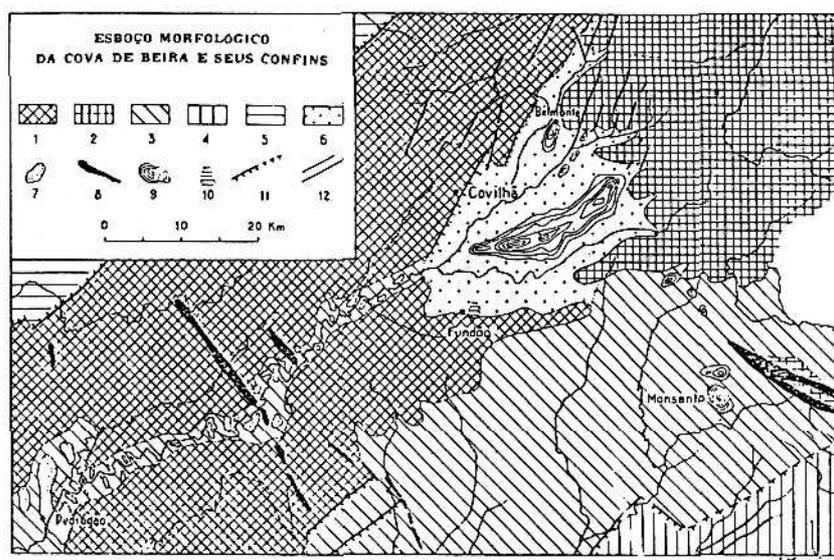


Fig. 1

LEGENDA

- 1 — Montanhas da Cordilheira Central
- 2 — Superfície da Meseta a seus resíduos
- 3 — Superfície de Castelo Branco; nível ao longo do Zêzere, que lhe corresponde
- 4 — Compartimento abatido da superfície de Castela Branco
- 5 — Superfície da Beira Alia
- 6 — Nível de fundo da Cova da Beira, com vales pseudo-maduros
- 7 — Rechãs do nível de 400 metros
- 8 — Cristas de quartzite
- 9 — Insete (equidistância das curvas: 50 metros)
- 10 — Depósito detrítico
- 11 — Escarpas de falha
- 12 — Vales de fractura

Fonte: O. RIBEIRO, in «A Cova da Beira. Controvérsia de Geomorfologia»

O sistema hidrográfico que drena a região é constituído pelo rio Zêzere e seus principais afluentes: a ribeira de Corges na margem direita e da Gaia, Caria e Meimoa, na margem esquerda.

Nesta região de cerca de 31 612 ha está prevista a implantação de um grande aproveitamento hidroagrícola que na sua primeira fase irá beneficiar perto de 14 429 ha repartidos pelas seguintes áreas: vale da Meimoa com 3 947 ha, Fundão com 5 218 ha, margem esquerda do Zêzere com 5 094 ha e a do Sabugal com 170 ha. Dos sub-blocos mencionados apenas os do Fundão e da Meimoa interessam a este estudo em virtude de serem atravessados pela ribeira da Meimoa.

Àcerca da morfologia e constituição geológica da região drenada pela ribeira da Meimoa, O. RIBEIRO observou que os vales por

onde aquela se escoia, bem como os seus afluentes, apresentam uma fisionomia semelhante: «fundos largos e esbatidos, rios suavemente embutidos na superfície geral da depressão, às vezes espraiando-se ao rés do solo, com uma película de aluviões tão delgada e descontínua que, em grande extensão dos cursos de água, não oculta as surgências do granito e de xisto do bed-rock»<sup>2</sup>.

As várzeas do fundo dos vales principais são constituídas por aluviões em que predominam os materiais graníticos, excepto no próprio vale da Meimoa, na região delimitada pelo sub-bloco do mesmo nome, em que os materiais são fundamentalmente xistosos.

Nas margens das linhas de água secundárias e na base das encostas predominam solos coluviais.

Assim, o sub-bloco da Meimoa é predominantemente constituído pelos seguintes tipos de solos conforme consta no relatório sobre «Avaliação económica do aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira (1.ª fase ampliada). DGRAH, Fundão, Setembro de 1977»:

«a) aluviões modernas, fundas, férteis, sem problemas de drenagem;

b) aluviões mais antigas dispondo-se em terraços a cotas mais elevadas que as anteriores, apresentando boas características para o regadio;

c) coluviões fundas e de boas características físicas;

d) provenientes da decomposição de granitos e rochas afins, ocupando terrenos de encosta;

e) provenientes também da decomposição de granitos mas de grão fino, sendo geralmente fundos, desagregáveis e por isso, facilmente mobilizados profundamente».

O sub-bloco do Fundão é essencialmente constituído por solos dos tipos referidos nas alíneas a), c) e d).

O agrupamento em classes de aptidão ao regadio (5 classes) baseou-se em 10 determinantes de valorização do solo:

- natureza do solo;
- espessura efectiva;
- declive;
- capacidade de água utilizável;
- drenagem;
- riscos de inundações;
- pedregosidade;
- afloramentos rochosos;
- salinidade;
- trabalho de adaptação ao regadio.

<sup>2</sup> RIBEIRO, O.; Três notas de Geomorfologia da Beira Baixa. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. Tomo XXXII Lisboa 1951 pp. 5-30.

As cinco classes existentes são:

classe I - solos regáveis praticamente sem limitações; classe II - solos regáveis com limitações ligeiras; classe III - solos regáveis com limitações moderadas; classe IV - solos regáveis com limitações acentuadas; classe V - solos em geral não regáveis devido a limitações sérias mas com algumas possibilidades técnicas e económicas de adaptação.

Resumem-se para os sub-blocos da Meimoa e do Fundão, a distribuição dos solos pelas cinco classes de aptidão ao regadio.

SUB-BLOCOS	ÁREA	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	CLASSE V	TOTAL 3
Meimoa	ha	782	1480	1 277	348	61	948
	%	19,8	37,5	32,4	8,8	1,5	100
Fundão	ha	98	1072	3 147	708	194	5 218
	%	1,9	20,5	60,3	13,6	3,7	100

Constata-se que para os sub-blocos da Meimoa e do Fundão se verificam 90% e 83% de solos incluídos nas três classes mais favoráveis para a adaptação ao regadio, respectivamente. Cabe, no entanto, referir o nítido predomínio de solos que apresentam limitações moderadas para o regadio do sub-bloco do Fundão.

A diversidade dos solos e as práticas agrícolas correntes na região possibilitam uma agricultura relativamente variada, na qual se distinguem os seguintes sistemas de exploração, de acordo com o sistema de classificação utilizado no mapa agrícola da Cova da Beira, à escala 1:2.000 concluído em 1977 pela brigada hidroagrícola de Cova da Beira, da DGRAH:

#### A — CULTURA ARVENSE DE SEQUEIRO

- a) alqueive — centeio — pousio;
- b) alqueive - trigo - pousio;
- c) 1/2 milho com feijão frade, 1/2 milho de forragem - trigo;
- d) 1/5 batata de sequeiro, 1/2 milharada de sequeiro x ferrejo;
- e) 7/10 milharada de sequeiro, 2/10 feijão frade - trigo;
- f) 1/5 milho forragem - trigo;
- g) inculco de Inverno x 1/2 milho com feijão frade, 1/2 milharada;
- h) prados naturais.

Os sistemas culturais distribuem-se de acordo com a fertilidade do solo, a dimensão dos prédios e o tipo de empresa.

Assim, os sistemas, a), b) e c) são típicos de solos delgados de fraca fertilidade, recorrendo em pequena escala aos factores de produção e tendo fracas produções.

Nos solos de coluvião onde não haja a possibilidade de rega costuma praticar-se o sistema a).

Próximo das povoações, quando a propriedade é pequena, atendendo às disponibilidades de estrume e de mão de obra e às solicitações do autoconsumo ou dos animais estabulados, pratica-se o sistema d).

O sistema e) encontra-se geralmente em vales afluentes ao principal, nas suas terras baixas.

O sistema g) é praticado em áreas incultas, no Inverno, mal drenadas, devido à sua textura pesada, o que as mantém encharcadas e onde no Verão se semeia milho com feijão frade e milharada.

Nos solos sujeitos a hidromorfismo mostra-se como forma economicamente viável o aproveitamento da vegetação espontânea quer para feno quer para pastagem (sistema h).

Nas áreas onde predomina a pequena propriedade, em que os rebanhos de ovinos não podem manejar nos afolhamentos é praticado o sistema f).

#### B — CULTURA ARVENSE DE REGADIO IMPERFEITO

Nesta modalidade, devido à água ser factor limitante, as regas são de ajuda às culturas no fim do ciclo (batata) ou no princípio (milharada), praticando-se o sistema:

- i) 3/10 milho com feijões, 4/10 milharada de regadio, 3/10 batata - trigo

#### C — CULTURA ARVENSE DE REGADIO

j) milho x azevém

l) ferrejo x 1/5 batata, 2/5 milharada, 2/5 milho com feijões

m) inculco de Inverno x 7/10 milho com feijões e 3/10 milharada

n) azevém de ferrejo x 1/5 batata, 1/5 milho, 1/5 milharada - trigo.

Nos solos de fundo de vale com possibilidade de rega quer no Inverno (lima) quer de Verão, pratica-se o sistema j).

Em áreas de pequena propriedade onde haja água para rega pratica-se o sistema l). O sistema m) é praticado junto ao rio Zêzere, nas várzeas inundadas no Inverno, onde só as culturas de estiagem são possíveis.

Quanto ao sistema n) pratica-se em solos de várzea nas explorações médias ou grandes, onde o gado bovino pasta o azevém de ferrejo.

D — HORTA

É um sistema cultural muito praticado pelos agricultores que lhe reservam áreas, desde que haja disponibilidade de água para rega no Verão, junto às aldeias.

As culturas mais representadas são a batata, a couve, feijão, ervilha, cebola, tomate, beterraba forrageira, ferrejo e árvores de fruto dispersas, apenas para mencionar as mais comuns.

E — VINHA

Esta cultura foi, para efeitos de elaboração do mapa agrícola, subdividida em 4 fases:

- I — vinha nova abrangendo o bacelo ou plantas enxertadas nos dois primeiros anos
- II — vinha em formação
- III — vinha em plena produção
- IV — vinha em declínio

F — POMARES

Os pomares existentes foram subdivididos em:

- macieiras em forma livre;
- macieiras em palmeia;
- pereiras;
- pessegueiros.

G — MATA

A espécie mais representada é o pinheiro bravo, embora se verifique a presença de outras espécies como sobreiros, choupos e freixos entre outras.

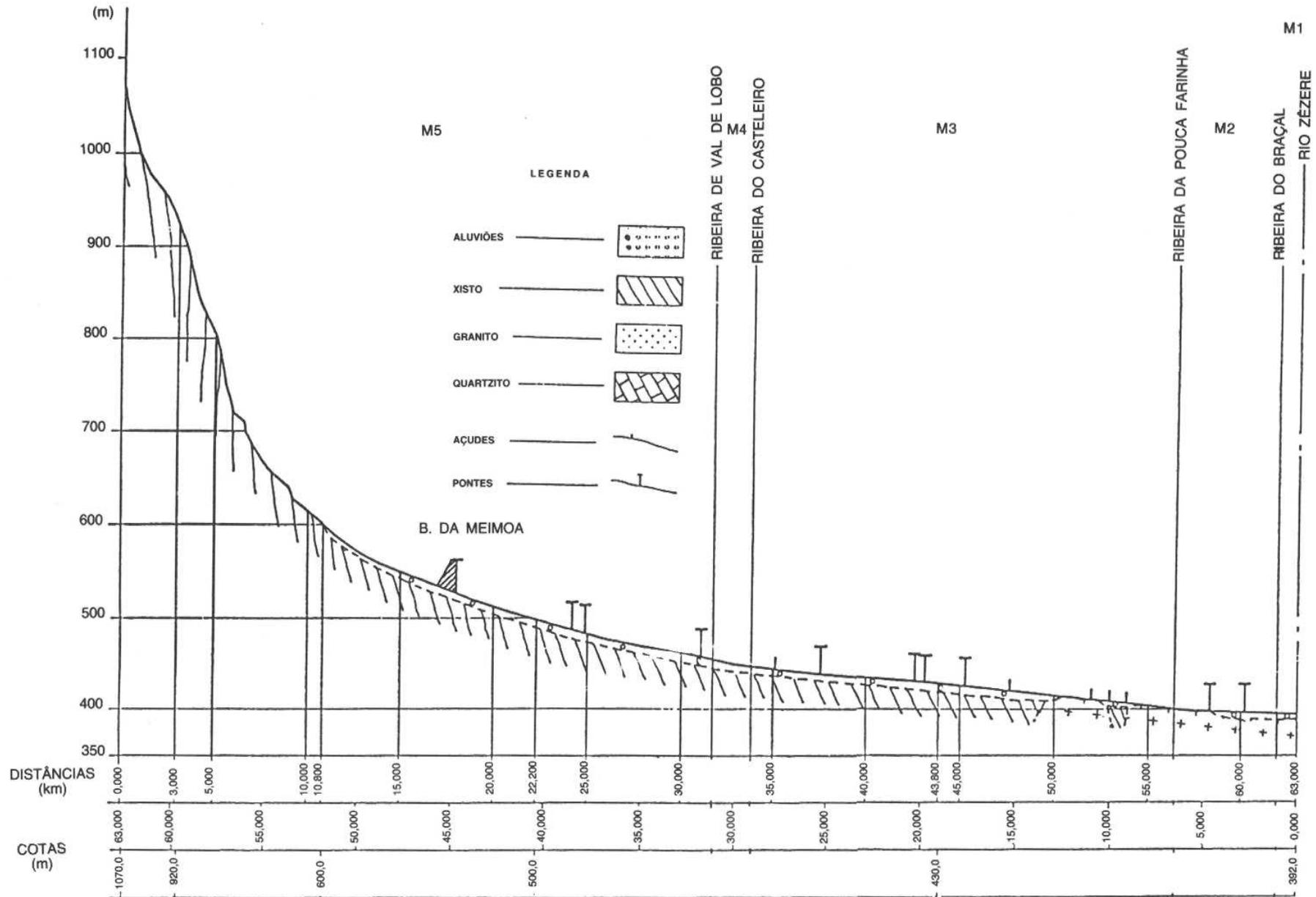
H — OLIVAL

Os olivais, de acordo com o porte e compasso, foram classificados em 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> classe.

No que respeita ao aproveitamento actual da área a beneficiar na 1.<sup>a</sup> fase, não entrando em consideração com a cultura subjacente ao olival, conta-se com a seguinte ocupação:

	%	ha
Olival	12,5	1803,6
Vinha	5,0	721,5
Pomares	6,0	865,7
Culturas arvenses de sequeiro	33,0	4 761,6
Culturas arvenses de regadio imperfeito	20,0	2 885,8

Fig. 2 — Perfil longitudinal da ribeira da Meimoa



Culturas arvenses de regadio regional	12,7	1 832,5
S.A.U. abandonada, mato e área social	10,8	1 558,3
Total	100,0	14 429,0

### 3. AS CHEIAS NA RIBEIRA DA MEIMOA

As cheias na Ribeira da Meimoa são relativamente frequentes e muito facilmente dão origem a inundações. Os factores que mais contribuem para a sua ocorrência são o regime das precipitações e as características topográficas da região.

Relativamente ao regime de precipitações constata-se, de acordo com Suzanne Daveau e colaboradores em «Répartition et rythme des précipitations au Portugal, Lisboa, 1977» que as áreas com menor precipitação se localizam na vertente S-SW da serra da Malcata, na parte a montante da bacia e na vertente da serra da Gardunha, virada ao Fundão. A área de menor precipitação (800-1000 mm) predomina na parte central da bacia. As maiores precipitações apresentam valores da ordem dos 1400-1600mm na parte a montante da bacia e de 1600-1800 mm numa pequena porção da serra da Gardunha.

A avaliação directa das precipitações sobre a bacia torna-se difícil pois não existem postos udométricos devidamente distribuídos nessa área. Faz-se excepção para o posto udométrico do Fundão, o qual no entanto ocupa uma posição relativamente excêntrica em relação ao conjunto da bacia e não possui registador contínuo de precipitações.

Quanto às características topográficas do vale principal e afluentes cabe chamar a atenção para as mais importantes: vales largos de fundo quase plano, limitados por vertentes convexas de natureza xistosa.

Uma breve apreciação de um perfil longitudinal simplificado permite distinguir «grosso modo» dois trechos distintos: (figura 2)

— o de montante, desde a nascente até à confluência da ribeira do Casteleiro com a ribeira da Meimoa, em que as inclinações do fundo do leito são maiores.

— o de jusante desde a confluência anterior até à da ribeira da Meimoa, com o rio Zêzere, em que as inclinações do fundo do leito são menores, apresentando características de curso de água de planície.

Na figura 2 encontra-se a ribeira da Meimoa referenciada por trechos, os quais resultaram da aplicação de um critério de delimitação segundo pontos de confluência daquela, com os cursos de água que pareceram ser mais influentes no regime de escoamento da bacia em questão. Na mesma figura indica-se, por meio de projecções sobre o perfil longitudinal da ribeira da Meimoa, os cursos de água seleccionados após observação local do seu comportamento.

Os três troços M1 a M3 possuem, como já foi dito anteriormente, as inclinações mais baixas do seu leito pelo que a ocorrência de inundações aí tem lugar muito frequentemente, além de para isso contribuir o volume do escoamento que é significativamente maior a jusante do que a montante.

Nos troços M1 a M3 desenvolveu-se o modelo de avaliação de danos que se apresenta neste volume.

Quanto ao estudo dos caudais a partir de estações hidrométricas existentes na ribeira há que referir a sua deficiente ocupação pois contou-se apenas uma — estação hidrométrica da Meimoa — que funcionou, sem alteração do curso de água, de 1971 a 1978. Essa estação medidora de caudais, localizada imediatamente a jusante da barragem, compreendia um limnígrafo, escalas graduadas e um descarregador de estiagem.

Verificou-se por meio de levantamento do perfil transversal da secção do descarregador que os caudais calculados o estavam por defeito; tal facto resulta da curva de vazão utilizada ser válida apenas para um perfil com largura igual à do descarregador e uma altura com cerca de 70 cm (figura 3).

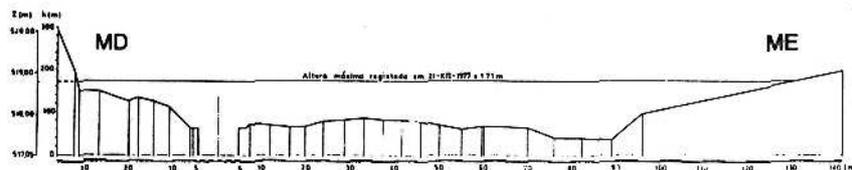


Fig. 3 — Perfil transversal do vale segundo o eixo do descarregador

A estação referida domina uma bacia com cerca de 61 km<sup>2</sup> e durante o período do seu funcionamento foram registadas várias cheias as quais atingiram alturas hidrométricas máximas que se apresentam no quadro 1.

A possibilidade de se recorrer a uma análise estatística dos caudais de cheia na estação hidrométrica da Meimoa perde-se, quer pelo escasso número de observações disponíveis quer pela sua má qualidade.

Como proceder então ao cálculo dos níveis ou caudais de cheia nas secções seleccionadas na ribeira da Meimoa, para vários períodos de retorno?

Dos estudos «Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira — Memória Descritiva, Lisboa 1978» e «Aproveitamento dos Recursos Hidráulicos do Maciço da Serra da Estrela — Climatologia e Hidrologia. Águas Superficiais, Lisboa, 1979» transcrevem-se, para as

secções da barragem e bacia da Meimoa, os valores dos caudais de cheia associados a vários períodos de retorno, respectivamente:

ANO	MÊS	DIA	HORA	Alturas hidrométricas máximas (m)	
1971	ABR	7	12.00	0,40	
	ABR	10	12.00	0,35	
	MAI	22	12.00	0,44	
	MAI	27	23.00	0,51	
	JUN	5	12.00	0,34	
	JUN	24	16.00	0,24	
	JUL	13	21.00	0,41	
1972	FEV	2	12.00	1,20	
	FEV	5	16.30	1,22	
	MAR	14	04.30	0,39	
	SET	5	18.30	0,18	
	NOV	3	02.00	0,34	
	DEZ	9	12.00	0,32	
	DEZ	16	17.00	0,50	
DEZ	27	12.30	0,46		
1973	JAN	13	06.00	0,52	
	JAN	17	09.00	0,69	
	MAI	5	12.00	0,36	
	MAI	19	20.00	0,76	
	NOV	4	16.30	0,49	
	DEZ	19	11.00	0,23	
	DEZ	27	12.30	0,46	
1974	JAN	5	15.00	0,77	
	FEV	1	01.00	0,50	
	FEV	2	12.00	0,41	
	FEV	12	20.00	0,55	
	JUN	28	03.00	0,47	
	NOV	15	05.20	0,36	
	NOV	20	05.00	0,30	
	NOV	20	05.00	0,30	
	NOV	20	05.00	0,30	
	NOV	20	05.00	0,30	
1975	JAN	15	08.40	0,48	
	FEV	14	18.00	0,41	
	MAR	4	17.00	0,44	
	MAR	18	02.30	0,50	
	1976	JAN	30	02.00	0,12
		FEV	21	12.00	0,14
		ABR	22	08.00	0,16
		ABR	23	24.00	0,16
		OUT	11	14.30	0,30
		OUT	30	15.00	0,25
OUT		28-29		0,34	
NOV	9	11.00	0,50		
NOV	13	12.00	0,34		
DEZ	31	19.00	1,10		
1977	JAN	2	17.00	0,72	
	JAN	14	19.00	0,66	
	JAN	15	12.00	0,58	
	JAN	26	05.00	0,80	
	JAN	30	11.00	1,15	
	FEV	13	20.00	0,47	
	FEV	25		0,52	
	FEV	26	12.00	0,56	
	ABR	5	10.30	0,23	
	JUN	22	02.00	0,09	
DEZ	7	13.30	1,04		
DEZ	11	24.00	1,48		
DEZ	21	05.00	1,71		

Quadro 1 — BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DA MEIMOA  
 ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA: MEIMOA ALTURAS  
 HIDROMÉTRICAS MÁXIMAS VERIFICADAS (m)

Caudais de cheia e caudais de cheia específicos

SECÇÃO	Q <sub>2</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Unidades
Barragem A =	94,9	134,1	167,9	185,0	m <sup>3</sup> /s
61 km <sup>2</sup>	1,556	2,198	2,752	3,033	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
Bacia total A =	520,5	795,4	1068,8	1130,0	m <sup>3</sup> /s
478 km <sup>2</sup>	1,089	1,664	2,236	2,364	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>

Estes valores foram obtidos por meio de linhas de possibilidade udométrica estabelecidas para a região e de expressões empíricas utilizadas no cálculo de cheias no país.

A esse respeito cabe referir que a inadequada rede de observações meteorológicas poderá deturpar a realidade, especialmente no que concerne à representatividade das linhas de possibilidade udométrica do tipo:

$$P = atn$$

em que:

P - precipitação associada a um determinado período de retorno (mm);

t - duração da chuvada (horas); a e

n - parâmetros regionais.

Por outro lado, o valor da precipitação obtido através da aplicação das linhas de possibilidade udométrica entra como variável independentemente na expressão utilizada para o cálculo do caudal de cheia, do tipo:

$$Q = \alpha P a$$

em que:

Q — caudal de cheia (m<sup>3</sup>/s);

P — precipitação associada a um determinado período de retorno (mm);

A — área da bacia (km<sup>2</sup>);

$\alpha$  — parâmetro.

A prática tem vindo a demonstrar que a utilização da metodologia atrás descrita conduz a erros de  $\pm 10\%$  e  $\pm 25\%$  quando se estima um caudal de cheia para um período de 100 anos ao utilizarem-se registos de precipitação com 115 e 48 anos, respectivamente. Já com cerca de 10 anos de registos verifica-se uma probabilidade de sobrestimação da ordem dos 80%.

O conhecimento da região «in loco» e as limitações de aplicação das leis ou relações hidrológicas já referidas conduziu a uma revisão dos resultados obtidos em virtude dos mesmos não se ajustarem à realidade do processo de escoamento. Os ajustamentos efectuados, julgados convenientes, são devidamente justificados neste capítulo.

Para a bacia e sub-bacias da ribeira da Meimoa, seleccionadas para este estudo, foram considerados os seguintes períodos de retorno para o cálculo dos respectivos caudais: 2, 10, 50 e 100 anos.

Os caudais de cheia foram obtidos através de um expediente de cálculo que se baseou na utilização da seguinte relação:

$$q = \frac{q_0}{A^a}$$

em que:

- q —caudal de cheia específico (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>);
- q<sub>0</sub> — caudal de cheia específico de referência (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>);
- A —área da bacia (km<sup>2</sup>);
- a — parâmetro regional.

Logaritmizando a relação vem:

$$\log q = - a \log a + \log q_0 \quad \text{fazendo-se } \log q_0 = b$$

Aplicaram-se estes procedimentos ao cálculo dos parâmetros a e b referentes às relações para os vários períodos de retorno considerados, tendo-se obtido, os seguintes valores:

a <sub>2</sub> = 0,173	b <sub>2</sub> = 0,500
a <sub>10</sub> = 0,135	b <sub>10</sub> = 0,583
a <sub>50</sub> = 0,101	b <sub>50</sub> = 0,620
a <sub>100</sub> = 0,121	b <sub>100</sub> = 0,698

Na figura 4 representam-se as várias relações q = f (A) estabelecidas.

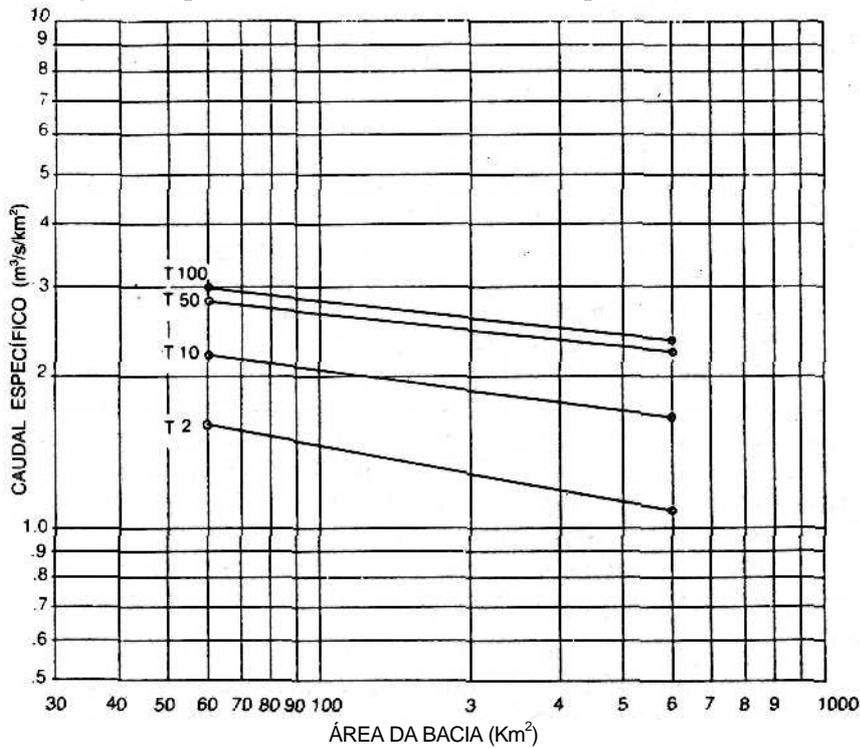


Fig. 4 - Relação q = f(A)

Graficamente ou analiticamente torna-se agora possível determinar os caudais de cheia para as várias secções referenciadas na figura 2 e que correspondem às das confluências da ribeira da Meimoa com os cursos de água assinalados no perfil longitudinal. A secção M1 diz respeito à confluência da ribeira da Meimoa com o rio Zêzere, crescendo a numeração para montante.

Pela utilização das expressões  $q = f(A)$  estabelecidas foram calculados os caudais de cheia específicos para cada uma das secções correspondentes aos troços já mencionados além da da barragem e posteriormente os respectivos caudais de cheia.

SECÇÃO	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>2</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	UNIDADES
M1 (BACIA TOTAL)	478	520,5 1,089	795,4 1,664	1068,8 2,236	1130,0 2,364	m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
M2 (conf. BRAÇAL)	368	419,2 1,139	634,4 1,724	844,6 2,295	898,3 2,441	m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
M3 (conf. P. FARINHA)	295	349,3 1,184	523,9 1,776	692,4 2,347	739,6 2,507	m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
M4 (conf. CASTELEIRO)	166	217,0 1,307	318,7 1,920	413,1 2,488	446,2 2,688	m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
M5 (conf. V. DE LOBO)	121	167,1 1,381	242,5 2,004	310,7 2,568	337,8 2,792	m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
(BARRAGEM)	61	94,9 1,556	134,1 2,198	167,9 2,752	185,0 3,033	m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>

Verificou-se que os caudais calculados de acordo com a metodologia enunciada parecem não se ajustar à realidade. A justificar a afirmação anterior pode mencionar-se o facto dos caudais de cheia calculados para períodos de retorno pequenos (2 e 10 anos) serem bastante elevados, ao passo que os referentes a períodos de retorno grandes (50 e 100 anos) nos darem a ideia de estarem subestimados.

Assim, socorrendo-se dos factores de correcção estabelecidos por J. ROCHA<sup>1</sup>, para a região da Cova da Beira, através das relações encontradas pela comparação dos níveis de água máximos anuais observados na estação limnigráfica de Velhelhas com os calculados, a partir da metodologia aqui utilizada, mas para a mesma estação, obtiveram-se novos caudais de cheia para as várias secções da ribeira da Meimoa. Cabe, no entanto, apresentar os factores de correcção referentes a caudais de cheia associados a um dado período de retorno:

<sup>1</sup> ROCHA, J.; SOBRINHO, A. — «Sistematização fluvial da ribeira da Meimoa: regularização fluvial, controle de cheias e domínio de transporte sólido». Comunicação apresentada ao simpósio «A bacia hidrográfica portuguesa do rio Tejo» APRH, Lisboa, 37 p.

Períodos de retorno (anos)	Factor de correcção
100	1,61
50	1,33
10	0,80
2	0,35
1	0,30

A afectação dos factores de correcção aos caudais de cheia inicialmente calculados processa-se de acordo com o exemplo que se apresenta referente ao troço MI.

Período de retorno (anos)	Caudal de cheia (m <sup>3</sup> /s)		Factor de correcção	=	Caudal de cheia corrigido (m <sup>3</sup> /s)
10	1130	x	1,61	=	1819
0	1069	x	1,33	=	1422
50	795	x	0,80	=	636
10	520	x	0,35	=	182
2					

As correcções introduzidas permitiram o estabelecimento de curvas de vazão válidas para cada um dos troços analisados neste estudo, conforme se verá no capítulo 5, de forma a traduzirem o mais fielmente possível a variação das alturas de água e dos caudais escoados numa dada secção de controle de um curso de água.

A necessidade de se dispor de curvas de vazão ajustadas a caudais de cheia muito frequentes, por exemplo, para períodos de retorno de 1 ano, conduziu ao cálculo daqueles caudais através da relação cheias regionais — curva de frequências, estabelecida por T. DALRYMPLE<sup>1</sup>. Para esse efeito seguiram-se os passos seguintes em relação ao troço MI:

1.º PASSO (relação entre o caudal específico associado a um determinado período de retorno e o caudal específico correspondente ao da cheia média anual, cujo período de retorno é de T = 2,33 anos).

#### TROÇO MI

$$A = 478 \text{ km}^2$$

T (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	q/q <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
100	1130	2,364	2,171
50	1069	2,236	2,053
10	795	1,664	1,528
2	520	1,089	1,000

Nota: Considerou-se como caudal de cheia média anual o correspondente a um período de retorno T = 2 anos.

<sup>1</sup> DALRYMPLE, T. «Flood characteristics and flow determination». «*Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company New York 1964 pp. 25.1-25.33.

2.º PASSO (determinação do coeficiente da relação  $q_1/q_2$ )

Obtiveram-se os coeficientes da relação  $q_1/q_2$  por meio de ajustamento de rectas aos pontos  $q/q_2$  representados em papel bi-logarítmico.

$$T = 1 \quad \frac{q_1}{q_2} = 0,775 \quad q_1 = 0,775 \times 1,089 = 0,844 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

$$q_2 = 1,089 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \quad Q_1 = 0,844 \times 478 = 403 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 478 \text{ km}^2$$

3.º PASSO (correção do caudal de cheia calculado)

Período de retorno (anos)	Caudal de cheia ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Factor de correção	Caudal de cheia Corrigido ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1	403	0,30	421

4. ESTUDO DO REGOLFO

Por regolfo entende-se a superfície livre da água quando animada de um movimento gradualmente variado. O seu cálculo permite determinar os níveis atingidos pelo escoamento, conhecida a forma, a rugosidade e os caudais de cheia dos cursos de água.

Na realidade, no curso de água em estudo, as cheias ocorrem com uma variação relativamente rápida de caudais e, por conseguinte, dos níveis atingidos pela água, provocando ondas de cheia que, na sua propagação, se deformam ao longo dos vales de inundação.

Para o cálculo do regolfo intervêm os seguintes elementos fundamentais:

— forma (geometria): a escolha das secções transversais de qualquer curso de água, a considerar no cálculo acima referido, deve atender aos seguintes factores:

— mudança brusca da inclinação longitudinal do leito do curso de água

— contracção ou expansão do canal

— confluências de cursos de água importantes

— variações bruscas na rugosidade dos leitos

— acidentes nos cursos de água como açudes, pontes, esporões, entre outros.

O intervalo entre secções transversais influi no grau de precisão do cálculo, tendo-se considerado um afastamento de 2 km entre os perfis transversais levantados a partir dos mapas à escala 1:2.000.

— rugosidade: para a Meimoa utilizam-se os seguintes valores de rugosidade ( $k_s$ ), extraídos de uma tabela<sup>1</sup>, atendendo-se ao conhecimento que se possui da área em estudo:

<sup>1</sup> LENCASTRE, A. — «Hidráulica Geral: Hidroprojecto. Lisboa, 1983. 654 p.

Troço	Coeficientes de rugosidade (ks)	
	Leito menor	Leito maior
M1	35	15
M2	35	15
M3	35	15

A importância da rugosidade no processo de cálculo do regolfo relaciona-se com os factores que afectam a resistência ao escoamento e que são a dimensão e a forma dos elementos rugosos, a densidade e o espaçamento entre elementos.

— caudais de cheia: foram considerados caudais em regime permanente (em que as características do escoamento em cada ponto são independentes do tempo), correspondentes às pontas das cheias, dos quais já se fez referência no capítulo anterior.

O cálculo das curvas de regolfo aqui utilizado baseia-se no método das diferenças finitas, o qual consiste numa aplicação directa do teorema de Bernoulli conjugado com as perdas de energia, que se pode exprimir através da seguinte equação:

$$Z_2 + E_{c2} = Z_1 + E_{c1} + \Delta H + \Delta H_c$$

em que:

- $E_{c1}$  — altura cinética do escoamento na secção de jusante;
- $E_{c2}$  — altura cinética do escoamento da secção de montante;
- $Z_1$  — cota da superfície livre do escoamento na secção de jusante;
- $Z_2$  — cota da superfície livre do escoamento na secção de montante;
- $\Delta H$  — perda de carga por atrito entre secções do escoamento;
- $\Delta H_c$  — perda de carga devida a variação brusca da geometria da secção transversal do escoamento.

A adaptação deste método ao cálculo automático para uma calculadora HP 9830 A, em linguagem BASIC, foi da responsabilidade de J. ROCHA, após alterações introduzidas no programa HEC 2 — CÁLCULO DE CURVAS DE REGOLFO, já de si modificado pelo LNEC.

O processamento dos dados, que consistem fundamentalmente em elementos característicos da geometria das secções de escoamento do curso de água, da sua rugosidade e dos caudais de cheia permite a determinação das cotas de cheia em cada secção do troço analisado, bem como a velocidade média do escoamento e a inclinação da superfície livre da água (linha de energia).

A título de exemplo cabe referir que os troços M1, M2 e M3 compreenderam 6, 8 e 8 secções de cálculo respectivamente.

A forma como a informação (dados) é introduzida compreende 4 matrizes a saber:

- (X) — Dos pontos notáveis das secções transversais ao escoamento
- (L) — Das distâncias das secções à secção de referência, números dos pontos de transição para os leitos maiores esquerdo e direito e número do ponto das cotas de fundo do leito.
- (Z) — Das cotas de fundo do leito.
- (K) — Dos coeficientes de rugosidade.

O processo de cálculo obedece à seguinte sequência, de acordo com as instruções do programa adaptado por J. ROCHA:

«1.º PASSO: A profundidade é calculada a partir do aumento do nível de água determinado com a inclinação da linha de energia da secção anterior.

2.º PASSO: A mesma profundidade é calculada a partir do aumento da linha de energia pela média das inclinações da linha de energia da secção a calcular e a da de jusante já previamente determinada, visto que o cálculo se desenvolve de jusante para montante».

O segundo passo é repetido sucessivamente até que a diferença entre duas profundidades, calculadas sucessivamente, sejam inferiores a um erro máximo admissível previamente escolhido e que no presente estudo foi de 1 cm.

Para o cálculo do troço M1, de jusante, houve que determinar as cotas correspondentes aos caudais considerados neste estudo, ou seja:

Período de retorno T(anos)	Caudal de cheia Q(m <sup>3</sup> /3)	Cotas de cheia Z(m)
100	1130	396,8
50	1069	396,7
10	795	396,4
2	524	396,0
	400	395,8
	300	395,6
	100	395,4

Estas cotas obtiveram-se achando a média das cotas obtidas através da expressão de Manning-Strickler, representativa do escoamento em regime uniforme, para dois coeficientes de rugosidade (Ks) diferentes (hipótese 1:Ks = 20 e hipótese 2:Ks = 30) e a partir das características hidráulicas da secção de jusante, que inicia o cálculo do regolho na ribeira da Meimoa.

TROÇO MI — SECÇÃO KM 0,4 DA RIBEIRA DA MEIMOA

Cota Z(m)	Área A(m <sup>2</sup> )	Perímetro P(m)	Raio hidráulico R(m)	R <sup>23</sup>	AR <sup>23</sup>
391,8	0	0	0	0	0
392,0	0,59	6,05	0,098	0,212	0,125
392,5	4,38	9,50	0,461	0,597	2,615
393,0	9,81	12,95	0,758	0,831	8,152
393,5	16,64	15,50	1,074	1,049	17,455
394,0	24,56	18,00	1,364	1,230	30,209
394,5	60,06	126,20	0,476	0,610	36,637
395,0	191,31	371,20	0,515	0,642	122,821
396,0	596,31	441,40	1,351	1,222	728,691
397,0	1054,31	469,40	2,246	1,715	1808,142

A partir das características hidráulicas da secção KM 0,4, foi possível estabelecer uma relação do tipo  $AR^{23}f(Z)$ . Não tendo sido possível ajustar um único troço de curva a todos os pontos, obteve-se um bom ajustamento através de uma curva constituída por dois troços que se interceptam à cota 394,59.

As equações da curva são as seguintes:

— troço inferior  $AR^{23} = 6,228(Z - 391,9)^{2,06}$

— troço superior  $AR^{23} - 36,138(Z-393,5)^{3,17}$

A partir da equação de Manning-Strickler,

$$Q = AR^{23} K_s I^{1/2}$$

em que:

Q — caudal (m<sup>3</sup>/s)

A — secção molhada (m<sup>2</sup>)

R — raio hidráulico (m)

K<sub>s</sub> — coeficiente de rugosidade (adimensional)

I — inclinação da superfície livre da água (adimensional)

pode-se calcular, para um dado caudal, a cota correspondente atingida pela água.

Assim, por substituição dos caudais de cheia na equação de Manning-Strickler, pode determinar-se o parâmetro  $AR^{23}$ , em virtude de serem conhecidos, além do caudal, o coeficiente de rugosidade e a inclinação da superfície livre da água. A propósito cabe referir que o valor da inclinação considerada foi de  $I = 0,000923$ , obtida através de medição da inclinação do perfil longitudinal na secção KM 0,4, a montante da confluência da ribeira da Meimoa com o rio Zêzere. Como já atrás ficou referido, para verificar a sua influência na cota da água, consideraram-se dois valores do coeficiente de rugosidade,  $K_s = 20$  e  $K_s = 30$ , na expressão anterior, que conduziram a cotas diferentes para o mesmo caudal.

Obtidos os valores dos parâmetros  $AR^{23}$  calculam-se as correspondentes cotas, através da sua substituição nas equações estabelecidas, do tipo  $AR^{23}f(H)$ .

Apresentam-se os valores das cotas obtidas de acordo com as duas hipóteses de  $K_s$  consideradas bem como o seu valor médio, adoptado neste estudo.

Q (m <sup>3</sup> /s)	Z (m); $K_s = 20$	Z (m); $K_s = 30$	$\bar{Z}$ (m)
1130	396,97	396,55	396,8
1069	396,91	396,50	306,7
795	396,61	396,23	396,4
520	396,22	395,89	396,0
400	396,00	395,70	395,8
300	395,78	395,51	395,6
200	395,51	395,27	395,4

Para o cálculo dos troços seguintes estabelece-se uma curva de vazão para a penúltima secção e determinam-se as cotas correspondentes a cada caudal de cheia considerado.

Obtém-se, desta forma, o conjunto de entradas necessárias para se fazer correr o programa de cálculo das curvas de regolfo,

##### 5. DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS

O principal problema na determinação das áreas inundadas nos vales dos cursos de água naturais reside na complexidade da sua topografia. Apenas os conhecimentos dos caudais de cheia é, em geral, insuficiente para uma análise das inundações. Não existe uma relação simples entre a profundidade da água no vale de inundação e o valor do caudal porque a propagação da onda de cheia está na dependência da topografia daquele.

O melhor método para a determinação das áreas inundáveis consiste em levantamentos fotográficos utilizando filmes sensíveis na banda do infravermelho próximo, que permite delimitar a área de inundação até cerca de 4 dias após a ocorrência da ponta de cheia.

Além da observação directa da extensão das áreas inundadas outro método possível para a sua determinação consiste no seu cálculo teórico, apoiado e controlado por marcas de cheia normalmente existentes nalguns pontos notáveis do terreno.

O método teórico mais rigoroso consiste em, a partir do regolfo calculado ou do estudo de propagação da cheia, marcar, nos mapas topográficos os pontos de intersecção do nível de água calculado para cada secção de cada troço considerado, com o terreno. Posteriormente, através da união desses pontos obtém-se a Unha limite de inundação.

Para se conseguir, através deste método, uma representação rela-

tivamente precisa da área inundável, necessário seria efectuem-se cálculos para um grande número de secções ou então proceder a uma criteriosa interpolação entre os pontos obtidos para cada secção considerada no presente estudo. A distância entre secções utilizadas no cálculo do regolfo da ribeira da Meimoa é de cerca de 2 km, caso não se verifiquem acidentes ou singularidades no seu leito, daí resultando que as interpolações não sejam de fácil execução (figura 5).

Assim, tomando como exemplo a figura 5, verifica-se que nela estão representados quatro limites de cheia, uma das quais cartografada localmente (Dezembro de 1977) e três calculadas analiticamente.

Verifica-se que a cheia observada possui um traçado bastante mais irregular do que as restantes por várias razões: uma será o carácter subjectivo do observador, outra será a interferência de diversos acidentes topográficos ou obras de protecção contra cheias como, por exemplo, murachões ou valas que desviam localmente o sentido do escoamento, poupando determinadas áreas do facto de poderem ser inundadas. Já os limites das cheias calculadas, quase se sobrepõem, independentemente do seu período de retorno (2, 10 e 100 anos), em virtude das características topográficas do vale, fundo quase plano marginado por vertentes convexas, fazer com que as inundações o afectem praticamente em toda a sua extensão. Abre-se excepção para as áreas de confluência dos cursos de água afluentes à ribeira da Meimoa.

Um aspecto do que atrás ficou afirmado em relação às dificuldades existentes com as interpolações das obras atingidas pelas cheias entre secções de cálculo contíguas reside no facto de não se considerar a interferência de obstáculos naturais como pequenas saliências no terreno, não devidamente representadas no mapa ou das obras de protecção contra cheias, como ainda da própria vegetação.

Em virtude desses condicionamentos, optou-se pela aplicação complementar de um método muito mais expedito, desenvolvido por J. ROCHA em «*Damages caused by floods on gravel bed rivers. XII European Regional Conference of ICID. Dubrovnik*» do qual se faz descrição dos aspectos mais importantes.

A aplicação do referido método pode ser efectuada independentemente do conhecimento da curva de vazão pois consiste apenas em determinar uma curva que relaciona as profundidades de escoamento, na ribeira da Meimoa, com a área inundável correspondente. A união desta curva com a curva de vazão permite determinar a área inundável para um dado caudal de cheia.

O cálculo analítico das áreas inundáveis por esta via é baseado em duas hipóteses gerais:

- o caudal, em cada cheia analisada é permanente;

— o curso de água apresenta o fundo com inclinação constante; e uma hipótese particular:

— para cada caudal, a área total de inundação é aproximadamente a mesma que se obtém, ao considerar-se o curso de água composto por «degraus planos» conforme se esquematiza na figura 6.

Esta última hipótese permite uma integração relativamente simples da influência da topografia nos cálculos a efectuar. Com efeito, quando a inclinação do curso de água não é muito elevada e a «altura do degrau» (figura 6) é apropriada, a área inundada real em cada «degrau plano», e para cada profundidade de escoamento (ou caudal), é aproximadamente a mesma da que se obtém por medição no mapa topográfico, da área limitada pelas correspondentes curvas de nível. Isto é equivalente a considerar em cada «degrau plano», a superfície da água horizontal, e portanto a área inundada correspondente, projectada no mapa.

Este método é baseado na hipótese de que o menor valor da área inundada calculada na parte de montante de cada «degrau plano» é compensado pelo valor excessivo calculado na parte de jusante do mesmo. Da sua aplicação resultam, regra geral, valores ligeiramente superiores aos reais.

No presente estudo foi considerada uma «altura de degrau» igual a 1 metro. Como as inclinações mais frequentes do leito da ribeira da Meimoa são de 2% e 5%, tal facto corresponde em média a «comprimentos longitudinais do degrau» de 500 m e 200 m, respectivamente.

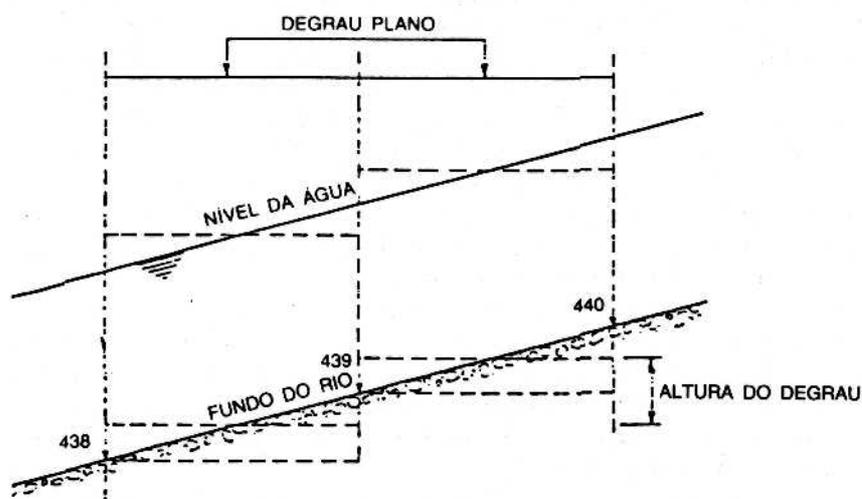
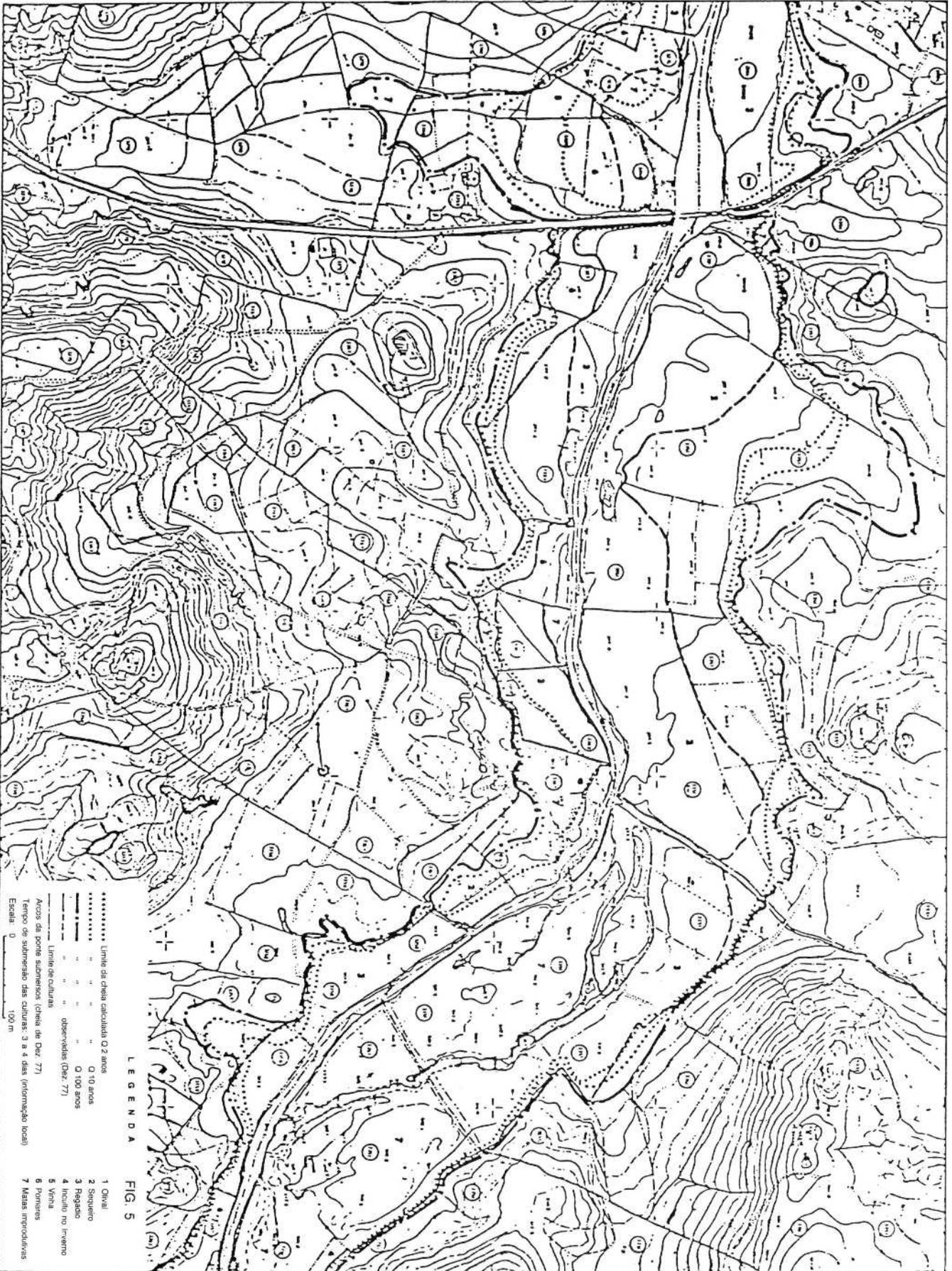


Fig. 6 — Esquema dos «Degraus Planos»

Fonte: J. ROCHA in "Damages caused by floods on gravel bed rivers"



LEGENDA FIG. 5

- ..... Limite de chieira calculado 0,2 anos
  - ..... 0 10 anos
  - ..... 0 100 anos
  - ..... observadas (dez. 77)
  - ..... Limite de culturas
  - ..... Acios da ponte submersos (chieira de Dez. 77)
  - ..... Tempo de submersão das culturas: 3 e 4 dias (informação local)
  - ..... Escala 0 100m
- 1 Ovale
  - 2 Siquero
  - 3 Regado
  - 4 Inculto no terreno
  - 5 Vinha
  - 6 Pomares
  - 7 Matas improdúctivas

Facilmente se verifica que o trabalho para determinar as linhas de igual profundidade é diminuído, porque estas linhas, em cada «degrau plano», são as curvas de nível do mapa topográfico à escala 1:2.000.

É evidente que o método descrito não permite um cálculo muito rigoroso da profundidade do escoamento em cada ponto do leito de inundação, mas, e isto é o mais importante avalia na sua globalidade as áreas inundáveis.

As relações, profundidade ou altura do escoamento — área inundada entre outras, estabelecidas para os três troços encontram-se representadas nas figuras 7 e 9 que permitem uma avaliação rápida do tipo de inundação ocorrida. No capítulo 6 desenvolve-se em pormenor a aplicação do modelo de avaliação de danos.

## 6. DANOS CAUSADOS PELAS INUNDAÇÕES

A estimativa dos danos causados pelas inundações constitui um dado essencial para o estabelecimento da relação custos-benefícios a prever na região que está a ser objecto de estudo.

Por outro lado, a concepção de uma forma económica de intervenção na defesa ou previsão das inundações implica um conhecimento tão perfeito quanto possível da dimensão dos danos provocados por fenómenos daquela natureza.

Questões como:

Aonde ocorreu a cheia?

Quantos hectares foram atingidos?

Qual o tempo de submersão?

Qual o estado das culturas?

devem encontrar resposta adequada, de forma a permitir uma melhor forma de exploração do solo, menos sujeita a riscos de carácter aleatório como são as cheias.

No que respeita às inundações, e no caso concreto da ribeira da Meimoa, foram estimadas as áreas do vale submersas, através de estudos de simulação e de observação local.

Em virtude de se estar a desenvolver a região de Cova da Beira sob o ponto de vista hidroagrícola, através da execução de importantes obras de fomento verificou-se ser interessante avaliar o risco que se correria ao projectarem-se, por exemplo, sistemas de rega desprovidos de qualquer defesa ou ainda apresentar soluções deficientemente dimensionadas em relação às reais necessidades.

Para a estimativa dos danos torna-se indispensável considerar:

— o fenómeno hidráulico, através de medições dos níveis atingidos pela água nos terrenos sujeitos a inundações

— o fenómeno agrícola, associando profundidades e durações da

inundação a perdas, por exemplo, expressas em percentagens da produção que se esperaria caso não ocorresse inundação;

— o fenómeno económico que, além de uma simples multiplicação do valor do preço unitário da produção agrícola afectada pela inundação de determinada área, deve também atender aos danos indirectos e talvez aos intangíveis.

Importa, antes de mais, definir as três categorias de danos consideradas:

— danos directos: correspondem à destruição, parcial ou total, de qualquer estrutura, habitação, cultura agrícola, entre outros; constituem uma perda definitiva;

— danos indirectos: correspondem ao impedimento de utilização de qualquer estrutura, interrupções da produção, desvios de itinerários;

— danos intangíveis: não são facilmente ou são mesmo impossíveis de contabilizar, tais como mortes na população, destruição de locais históricos, monumentos nacionais e objectos de arte, além de danos morais e psicológicos, entre outros.

Apesar dos escassos dados de base existentes foi efectuada uma estimativa dos danos provocados por inundações na ribeira da Meimoa, de acordo com a utilização de um modelo de avaliação de danos.

Nesse modelo sintetiza-se toda a informação hidrológica e topográfica em três quadrantes do diagrama ortogonal (figuras 7 a 9), começando pela curva de frequência de caudais.

No quadrante preenchido pela relação frequência-caudais encontram-se representadas duas curvas de frequência de caudais, uma a cheio e outra a tracejado. A que está a cheio engloba o conjunto de valores referentes aos caudais de cheia calculadas numa primeira aproximação, ao passo que a que se representa a tracejado, corresponde um ajustamento em relação aos caudais de cheia corrigidos.

A curva da frequência de caudais corrigida permite, para um dado período de retorno, conhecer o caudal que lhe está associado e este, projectado da curva de vazão para o eixo das alturas de água, determinar a que lhe corresponde, através da relação  $Q = f(H)$ .

Sabendo-se qual a altura de água ou profundidade do escoamento, facilmente se pode avaliar a extensão da área inundada pela intersecção daquele valor com a curva representativa da relação  $A = f(H)$ .

Resta associar às áreas inundáveis ou inundadas os danos potenciais ou reais, registados nas diversas culturas existentes (figuras 7 a 9).

Para a contabilização desses danos, torna-se necessário conhecer o tipo de ocupação agrícola praticado durante o período da inundação e, se possível, num futuro próximo.

Essa informação é deveras importante em virtude de vir a permi-

tir determinar os efeitos que certa cultura possa vir a suportar em função do período do ano em que ocorra a inundação, da sua magnitude, do impacto da velocidade de escoamento nos terrenos agrícolas e do tempo de submersão das culturas.

Para cada um dos troços em que se dividiu o vale da Ribeira da Meimoa condensou-se no diagrama ortogonal respectivo (figuras 7 a 9) um conjunto de informações que permitiu estabelecer as seguintes relações: período de retorno — caudal de cheia; caudal de cheia — profundidade do escoamento; profundidade do escoamento — área inundável como já ficou atrás referido, mas também área inundável — danos e danos — períodos de retorno.

A principal dificuldade do diagrama ortogonal reside na obtenção da relação área inundável — danos. Cabe ainda acrescentar que nos diagramas referentes aos três troços são apresentadas tantas relações danos — período de retorno.

A fim de proceder à última fase da construção do modelo de avaliação de danos, foi empregue a seguinte metodologia:

— considerou-se inicialmente que a cada inundação corresponde uma perda na produção ou impedimento de produção, consoante aquela ocorrer próxima do período de colheita de determinada cultura ou vier a impedir por completo as operações de sementeira de uma espécie a cultivar;

— posteriormente, afectou-se o valor de perda total, consoante a sua probabilidade de ocorrência, a um coeficiente minorativo dos danos, proporcional à percentagem daqueles que na realidade podem vir a ocorrer.

Na primeira fase de cálculo o dano é igual à produção bruta existente no terreno inundado ou é igual ao rendimento líquido que poderia ser obtido, caso a sementeira tivesse sido efectuada.

Na segunda fase de cálculo e com base em estudos elaborados por SALAMIN referidos por POIRÉE e OLLIER<sup>1</sup> e na análise dos hidrogramas de cheia foi possível afectar os seguintes coeficientes minorativos:

- 50% às cheias com períodos de retorno de 10 a 100 anos
- 75% à cheia com o período de retorno de 2 anos
- 100% à cheia com o período de retorno de 1 ano

Nas figuras 7 a 9 representa-se a cheio a curva danos — período de retorno obtida numa primeira aproximação e a tracejado aquela relação mas já afectada dos coeficientes minorativos.

Para melhor compreensão do funcionamento do modelo de ava-

---

<sup>1</sup> POIRÉE, M.; OLLIER, C. — «Saneamento agrícola», ETA. Barcelona,

liação de danos, tome-se como exemplo o segundo troço da ribeira da Meimoa (troço M2).

Assim, ao considerar-se a possível ocorrência de um caudal de cheia para um período de retorno de 10 anos, verifica-se que o seu valor correspondente é da ordem dos  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ . A  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  corresponde uma altura de inundação em todo o troço M2, de cerca de 3,80 m. A 3,80 m de altura de água correspondem perto de 240 ha inundados. Os 240 ha inundados dão origem a danos nos valores de  $8 \times 10^6$  escudos e  $6,6 \times 10^6$  escudos, consoante se considere ou não produção. J a a rela o danos-freq encia não se consegue estabelecer com adequado rigor para este caso era virtude de não ter sido possível calibrar devidamente o modelo.

Observa es conduzidas no campo, logo após a ocorrência da cheia de Dezembro de 1977 (rela o-área inundável-danos) demonstram que os danos, classificados segundo duas categorias (com produção e sem produção) e repartidos por cada uma das margens abrangem uma gama de valores variando de  $2,5 \times 10^6$  escudos a  $10 \times 10^6$  escudos. De acordo com a rela o danos-freq encia obtida em primeira aproxima o, os prejuízos variam entre  $5,5 \times 10^6$  escudos e  $9 \times 10^6$  escudos (figuras 7 a 9).

Confirma-se pois a impossibilidade de se obterem valores dignos de confiança para períodos de retorno iguais ou superiores a 10 anos no quadrante inferior esquerdo dos diagramas ortogonais de acordo com a metodologia utilizada até ao presente momento.

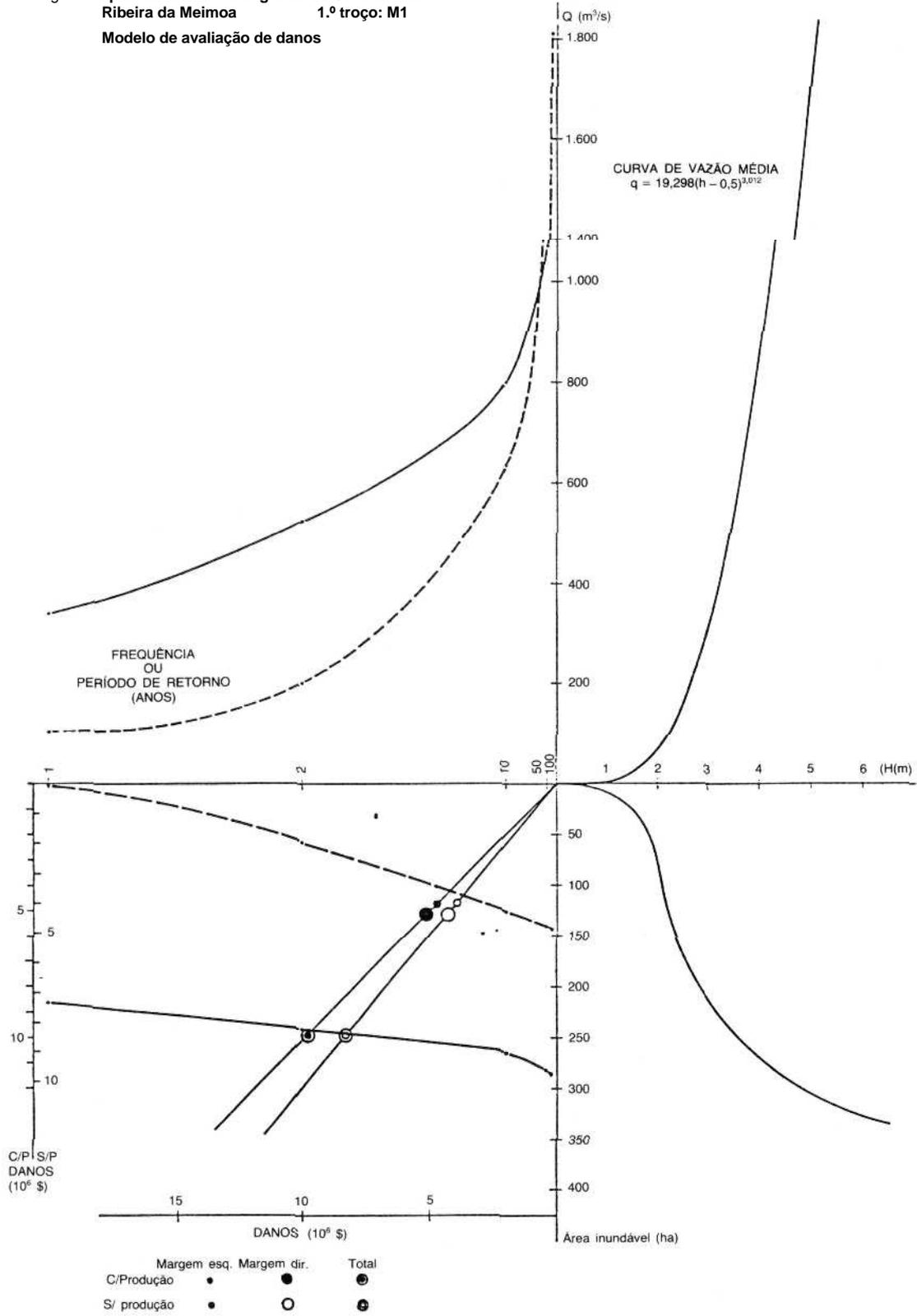
Contudo, numa nova tentativa baseada noutra metodologia foi possível construir novo diagrama para o troço M2, considerando três cenários alternativos:

- curso de água natural;
- com regulariza o do leito (dragagem);
- com diques longitudinais.

Na figura 10 sintetiza-se a nova informa o e verifica-se que se obteve uma nova curva, representativa da rela o danos-freq encia. Esta foi a resultante de um processo moroso de medi o sobre o mapa topográfico 1:2.000 das áreas afectadas por cheias associadas aos períodos de retorno considerados no presente estudo, nos quais foi possível contabilizar os respectivos danos.

Esta versão do modelo de avalia o de danos já se pode considerar satisfatória embora os valores dele resultantes, especialmente danos, devam ser encarados com certas reservas pois aquele exige novos testes de aferi o. Julga-se, no entanto, válida a quantifica o dos danos por esta via a qual permitirá analisar o valor relativo das várias alternativas para prevenir ou mitigar a ocorrência de inunda es nos campos marginais   ribeira da Meimoa.

Fig. 7 - Aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira  
 Ribeira da Meimoa 1.º troço: M1  
 Modelo de avaliação de danos



Uma leitura do diagrama não apresenta problemas de maior. Por exemplo, uma cheia com uma frequência  $F(x) = 0,5$  à qual corresponde um período de retorno de 2 anos apresenta um valor de  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ; a profundidade do escoamento, consoante o curso de água esteja regularizado ou não, (situação actual), corresponde a 2 ou 2,4 m; essas profundidades de escoamento dão lugar a áreas inundadas de 100 e 135 ha, respectivamente. Os danos correspondem ao integral da área definida pela respectiva curva de frequência de danos limitada pelo valor da probabilidade de ocorrência da cheia.

Para a inundação de 1977 contabilizaram-se os danos médios anuais por hectare considerando que aquela foi produzida por uma cheia com uma probabilidade de ocorrência muito próxima de um período de retorno  $T = 100$  anos.

A reparti o dos danos pelas respectivas áreas afectadas d  origem aos seguintes valores para cada um dos troços, da ribeira da Meimoa, estudados:

$$\begin{aligned}
 1.^\circ \text{ troço} & \quad \frac{2100 \times 10^3 \text{ escudos}}{240 \text{ ha}} = 8\,750 \text{ escudos/ha} \\
 2.^\circ \text{ troço} & \quad \frac{1620 \times 10^3 \text{ escudos}}{210 \text{ ha}} = 7\,700 \text{ escudos/ha} \\
 3.^\circ \text{ troço} & \quad \frac{2550 \times 10^3 \text{ escudos}}{340 \text{ ha}} = 7\,500 \text{ escudos/ha}
 \end{aligned}$$

As áreas inundadas para cada troço (M1 a M3) correspondem a uma submersão de uma toalha de água com cerca de 3,5 m de altura.

A compara o entre as áreas inundadas durante a cheia de 1977 e as que se obt m para uma altura de água com 3,5 m através de cálculo analítico permite concluir da sua relativa semelhança, o que nos leva mais uma vez a afirmar que a cheia observada corresponde a um período de retorno próximo de  $T = 100$  anos.

Verifica-se, contudo, que após várias tentativas para se estabelecer um modelo de avalia o de danos por processos puramente analíticos, tal se revelou impossível sem o correspondente apoio de campo. Este  , a nosso ver, indispensável nas fases de constru o e aferi o do modelo. Em síntese, pode afirmar-se que ambos os métodos — analítico e de observa o de campo — se complementam, possibilitando um diagnóstico rápido de situa o, no que se refere   contabiliza o de danos em terrenos agrícolas, provocados por inunda es (quadro 2).

As inundações da ribeira da Meimoa

Quadro 2 — RIBEIRA DA MEIMOA  
ÁREAS INUNDADAS (ha)

Troço	Áreas Inundadas — cálculo analítico			Inundação 1977	
	altura de água (m)	margem esquerda (ha)	margem direita (ha)	margem esquerda (ha)	margem direita (ha)
M1	3,5	118,1	122,7	113,2	113,6
	2,5	76,7	83,4		
	1,5	7,7	16,4		
	0,5	0,6	0,4		
M2	3,5	90,3	121,3	74,0	90,4
	2,5	68,3	73,4		
	1,5	27,2	19,8		
	0,5	2,5	3,6		
M3	3,5	140,8	203,3	188,2	127,7
	2,5	62,4	105,2		
	1,5	8,3	36,3		
	0,5		1,0		

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A defesa contra as cheias na ribeira da Meimoa, como de resto em qualquer outro curso de água deve consistir numa série de medidas e ações que, quando combinadas convenientemente, permitem diminuir de forma económica os prejuízos causados pelas inundações.

De um modo simples as medidas de defesa contra as cheias podem dividir-se em três grandes tipos:

- medidas estruturais intensivas;
- medidas estruturais e biológicas extensivas;
- medidas administrativas.

As medidas estruturais intensivas pretendem fundamentalmente confinar, reter ou canalizar a água durante as cheias e consistem:

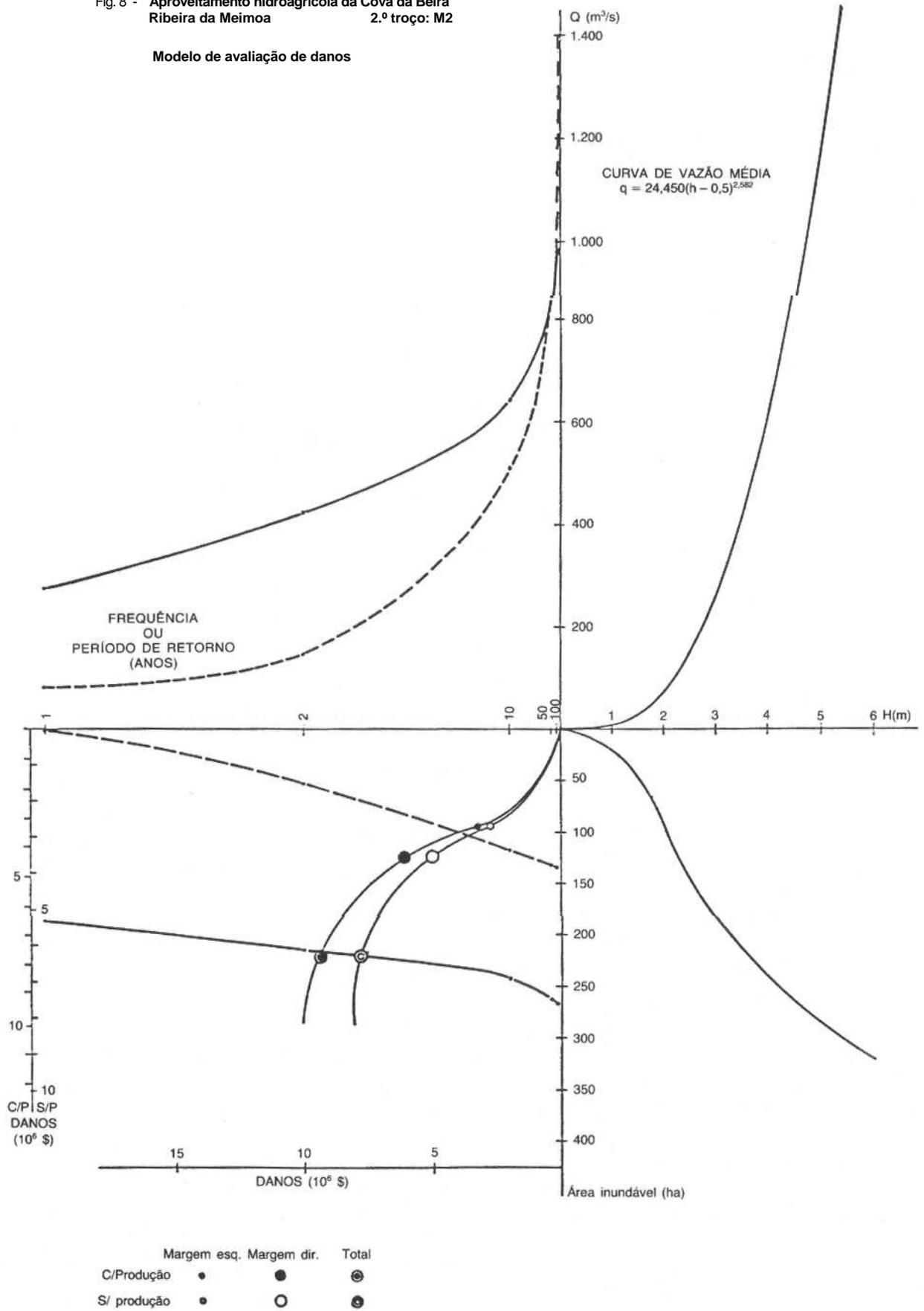
— na construção, em locais criteriosamente escolhidos, de diques longitudinais ou de barragens, estas últimas de modo a criar albufeiras de armazenamento ou de amortecimento.

- no aumento da capacidade de escoamento da ribeira;
- no desvio temporário de parte do caudal de cheia.

No caso da ribeira da Meimoa, a construção da barragem do mesmo nome não vem evitar a contribuição, para as cheias, das bacias a jusante e além do mais domina apenas 10% da bacia total. A barragem da Meimoa cria uma albufeira com a capacidade total de  $64,1 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Capacidade útil de  $29,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Atendendo a que o

Fig. 8 - Aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira  
Ribeira da Meimoa 2.º troço: M2

Modelo de avaliação de danos



escoamento médio anual afluente é de  $34,2 \times 10^6 \text{ m}^3$  obtém-se um coeficiente da regularização de 0,86.

As medidas estruturais e biológicas extensivas visam o controle das cheias, por intermédio da construção de obras de correcção torrencial, florestação, aumento de pastagens entre outras.

As medidas administrativas estabelecem normas de ocupação do solo as quais deverão ser criteriosamente aplicadas de forma a permitirem a sua utilização racional e equilibrada. O zonamento de uma planície de inundação constitui uma medida administrativa, cujo estabelecimento se relaciona com a minimização de determinados riscos relacionados com a ocorrência de catástrofes naturais. Entre nós, o seguro de colheitas pode ser considerado como uma importante medida administrativa de controlo de danos potenciais através da transferência para outrém da aleatoriedade da actividade agrícola.

Todas estas medidas combinadas poderão ser traduzidas através duma expressão do tipo:

$$\text{MAX} \left[ \sum_{i=1}^n \delta^e \text{BL}^e + \sum_{j=1}^n \delta^f \text{BL}^f + \sum_{k=1}^1 \delta^a \text{BL}^a + (\sum_{i=1}^n \delta^e D^e + \sum_{j=1}^n \delta^f D^f + \sum_{k=1}^1 \delta^a D^a) \right]$$

em que:

$\delta_i^e, \delta_j^f, \delta_k^a$  — são indicadores digitais com o valor 1 ou 0 indicando se uma medida é ou não incluída na

solução final.

$i, j$  e  $k$  — são índices que indicam as variantes de cada um dos respectivos tipos de solução:

- $e$  — estrutural intensiva;
- $f$  — estrutural e biológica extensiva;
- $a$  — administrativa,

com o número máximo de  $m, n$  e  $1$ .

$\text{BL}$  — é o benefício líquido anual espectável

$D$  — é a deseconomia externa, positiva ou negativa, que resulta da associação de várias medidas.

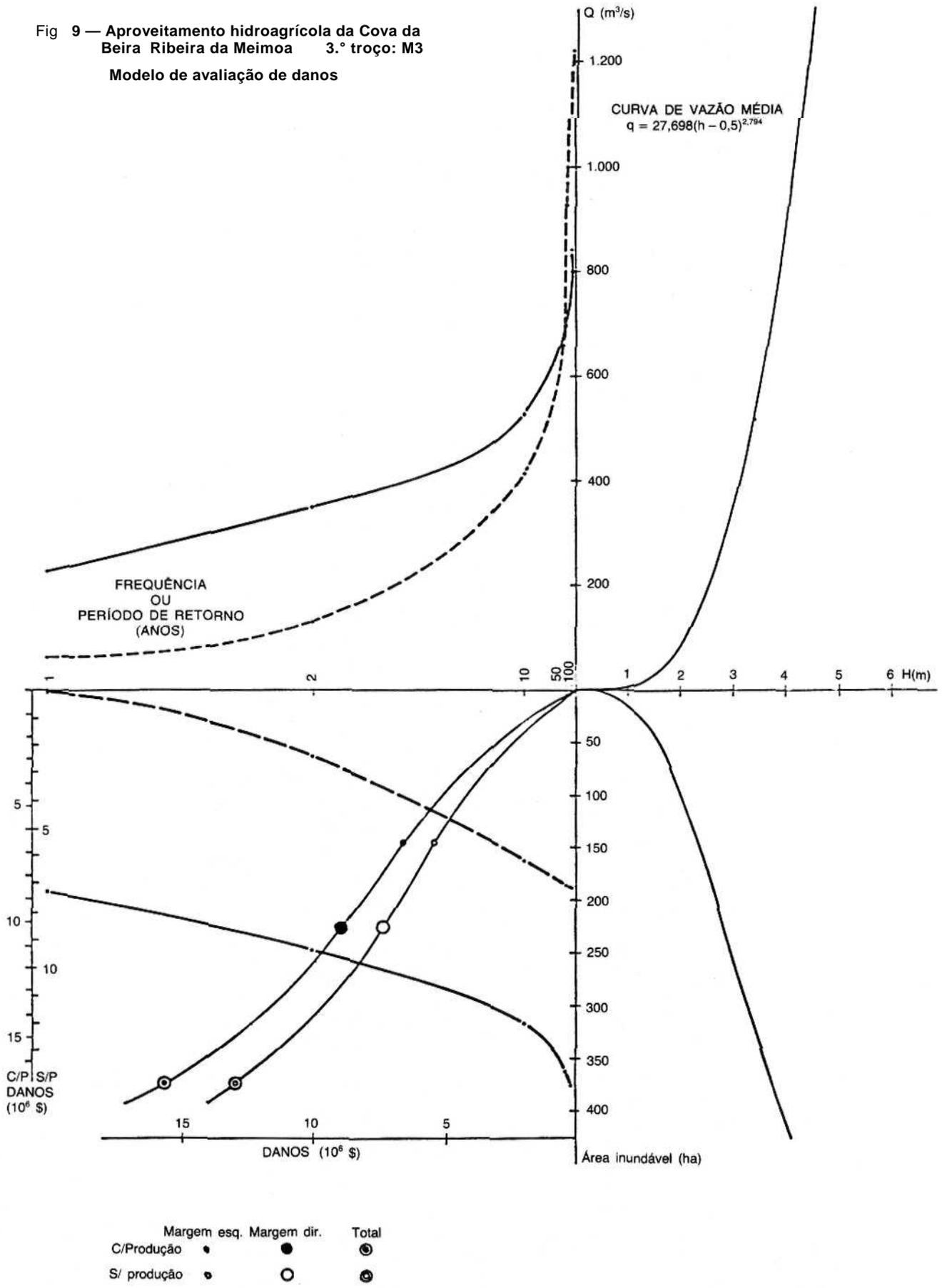
Os vários arranjos combinatórios dependem dos valores de  $m, n$  e  $1$  e a existência de um grande número implica, para uma solução geral, a utilização de sofisticada técnica de programação dinâmica.

Não se dispõe de elementos capazes para desenvolver o estudo até uma análise mais aprofundada sobre a relação benefícios-custos associada a um projecto. Contudo, acções deste tipo relacionadas com a avaliação de impactos económicos e sociais numa região em vias de desenvolvimento deverão ser considerados de uma forma mais madura num futuro próximo.

## BIBLIOGRAFIA

- COBA — «Aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira. Memória Descritiva.» Lisboa, 1978.  
«Aproveitamento dos recursos hidráulicos do Maciço da Serra da Estrela (Vertentes dos rios Mondego e Zêzere). Esquema geral. A — Inventário dos recursos hídricos. Volume I. Climatologia e hidrologia. Aguas superficiais». Tomo 1.4 Memória. Lisboa, 1979, 82 p.
- DALRYMPLE, T. — «Flood characteristics and flow determination» «*Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill Book Company. New York, 1964. pp. 25.1-25.33
- DAVEAU, S. et alia — «Répartition et rythme des précipitations au Portugal» Centro de Estudos Geográficos. Lisboa, 1977. 192 p. e 3 mapas.
- DGRAH — «Avaliação económica do aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira, Portugal (1.ª fase ampliada)». Fundão, 1977.
- LENCASTRE, A. — «Hidráulica Geral». Hidroprojecto. Lisboa, 1983. 654 p.
- POIRÉE, M.; OLLIER — «Saneamento agrícola». Eta. Barcelona, 1966.
- RIBEIRO, O. — «A Cova da Beira. Controvérsia de Geomorfologia». *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. Tomo XXX. Lisboa, 1949. pp. 4-23.  
Três notas de Geomorfologia da Beira Baixa». *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. Tomo XXX. Lisboa, 1949. pp. 5-30.
- ROCHA, J. — «Damages caused by floods on gravel bed rivers». *XII European Regional Conference of I.C.I.D.* Dubnovnik, 1979. pp. 115-120.
- ROCHA, J.; SOBRINHO, A. «Sistematização fluvial da ribeira da Meimosa; regularização fluvial, controle de cheias e domínio de transporte sólido». APRH. Lisboa, 1982. 37 p.

Fig 9 — Aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira Ribeira da Meimoa 3.º troço: M3  
Modelo de avaliação de danos



## RÉSUMÉ

### *Application d'un modèle d'évaluation de dommages agricoles Les inondations de la Meimoa (Cova da Beira)*

L'implantation du projet hydro-agricole de la COVA DA BEIRA aurait perdu son intérêt, si l'on avait pas prévu la protection des champs situés près des cours d'eau. Simultanément, la fréquence des inondations provoque de grands dommages dans l'agriculture locale.

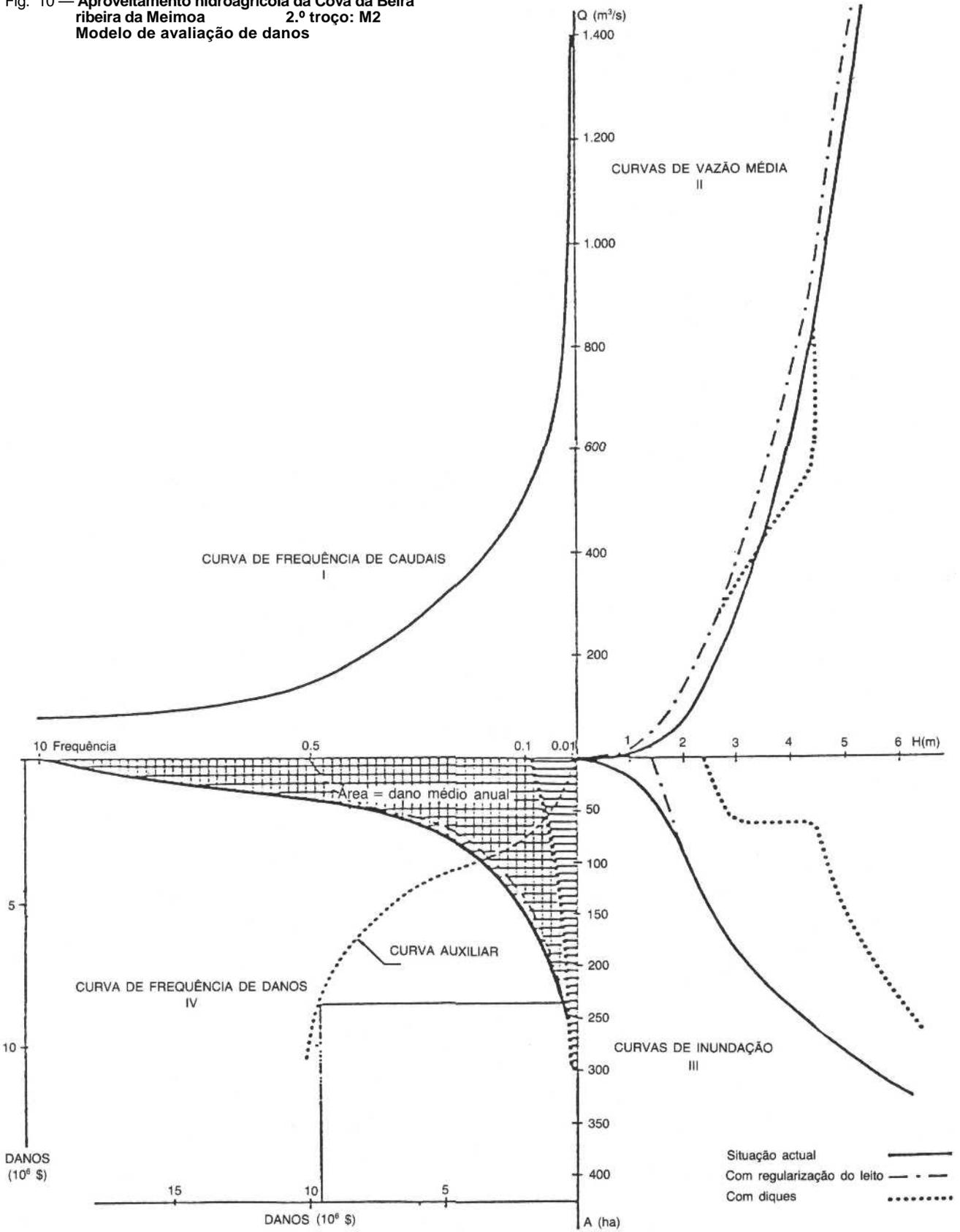
Le premier chapitre de cette étude, LA PROBLÉMATIQUE DES INONDATIONS, développe les aspects généraux des crues (génése, causes et conséquences) et aborde aussi les problèmes de leur fréquence, comme celle des inondations et l'importance des dommages. LA VALLÉE DE LA MEIMOA présente les principales caractéristiques des lieux et des activités agricoles. La partie sur LES CRUES DE LA MEIMOA décrit les processus de la mesure des crues et font la critique des résultats obtenus. L'ÉTUDE DU REMOUS donne les fondements théoriques qui déterminent la situation de crue. Le chapitre suivant présente la méthodologie utilisée pour LA DÉTERMINATION DES SURFACES INONDÉES. Dans LES DOMMAGES CAUSÉS PAR LES INONDATIONS, on explique les divers procédés qui ont conduit à l'élaboration d'un modèle d'évaluation des dommages. Les CONCLUSIONS FINALES exposent les alternatives de protection et de défense d'une plaine ou vallée d'inondation.

## ABSTRACT

The Hydroagricultural project in COVA DA BEIRA, which is about to be implemented, would be useless if the protection of the fields bordering the streams had not been foreseen. At the same time, the flooding frequency in the area has been causing considerable damage to local agriculture.

This study contains seven chapters; the first chapter — the problem of flooding — refers to general aspects of flood characterization, concerning its genesis, causes and consequences. Matters relating to peak discharges and flood frequency, as well as the magnitude of damage produced by the latter, are also discussed; in the second chapter — MEIMOA VALLEY — there is a description of the area under study together with a brief outline of the agricultural situation; in the third chapter — Ribeira da Meimoa floods — the flood estimation process is described and end results are criticized; in the fourth chapter — BACKWATER STUDY — a description is made of the theoretical basis on which water levels in a peak discharge situation are determined; in the fifth chapter — DETERMINATION OF FLOODED AREAS — the methodology used in the estimation of flood affected areas is presented; in the sixth chapter — DAMAGE CAUSED BY FLOODS — the different procedures that lead to the establishment of a model for the evaluation of damage are explained through hydrological and topographical information; in the last chapter — FINAL REMARKS — a number of alternatives for protecting and defending a flood prone area are enumerated.

Fig. 10 — Aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira  
 ribeira da Meimoa 2.º troço: M2  
 Modelo de avaliação de danos



Exemplo da relação múltipla entre frequência de ocorrência — caudal de cheia — profundidade de escoamento — área inundada — danos.