



## **CÂMARA MUNICIPAL DE MAFRA**

### **AVALIAÇÃO DO RISCO DE CHEIA E DE INUNDAÇÃO DO CONCELHO DE MAFRA**

#### **RELATÓRIO**

#### **ESTUDO APOIADO PELO QREN**



**PROGRAMA OPERACIONAL  
REGIONAL DE LISBOA  
PREVENÇÃO DE RISCOS**

**ACÇÕES IMATERIAIS / ESTUDOS, FINANCIADO A 50%**

Julho, 2009

## **AVALIAÇÃO DO RISCO DE CHEIA E DE INUNDAÇÃO DO CONCELHO DE MAFRA. RELATÓRIO**

### **APRESENTAÇÃO**

A Tetraplano, Engenharia, Lda. apresenta o Estudo “Avaliação de Risco de Cheia e de Inundação do Concelho de Mafra”, no âmbito do contrato que teve a honra de celebrar com a Câmara Municipal de Mafra.

O estudo é constituído pelo presente relatório, anexos com fichas de caracterização de secções de cálculo e três desenhos relativos aos Mapas de Inundação e Mapas de Risco.

A Tetraplano deixa expresso o seu reconhecimento e agradecimento pela colaboração prestada e pelo empenho dos técnicos da Câmara Municipal de Mafra e do Gabinete Municipal de Protecção Civil e Técnico Florestal que acompanharam o desenvolvimento dos trabalhos.

O estudo “Avaliação do risco de cheia e de inundação do concelho de Mafra” foi financiado em 50% pelo QREN – Programa Operacional Regional de Lisboa, Prevenção de Riscos – Acções imateriais /Estudos.

Lisboa, Julho de 2009

**TETRAPLANO**

## **AVALIAÇÃO DO RISCO DE CHEIA E DE INUNDAÇÃO DO CONCELHO DE MAFRA**

### **ÍNDICE GERAL**

RELATÓRIO

ANEXOS

DESENHOS

## AVALIAÇÃO DO RISCO DE CHEIA E DE INUNDAÇÃO DO CONCELHO DE MAFRA

### ÍNDICE DO RELATÓRIO

#### TEXTO

	Pág.
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 DADOS DE BASE .....</b>	<b>3</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – LEVANTAMENTO DE CAMPO .....</b>	<b>5</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	5
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUCO .....	6
3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LIZANDRO .....	6
3.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAFARUJO .....	8
3.5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SIZANDRO .....	8
3.6 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRANCÃO – RIO TRANCÃO .....	9
3.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRANCÃO – RIBEIRA DE LOURES .....	9
<b>4 DETERMINAÇÃO DE HIETOGRAMAS .....</b>	<b>11</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	11
4.2 REGISTOS DE PRECIPITAÇÃO .....	11
4.3 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DETERMINAÇÃO DE TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO .....	13
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL....	17
4.5 ESTABELECIMENTO DE PRECIPITAÇÕES E DE HIETOGRAMAS.....	19
<b>5 MODELAÇÃO MATEMÁTICA .....</b>	<b>21</b>
5.1 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO MOHID LAND .....	21
5.2 DADOS DE BASE .....	22
5.2.1 Considerações gerais.....	22
5.2.2 Modelo digital do terreno .....	22
5.2.3 Secções transversais .....	22
5.2.4 Carta ocupação de solo.....	23

5.2.5	Tipo de solo .....	24
5.2.6	Uso de solo.....	25
5.2.7	<i>Spin-up</i> .....	26
5.2.8	Dados meteorológicos.....	26
5.2.9	Hietogramas correspondentes a um período de retorno de 100 anos.....	28
5.3	PARAMETERIZAÇÃO E RESULTADOS DO MODELO.....	29
5.3.1	Introdução.....	29
5.3.2	Bacia hidrográfica do rio Cuco .....	30
5.3.3	Bacia hidrográfica do rio Lizandro.....	33
5.3.4	Bacia hidrográfica do rio Safarujo .....	38
5.3.5	Bacia hidrográfica do Sizandro.....	43
5.3.6	Bacia hidrográfica do rio Trancão (rio Trancão).....	47
5.3.7	Trancão (ribeira de Loures).....	50
<b>6</b>	<b>MAPA DE INUNDAÇÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>MAPA DE RISCO.....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS .....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>65</b>

## FIGURAS

Figura 4.1 – Método dos polígonos de Thiessen aplicado à determinação das áreas de influência dos postos udográficos.

Figura 4.2 – Definição das sub-bacias para o cálculo dos diversos tempos de concentração.

Figura 4.3 – Hietograma de blocos decrescentes correspondente a um período de retorno de 100 anos, para a bacia hidrográfica do rio Cuco, com indicação da duração do tempo de concentração crescente ao longo da linha de água nas diversas sub-bacias consideradas; cc1, A, cc7 e foz.

Figura 5.1 – Representação esquemática dos processos hidrológicos resolvidos no MOHID Land.

Figura 5.2 – Uso do solo nas bacias hidrográficas do concelho de Maфра.

Figura 5.3 – Áreas impermeáveis no concelho de Maфра.

Figura 5.4 – Condições meteorológicas utilizadas na simulação das bacias hidrográficas para o *spin-up*. De cima para baixo: precipitação, velocidade do vento, temperatura do ar, humidade relativa e radiação solar para o mês de Novembro de 2002. Fonte: INAG ([www.snirh.pt](http://www.snirh.pt))

Figura 5.5 – Topografia e rede de drenagem das bacias hidrográficas no Concelho de Maфра (Trancão N refere-se à parte Norte do rio Trancão e Trancão L refere-se à ribeira de Loures). O concelho de Maфра está representado pelo polígono a cinzento semi-transparente.

Figura 5.6 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Cuco.

Figura 5.7 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Cuco.

Figura 5.8 – Hietograma com blocos alternados

Figura 5.9 – Hietograma com blocos decrescentes

Figura 5.10 – Hidrograma de cheia na foz do rio Cuco resultante de uma cheia associada a um período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 5.11 – Hidrograma de cheia no ponto cc7 resultando de cheia associada a um período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 5.12 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Lizandro.

Figura 5.13 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Lizandro.

Figura 5.14 – Hietograma com blocos alternados

Figura 5.15 – Hietograma com blocos decrescentes

Figura 5.16 – Hidrograma de cheia no ponto li63 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 5.17 – Hidrograma de cheia no ponto li51 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 5.18 – Hidrograma de cheia no ponto li35 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 5.19 – Hidrograma de cheia no ponto li22 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 5.20 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Safarujo.

Figura 5.21 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Safarujo.

Figura 5.22 – Hietograma com blocos alternados

Figura 5.23 – Hietograma com blocos decrescentes

Figura 5.24 – Caudal na foz do rio Safarujo resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

- Figura 5.25 – Hidrograma de cheia no ponto sf24 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.
- Figura 5.26 – Hidrograma de cheia no ponto sf9 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.
- Figura 5.27 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Sizandro (no interior do concelho de Mafra)
- Figura 5.28 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Sizandro (no interior do concelho de Mafra).
- Figura 5.29 – Hietograma com blocos alternados
- Figura 5.30 – Hietograma com blocos decrescentes
- Figura 5.31 – Caudal na secção limite no concelho de Mafra resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.
- Figura 5.32 – Hidrograma de cheia no ponto sz14 (junto a Barras) resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.
- Figura 5.33 – Hidrograma de cheia no ponto sz6 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.
- Figura 5.34 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Trancão – troço Norte do rio Trancão (no interior do concelho de Mafra).
- Figura 5.35 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Trancão – troço Norte do rio Trancão no interior do concelho de Mafra.
- Figura 5.36 – Hietograma com blocos alternados
- Figura 5.37 – Hietograma com blocos decrescentes
- Figura 5.38 – Caudal na bacia do rio Trancão na secção limite do concelho de Mafra, resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.
- Figura 5.39 – Topografia e rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Trancão – ribeira de Loures.
- Figura 5.40 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Trancão – ribeira de Loures.

Figura 5.41 – Hietograma com blocos alternados

Figura 5.42 – Hietograma com blocos decrescentes

Figura 5.43 – Hidrograma de cheia no ponto lo9 (limite concelho de Mafra) resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.

Figura 6.1 – Exemplo de legenda colocada junto a cada secção com parâmetros físicos do escoamento.

Figura 7.1 – Legenda do Mapa de Risco de Inundação.

## QUADROS

Quadro 4.1 – Postos udográficos utilizados e as respectivas áreas de influência, em km<sup>2</sup>, sobre as bacias hidrográficas em estudo.

Quadro 4.2 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Cuco.

Quadro 4.3 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Lizandro.

Quadro 4.4 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Safarujo.

Quadro 4.5 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Sizandro.

Quadro 4.6 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Trancão – rio Trancão.

Quadro 4.7 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Trancão – ribeira de Loures.

Quadro 4.8 – Descritores estatísticos dos registos de PDMA para cada um dos postos udográficos escolhidos.

Quadro 4.9 – PDMA associada a um período de retorno de 100 anos para os postos udográficos escolhidos, em mm.

Quadro 4.10 – PDMA associada a um período de retorno de 100 anos para as bacias hidrográficas em estudo, em mm.

Quadro 5.1 – Parâmetro de rugosidade de Manning ( $m^{-1/3}s$ ) em função do uso do solo.

Quadro 5.2 – Propriedades hidráulicas típicas de um solo com baixa capacidade de infiltração.

Quadro 5.3 – Características das estações meteorológicas utilizadas para a parameterização climatológica do modelo.



## **AVALIAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÕES DO CONCELHO DE MAFRA**

### **1 INTRODUÇÃO**

O presente relatório diz respeito à avaliação do risco de cheia e inundação nas bacias hidrográficas dos cursos de água Lizandro, Cuco, Safarujo, Sizandro e Trancão, no concelho de Mafra. A Câmara Municipal de Mafra adjudicou o presente estudo de modo a que este servisse de base (i) à elaboração do Plano Municipal de Emergência para Cheias e do Sistema de Alerta e Aviso associado, assim como (ii) à redefinição da área REN (Reserva Ecológica Nacional) associada às zonas ameaçadas por cheias a ser considerada no âmbito da revisão do Plano Director Municipal (PDM) em curso na Câmara Municipal de Mafra (CMM).

Dos presentes estudos resultam, em base cartográfica adequada, os Mapas de Inundação e de Risco para as cinco bacias referidas, correspondentes a cheias associadas a eventos meteorológicos com período de retorno de 100 anos. O período de retorno considerado nas simulações numéricas fixado em conjunto com a CMM corresponde ao valor previsto na Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro) para a definição das zonas ameaçadas pelas cheias.

O Mapa de Inundação apresentado no presente estudo advém de uma análise crítica dos resultados da modelação matemática do escoamento levada a cabo, em conjunto com informação recolhida com trabalho de campo. A definição das áreas ameaçadas pelas cheias centenárias teve em conta a persistência espacial e temporal da água no terreno.

Os trabalhos conducentes à elaboração dos Mapas de Inundação e de risco incluem: (i) recolha e análise de dados existentes; (ii) levantamentos de campo para recolha de dados complementares relevantes para a correcta implementação do modelo matemático e para caracterização da ocupação das zonas ribeirinhas; (iii) estudos hidrológicos para o

estabelecimento de hietogramas associados ao período de retorno de 100 anos; (iv) modelação matemática do escoamento com recurso ao modelo de cálculo computacional MOHID Land que permite integrar a informação de base da precipitação e relativa às características do terreno e realizar a modelação hidrodinâmica do escoamento nas linhas de água; e, (v) elaboração dos Mapas de Inundação e de Risco.

O presente relatório contém, além desta introdução, considerações gerais de enquadramento, caracterização da área em estudo individualizada por bacia com base nos levantamentos de campo efectuados, estudo hidrológico conducente aos hietogramas associados a um período de retorno centenário, descrição do modelo matemático utilizado incluindo dados de base introduzidos, parameterização e resultados específicos por bacia, descrição do modo de elaboração dos Mapas de Inundação e Risco, comentários e principais conclusões e por fim elemento bibliográficos utilizados.

Do presente estudo fazem ainda parte três desenhos contendo o Mapa de Enquadramento geral do estudo (DESENHO 1), à escala 1:50 000, o Mapa de Inundação detalhado do concelho (DESENHO 2), à escala 1:20 000, e o Mapa de Risco detalhado do concelho (DESENHO 3), à escala 1:10 000. Seis anexos contêm fichas de caracterização das secções levantadas no terreno que constituem um elemento de apoio ao estabelecimento do modelo matemático dos vales, à construção dos Mapas de Risco e identificação de secções críticas do ponto de vista da ocupação das zonas ribeirinhas.

## 2 DADOS DE BASE

Como dados de base do presente estudo foram utilizados os seguintes documentos:

- Plano Director Municipal – Processo de Revisão. Câmara Municipal de Mafra (2008).
- Totalidade da rede hidrográfica a levantar em *shapefile*, cedida pela CMM.
- Edificado do concelho de Mafra em *shapefile*, cedido pela CMM.
- Ortofotomapas de 2005, cedidos pela CMM.
- Topografia militar à escala 1/25000 do concelho de Mafra e concelhos vizinhos: cartas militares n<sup>os</sup>. 374, 375, 388, 389, 401A, 402, 403, 415, 416 e 417.
- Dados de base do SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos referentes a: postos udométricos Arranhó (20C/03G), Cacém (21B/10G), Cheleiros (20B/04C), Milharado (20B/06UG), Orjariça (19B/05C), Sobral da Abelheira (20B/02UG), Colares (Sarrazola) (21A/01C) e Caneças (21B/11UG); e estação climatológica de S. Julião do Tojal.
- Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste.
- Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro).
- Carta de Ocupação de Solo à escala 1:25 000, cedida pela CMM.

No âmbito do presente estudo foram realizados complementarmente levantamentos de campo (ver 3).



### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – LEVANTAMENTO DE CAMPO**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Com vista à caracterização dos elementos em risco na área ameaçada pelas cheias correspondente ao cenário em estudo (cheia associada a eventos meteorológicos com período de retorno de 100 anos), fez-se o reconhecimento local entre 21 de Novembro de 2008 e 26 de Janeiro de 2009, o que correspondeu a 9 deslocações ao terreno.

Neste reconhecimento procedeu-se à identificação das edificações na área de risco, dando especial atenção às áreas urbanas, aglomerados populacionais e edificação dispersa. Além das edificações, teve-se em conta as principais infra-estruturas e equipamentos na área ameaçada pelas cheias, com destaque para as pontes e pontões, quer pelo obstáculo ao escoamento que possam constituir, quer pela sua função intrínseca na rede viária.

Além dos aglomerados populacionais, salientam-se também as actividades relacionadas com a agricultura, as quais são, na maior parte, de carácter familiar e representadas por pequenas hortas e algumas vinhas e pomares. Algumas actividades agrícolas têm um carácter mais expressivo, com culturas hortícolas em estufas.

O levantamento efectuado nos locais das pontes e passagens hidráulicas teve também como objectivo a identificação das principais características destas infra-estruturas, assim como das secções do vale a montante e a jusante, com vista à sua consideração no modelo computacional utilizado. No ANEXO – Fichas de Caracterização das Secções são apresentadas as características principais das secções observadas, com algumas fotografias e extractos de mapas de localização e esquemas das secções.

As secções levantadas no terreno que servem de referência ao restante estudo encontram-se indicadas no Mapa de Risco (DESENHO 3); são referidas como secções de cálculo uma vez que constituem fronteiras internas do modelo de cálculo correspondendo aos locais dos vales dos cursos de água que foram visitadas durante o reconhecimento de campo efectuado. Estas secções estão identificadas com um conjunto alfanumérico, que corresponde às iniciais da bacia hidrográfica/curso de água e ao número de ordem da secção identificada. Nos afluentes dos cursos de água principais, procedeu-se ainda à subdivisão do número de ordem, mantendo porém as iniciais da bacia hidrográfica.

Para efeitos do presente estudo e por questões metodológicas e de modelação matemática do escoamento, a bacia do rio Trancão no interior do concelho de Mafra, foi dividida em

duas sub-bacias correspondendo uma ao próprio rio Trancão e outra à ribeira de Loures, também designada por rio Monfirre, afluente daquele rio.

A descrição de alguns aspectos particulares da ocupação da área ameaçada pelas cheias é sistematizada por bacia hidrográfica, recorrendo-se à identificação através da toponímia e da numeração atribuída às secções identificadas no reconhecimento de campo.

Contou-se também com a colaboração da Câmara Municipal de Mafra, que disponibilizou informação relativa à localização dos principais equipamentos e actividades económicas do concelho, assim como a cartografia de base na escala 1:5 000 que serviu de base à identificação das edificações e à elaboração da carta de risco de inundação.

### 3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUÇO

Na bacia do rio **Cuco**, a principal ocupação humana na área ameaçada pelas cheias do vale tem maior expressão em Pedra Amassada, onde já se registaram inundações expressivas. Nesta localidade identificam-se várias passagens hidráulicas, as quais foram objecto de requalificação pela Junta de Freguesia (cc1.4 e cc1.5, DESENHO 3, Folha 2, 388-A).

As inundações neste local estiveram relacionadas com a insuficiência de vazão e obstrução das secções de vazão, conforme testemunho recolhido no local.

Identificam-se também algumas pontes e pontões e alguns trechos pequenos de vias de comunicação na área ameaçada pelas cheias (DESENHO 3, Folha 2, 388-A), entre Pucariça e Santo Isidoro.

A Norte da secção cc13, a sul da localidade de Palhais (DESENHO 3, Folha 2, 388-A), encontra-se a ETAR localizada na margem direita do rio Cuco; embora não incluída no interior do polígono correspondente à área ameaçada pelas cheias, problemas de vazão associados à limpeza da passagem hidráulica a jusante da ETAR podem originar a sua inundação.

Junto à foz, destaca-se a Escola de Surf “Ribeira D’Ilhas Surf Camp”.

### 3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LIZANDRO

Na bacia do rio **Lizandro** destaca-se a ocupação urbana nos seguintes locais: Venda do Pinheiro, Malveira, Cheleiros e Carvalhal.

Na **Venda do Pinheiro**, apesar de corresponder à zona de cabeceira da bacia hidrográfica, o acentuado declive das vertentes na cabeceira e a ocupação urbana das margens, com a

consequente impermeabilização dos solos e do próprio leito, que se encontra canalizado em alguns trechos, contribuem para a inundação de algumas áreas com edifícios de habitação, arruamentos e eventualmente alguns equipamentos e infra-estruturas. Estas edificações foram assinaladas, correspondendo a um pequeno número, como se observa no mapa de risco. No entanto, ressalva-se que as inundações apenas atingem os pisos térreos, nalguns casos correspondendo a caves com funções de garagem, em geral sem funções habitacionais.

As pontes e pontões constituem obstáculos ao escoamento e encontram-se assinalados no Mapa de Risco (DESENHO 3, Folha 10, 403-A).

Na localidade da **Malveira**, uma parte considerável da rede de drenagem encontra-se canalizada.

Salientam-se os seguintes equipamentos identificados:

- Posto da GNR, na Rua 25 de Abril;
- Quartel dos Bombeiros Voluntários da Malveira, na Rua dos Bombeiros Voluntários;
- Estação de Caminho de Ferro da Malveira;
- Em Casal Moinho destaca-se a ETAR.

Relativamente às edificações com funções habitacionais, também se destacam algumas ocorrências, como se observa no Mapa de Risco (DESENHO 3, Folha 9, 402-B).

Neste trecho, entre as secções li06 e li27 e no afluente da margem direita, secções li1.01 e li1.11 (DESENHO 3, Folha 9, 402-B), salienta-se um conjunto significativo de passagens hidráulicas, as quais, em situação de cheia, constituem obstáculos ao escoamento, sobretudo quando ocorre acumulação de materiais, arbustos e troncos na secção de vazão à entrada das passagens hidráulicas e pontes.

Em **Maфра Gare**, identificam-se algumas habitações e o recreio de uma escola na área ameaçada pelas cheias (a desactivar segundo informação da CMM). Nesta localidade a ponte sobre o rio Lizandro foi reconstruída, tendo ficado com um vão superior ao que tinha quando se registaram inundações no local. Segundo informação local não tem havido inundações após a reconstrução da referida ponte (secção li40 no DESENHO 3, Folha 9, 402-B).

Em **Cheleiros** observa-se um número significativo de edificações com funções habitacionais e alguns equipamentos junto ao rio, entre os quais se destaca uma capela, o pelourinho e a ETAR (DESENHO 3, Folha 11, 402-C e Folha 12, 402-D).

Em **Carvalhal**, identificaram-se várias edificações atingidas por inundações recentes. A ponte foi reconstruída e actualmente apresenta um vão considerável (secção li55 no DESENHO 3, Folha 8, 402-A). Foi relatado pela população e pelo Presidente da Junta de Freguesia, que as inundações no local se devem, sobretudo, à falta de limpeza do rio no troço a jusante, o qual tem o leito colmatado com muita vegetação arbórea que impede o escoamento.

Destacam-se também as instalações da Casa do Povo e da Extensão do Centro de Saúde de Cheleiros na área ameaçada pelas cheias, e o parque de recreio e lazer nas imediações, com parque infantil.

### 3.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAFARUJO

Na bacia do rio **Safarujo**, as áreas edificadas na área ameaçada pelas cheias têm uma expressão muito reduzida. No vale aluvionar destacam-se as actividades agrícolas.

Como principais elementos na área de risco salientam-se as pontes e as vias de comunicação.

Em Sobral da Abelheira destaca-se a Estação de Tratamento de Água, Secção sf8 (DESENHO 3, Folha 2, 388-A).

### 3.5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SIZANDRO

Na bacia do rio **Sizandro**, a ocupação humana é significativa na área ameaçada pelas cheias, de características marcadamente rural. Neste vale salienta-se um conjunto significativo de pontes e pontões e de vias de comunicação na área ameaçada pelas cheias, com destaque para a EN 8 (DESENHO 3, Folha 3, 388-B).

Em Sevilheira destaca-se uma parte da Adegas Cooperativas da Azueira (área ocupada por depósitos).

As principais localidades com edificações e actividade agrícola na área de risco são: Enxara do Bispo, Tourinha, Gradil, Barras, Carrascal, Ponte da Caneira e Pão Coito.



### 3.6 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRANCÃO – RIO TRANCÃO

Na bacia do rio **Trancão**, a ocupação humana na área ameaçada pelas cheias do vale tem maior expressão na Póvoa da Galega, onde se identificam edificações com funções de habitação.

Junto à ponte da secção tr02, identifica-se um equipamento de desporto (Clube Desportivo Povense).

Também se identificam várias habitações em Ribeiradas (secção tr4.1 no DESENHO3, Folha 7, 389-C), numa área com características marcadamente rurais.

As restantes localidades com edificações na área ameaçada pelas cheias são Ribeira e Calvos.

Na estrada que liga Ribeira a Ribeiradas, entre as secções tr15 e tr16, destaca-se uma indústria metalomecânica.

Neste vale salienta-se um conjunto significativo de pontes e pontões e de vias de comunicação na área ameaçada pelas cheias (DESENHO3, Folha 10, 403-A).

### 3.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRANCÃO – RIBEIRA DE LOURES

Na bacia de **Loures**, a área ameaçada pelas cheias não tem praticamente ocupação edificada, excepto várias pontes, identificadas nas Folhas 12, 402-D e 13, 403-C do DESENHO 3 (secções lo1 a lo8).

A ocupação agrícola na área ameaçada pelas cheias é representada por pequenas hortas, algumas com sistemas de rega instalados.



## 4 DETERMINAÇÃO DE HIETOGRAMAS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo das precipitações sobre as cinco bacias em estudo, Cuco, Lizandro, Safarujo, Sizandro e Trancão (rio Trancão e ribeira de Loures), tem como objectivo o estabelecimento de hietogramas correspondentes ao período de retorno de 100 anos que servirão como dados de entrada à modelação do escoamento superficial. Pretendem-se hietogramas que permitam obter resultados conservativos quer em termos de caudal máximo escoado quer em termos de tempo de chegada da onda de cheia. Este último parâmetro é essencial no que concerne o estabelecimento de sistemas de aviso e alerta no vale.

O procedimento realizado tem como base os registos de precipitações máximas diárias anuais existentes em postos udográficos com influência sobre as bacias em estudo com os quais, por análise estatística, se estabeleceu a Precipitação Máxima Diária Anual (PDMA) associada a um período de retorno de 100 anos.

A determinação da precipitação para intervalos de tempo inferior a 24 h foi feita por aplicação das curvas IDF estabelecidas pelo INAG, o que permitiu a construção dos hietogramas em cada bacia. Cada hietograma tem duração total igual ao tempo de concentração da correspondente bacia; a discretização temporal dos blocos de precipitação permite que os hietogramas correspondam, de modo *quasi*-contínuo, aos diversos tempos de concentração crescentes ao longo da linha de água.

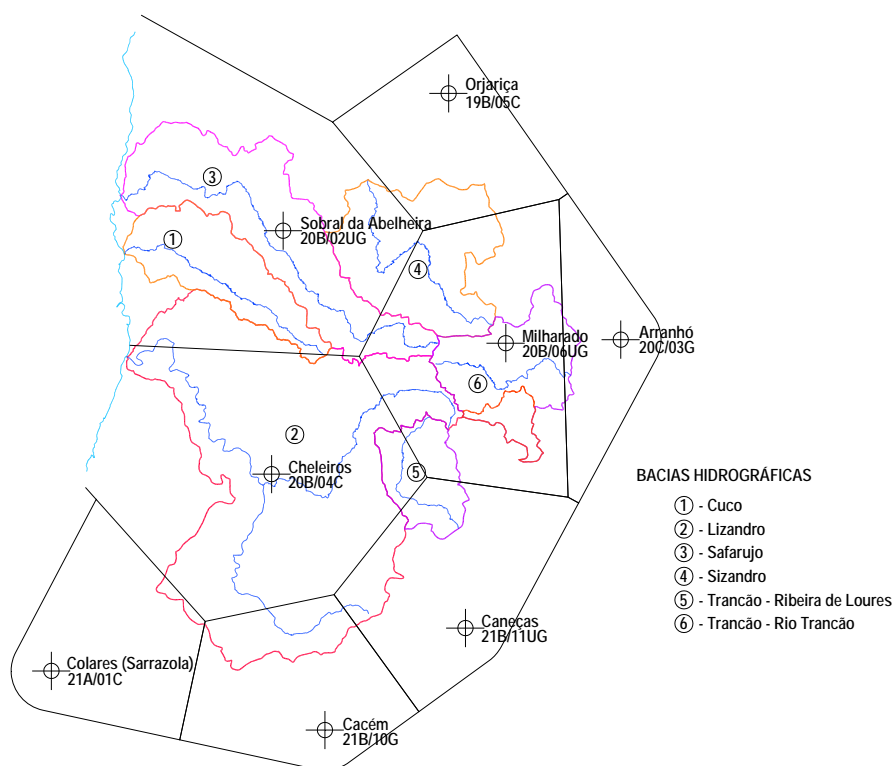
### 4.2 REGISTOS DE PRECIPITAÇÃO

Foram identificados oito postos udográficos próximos com dados de PDMA, com influência nas bacias hidrográficas em estudo, de acordo com método de Thiessen (ou diagramas de Voronoi), e. Os dados foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

O Quadro 4.1 contém os nomes dos oito postos udográficos utilizados assim como a área de influência destes em cada uma das bacias em estudo. Na Figura 4.1 representam-se os polígonos de Thiessen utilizados para a determinação das áreas de influência dos postos udográficos.

**Quadro 4.1 – Postos udográficos utilizados e as respectivas áreas de influência, em km<sup>2</sup>, sobre as bacias hidrográficas em estudo.**

Nome	Código	Bacia Cuco	Bacia Lizandro	Bacia Safarujo	Bacia Sizandro	Bacia Trancão (rio Trancão)	Bacia Trancão (rib. de Loures)
		Área, (km <sup>2</sup> )	Área, (km <sup>2</sup> )	Área, (km <sup>2</sup> )	Área, (km <sup>2</sup> )	Área, (km <sup>2</sup> )	Área, (km <sup>2</sup> )
ARRANHÓ	20C/03G	0	0	0	0	2	0
CACÉM	21B/10G	0	16	0	0	0	0
CHELEIROS	20B/04C	0	118	0	0	0	6
MILHARADO	20B/06UG	0	11	6	22	30	6
ORJARIÇA	19B/05C	0	0	0	7	0	0
SOBRAL DA	20B/02UG	31	13	53	18	0	0
COLARES	21A/01C	0	1	0	0	0	0
CANEÇAS	21B/11UG	0	9	0	0	0	7
<b>Total</b>		<b>31</b>	<b>168</b>	<b>59</b>	<b>47</b>	<b>32</b>	<b>18</b>



**Figura 4.1 – Método dos polígonos de Thiessen aplicado à determinação das áreas de influência dos postos udográficos.**

### 4.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DETERMINAÇÃO DE TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO

A modelação matemática hidrológica do escoamento por bacias obrigou ao estabelecimento de hietogramas por bacia com blocos de precipitação múltiplos de forma a, de modo quase contínuo, representar os diversos tempos de concentração crescentes ao longo das linhas de água. A discretização temporal patente nos hietogramas corresponderá assim a uma discretização espacial do domínio em análise por sub-bacias definida em diversas secções nas bacias hidrográficas em estudo, para as quais se determinaram os tempos de concentração. Estas secções foram escolhidas tendo em conta pontos notáveis do escoamento ou secções problemáticas em termos de efeitos das cheias.

Como tal, procedeu-se à caracterização fisiográfica prévia das diversas sub-bacias hidrográficas definidas por estas secções com base no modelo digital de terreno disponibilizado pela CMM e tendo em vista os parâmetros necessários à determinação do tempo de concentração.

Para a estimativa dos tempos de concentração ( $t_c$ ) utilizaram-se as formulações empíricas de Temez, Kirpich e NERC (Natural Environment Research Council, Reino Unido):

Temez (Temez, 1978):

$$t_c = 0.3 \left( \frac{L}{d_m^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Onde L é o comprimento da linha de água principal (km) e  $d_m$  o seu declive médio, ambos determinados a montante da secção em estudo.

Kirpich (Chow *et al.*, 1988):

$$t_c = 0,0663 L^{0.77} d_m^{-0.385}$$

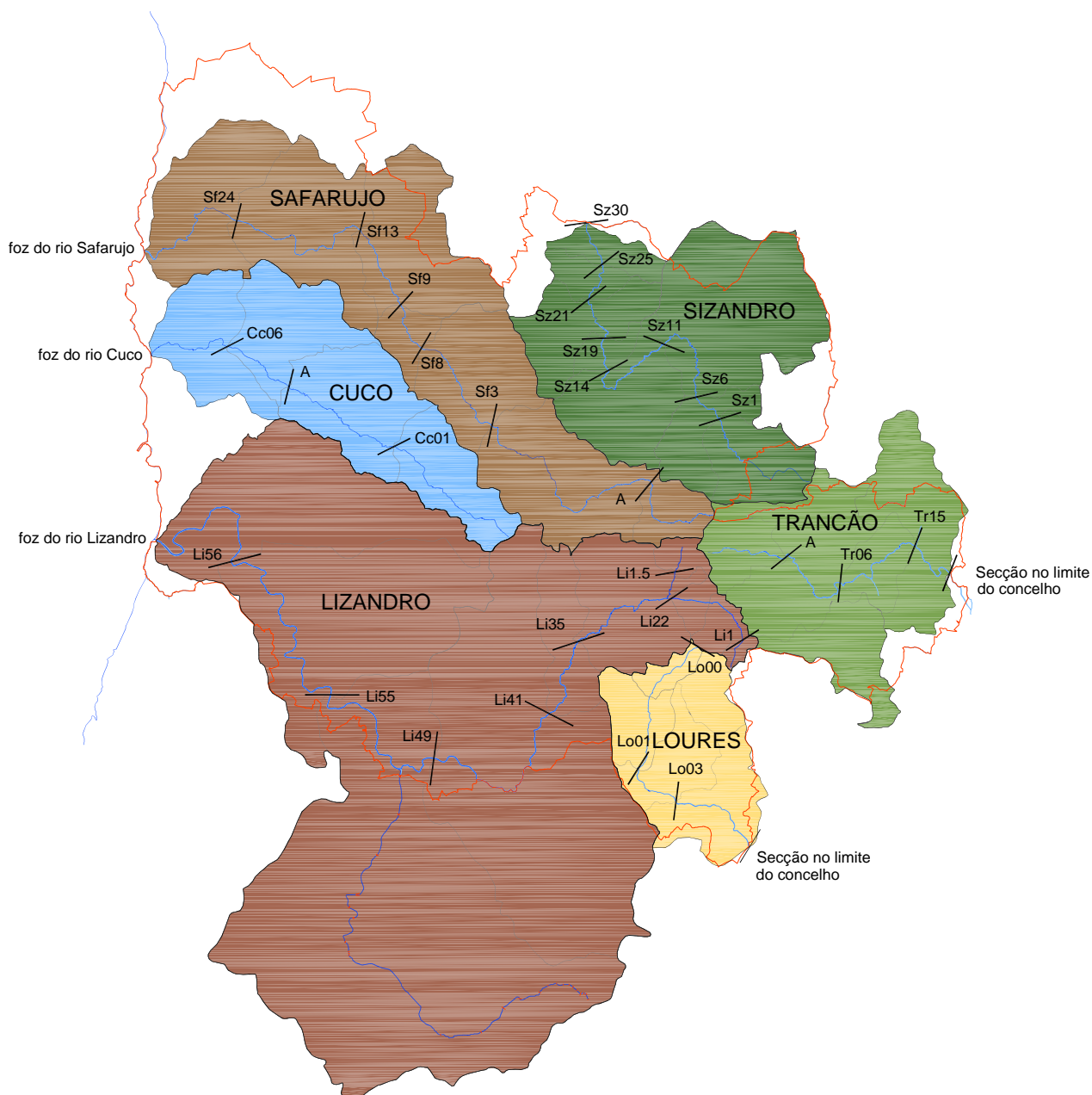
NERC (NERC, 1975):

$$t_c = 2.8 \left( \frac{L}{\sqrt{d_{10:85}}} \right)^{0.47}$$

Onde  $d_{10:85}$  é o declive da linha de água entre 10 e 85% do seu comprimento total L, determinado a montante da secção em estudo.

Na Figura 4.2 apresentam-se todas as sub-bacias consideradas para a discretização espacial do domínio em análise (metodologia utilizada por Portela e Hora, 2002) indicando-se o código da secção para a qual o tempo de concentração foi determinado. Para além de

secções correspondentes aos levantamentos de terreno, outras foram introduzidas para assegurar uma discretização mais adequada das bacias hidrográficas.



**Figura 4.2 – Definição das sub-bacias para o cálculo dos diversos tempos de concentração.**

Optou-se por considerar como tempo de concentração em cada bacia a média das duas estimativas mais próximas. Do Quadro 4.2 ao Quadro 4.7 apresentam-se, para cada bacia em estudo, os parâmetros fisiográficos das sub-bacias definidas para cada secção de cálculo assim como o tempo de concentração atribuído a cada.

**Quadro 4.2 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Cuco.**

Secção	A (km <sup>2</sup> )	l (km)	d <sub>m</sub>	d <sub>10:85</sub>	Tempo de concentração (h)			
					Témez	Kirpich	NERC	Utilizado
cc1	6.5	4.6	0.056	0.053	1.65	0.65	2.25	1.95
A	15.8	8.4	0.030	0.027	2.96	1.32	3.51	3.23
cc6	23.5	10.7	0.025	0.019	3.65	1.69	4.27	3.96
Foz	31.0	13.4	0.022	0.014	4.47	2.14	5.14	4.80

**Quadro 4.3 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Lizandro.**

Secção	A (km <sup>2</sup> )	l (km)	d <sub>m</sub>	d <sub>10:85</sub>	Tempo de concentração (h)			
					Témez	Kirpich	NERC	Utilizado
li1	0.5	0.9	0.163	0.089	0.39	0.12	0.92	0.25
li7	2.0	2.4	0.027	0.016	1.17	0.53	2.22	0.85
li22	3.1	3.5	0.021	0.013	1.61	0.76	2.73	1.18
li35	13.7	6.8	0.018	0.015	2.78	1.38	3.68	3.23
li41	19.0	9.5	0.018	0.015	3.57	1.77	4.29	3.93
li49	60.9	15.1	0.017	0.016	5.12	2.57	5.22	5.17
li55	123.6	20.2	0.015	0.014	6.55	3.39	6.15	6.35
li56	148.0	27.1	0.012	0.012	8.56	4.64	7.38	7.97
Foz	167.7	32.4	0.011	0.010	9.95	5.49	8.30	9.13
li1.5	1.2	1.5	0.086	0.037	0.64	0.23	1.43	0.43

**Quadro 4.4 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Safaraju.**

Secção	A (km <sup>2</sup> )	l (km)	d <sub>m</sub>	d <sub>10:85</sub>	Tempo de concentração (h)			
					Témez	Kirpich	NERC	Utilizado
A	2.9	3.0	0.039	0.031	1.28	0.54	2.09	0.91
sf3	14.8	9.5	0.024	0.016	3.36	1.57	4.18	3.77
sf8	23.6	12.9	0.021	0.014	4.36	2.10	5.03	4.70
sf9	25.8	14.4	0.019	0.013	4.83	2.36	5.41	5.12
sf13	37.1	17.0	0.017	0.011	5.61	2.83	6.07	5.84
sf24	48.8	21.8	0.014	0.008	7.01	3.67	7.22	7.11
Foz	59.3	25.7	0.013	0.007	8.12	4.35	8.04	8.08

**Quadro 4.5 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Sizandro.**

Secção	A (km <sup>2</sup> )	l (km)	d <sub>m</sub>	d <sub>10:85</sub>	Tempo de concentração (h)			
					Témez	Kirpich	NERC	Utilizado
sz1	5.7	4.0	0.029	0.019	1.69	0.76	2.70	1.22
sz6	9.8	4.0	0.028	0.019	1.70	0.76	2.71	1.23
sz11	26.4	8.1	0.015	0.011	3.28	1.68	4.28	3.78
sz14	34.6	11.2	0.011	0.008	4.44	2.43	5.40	4.92
sz19	36.0	12.2	0.011	0.007	4.76	2.62	5.70	5.23
sz21	42.2	13.7	0.010	0.007	5.27	2.95	6.08	5.68
sz25	44.2	14.9	0.009	0.006	5.69	3.22	6.45	6.07
sz30	46.5	16.3	0.009	0.006	6.14	3.51	6.78	6.46



**Quadro 4.6 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Trancão – rio Trancão.**

Secção	A (km <sup>2</sup> )	l (km)	d <sub>m</sub>	d <sub>10:85</sub>	Tempo de concentração (h)			
					Témez	Kirpich	NERC	Utilizado
A	3.2	2.4	0.020	0.020	1.25	0.60	2.11	0.92
tr6	19.6	5.3	0.013	0.009	2.43	1.28	3.70	1.86
tr15	22.7	8.3	0.011	0.007	3.52	1.92	4.74	4.13
Final	32.3	10.0	0.011	0.007	4.08	2.22	5.23	4.65

**Quadro 4.7 – Cálculo dos tempos de concentração em diversas secções na bacia do rio Trancão – ribeira de Loures.**

Secção	A (km <sup>2</sup> )	l (km)	d <sub>m</sub>	d <sub>10:85</sub>	Tempo de concentração (h)			
					Témez	Kirpich	NERC	Utilizado
lo0	1.3	2.1	0.086	0.071	0.83	0.30	1.44	0.56
lo1	3.7	4.2	0.049	0.024	1.59	0.64	2.60	1.12
lo3	11.9	5.9	0.042	0.022	2.10	0.88	3.10	2.60
Final	18.1	8.7	0.035	0.021	2.94	1.27	3.79	3.36

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL

Tendo em vista a determinação dos valores de Precipitação Máxima Diária Anual (PDMA) associados a um período de retorno de 100 anos para cada um dos postos udográficos escolhidos, procedeu-se à análise estatística dos seus registos. Os descritores estatísticos correspondentes às séries de registos apresentam-se no Quadro 4.8:

**Quadro 4.8 – Descritores estatísticos dos registos de PDMA para cada um dos postos udográficos escolhidos.**

Posto	N	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)	Coeficiente de variação	Coeficiente de assimetria
ARRANHÓ	25	48	15.0	0.31	0.83
CACÉM	26	51	28.1	0.55	3.52
CHELEIROS	22	43	22.5	0.52	3.41
MILHARADO	22	56	24.2	0.43	1.87
ORJARIÇA	26	47	19.8	0.43	3.25
SOBRAL DA ABELHEIRA	22	50	20.3	0.41	3.10
COLARES (SARRAZOLA)	16	54	32.5	0.60	3.14
CANEÇAS	23	60	21.8	0.37	1.36

Adoptou-se a lei de Gumbel como a função densidade de probabilidade estatística que melhor representa os registos de precipitação. No Quadro 4.9 apresenta-se a estimativa da PDMA para cada posto udométrico correspondente a um período de retorno de 100 anos, por aplicação da lei de Gumbel.

**Quadro 4.9 – PDMA associada a um período de retorno de 100 anos para os postos udográficos escolhidos, em mm.**

ARRANHÓ	CACÉM	CHELEIROS	MILHARADO	ORJARIÇA	SOBRAL DA ABELHEIRA	COLARES	CANEÇAS
95	139	113	132	109	113	156	128

Apresenta-se no Quadro 4.10 os valores de PDMA para as diversas bacias em estudo, tendo em conta a área de influência de cada posto udográfico determinada com base no método dos polígonos de Thiessen.

**Quadro 4.10 – PDMA associada a um período de retorno de 100 anos para as bacias hidrográficas em estudo, em mm.**

CUCO	LIZANDRO	SAFARUJO	SIZANDRO	TRANCÃO - RIO TRANCÃO	TRANCÃO (RIBEIRA DE LOURES)
118	121	113	115	130	125

#### 4.5 ESTABELECIMENTO DE PRECIPITAÇÕES E DE HIETOGRAMAS

Para a determinação de precipitações extremas ( $P_t$ ) associadas a durações ( $t$ ) diferentes de 24 h aplica-se uma relação do tipo (Brandão e Hipólito 1997):

$$\frac{P_t}{P_{24}} = \left( \frac{t}{24} \right)^\beta$$

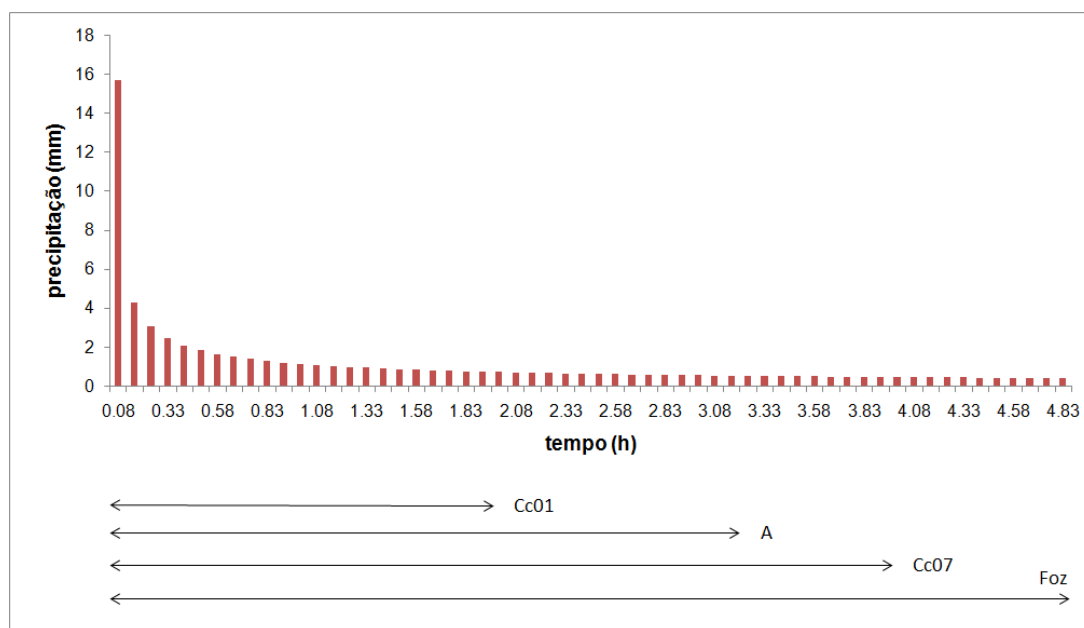
Em que  $t$  é a duração desejada expressa em horas e  $P_{24}$  é a precipitação máxima ocorrida em 24 h (PDMA). O expoente  $\beta$  foi estabelecido para 27 postos udográficos distribuídos pelo território de Portugal Continental (Brandão *et al.*, 2001). Portela (2006) apresenta os polígonos de Thiessen correspondente a estes 27 postos e as suas áreas de influência. As bacias em estudo encontram-se na área de influência do posto de S. Julião do Tojal ao qual corresponde um expoente  $\beta$  de 0,349.

O estabelecimento de hietogramas *quasi*-contínuos obriga a uma discretização temporal fina dos blocos de precipitação. Utilizando um número mínimo de três de blocos de precipitação por sub-bacia, e tendo em conta a sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Lizandro li01 (ver Quadro 4.3) à qual corresponde o tempo de concentração mínimo para as sub-bacias definidas anteriormente de 0,25 h, construíram-se os hietogramas com o intervalo de tempo de 5 min (0,25/3 h) para os blocos de precipitação.

Para cada bacia hidrográfica em estudo foram construídos dois tipos hietogramas com objectivos distintos: i) com blocos de precipitação de intensidade decrescente e ii) com blocos de precipitação de intensidade alternada e com assimetria contrária ao hidrograma resultante.

Do primeiro tipo de hietograma resultam, de um modo geral, hidrogramas de cheia em que o caudal de ponta, e consequentemente as cotas de cheia e velocidades de escoamento, são mais elevados correspondendo ao caso mais desfavorável em termos do impacto da cheia. Do segundo tipo de hietograma resultam, de um modo geral, hidrogramas de cheia em que o pico de caudal é atingido mais rapidamente, sendo os resultados mais conservativos em termos de tempo de aviso. No entanto, cada caso foi analisado pontualmente para efeitos de definição das características hidráulicas da cheia.

Na Figura 4.3 apresenta-se o hietograma decrescente para a bacia do rio Cuco como exemplo. Encontram-se assinaladas as durações dos tempos de concentração correspondentes às sub-bacias nas quais foi discretizada espacialmente a bacia hidrográfica.



**Figura 4.3 – Hietograma de blocos decrescentes correspondente a um período de retorno de 100 anos, para a bacia hidrográfica do rio Cuco, com indicação da duração do tempo de concentração crescente ao longo da linha de água nas diversas sub-bacias consideradas; cc1, A, cc7 e foz.**

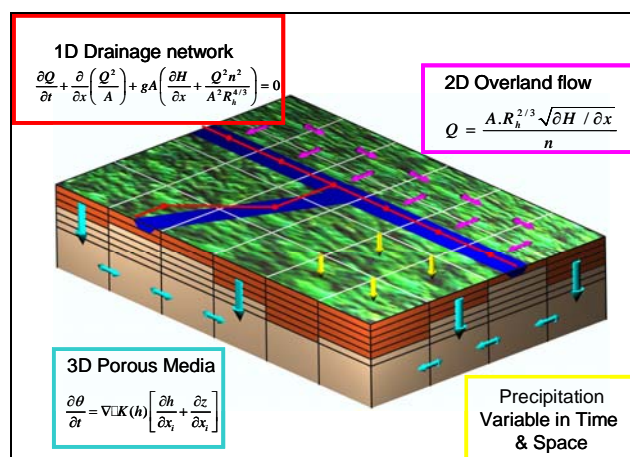
Os restantes hietogramas encontram-se na Secção 5.3 do texto.

## 5 MODELAÇÃO MATEMÁTICA

### 5.1 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO MOHID LAND

O MOHID Land utilizado para modelação do escoamento é um modelo numérico para simulação de processos em bacias hidrográficas, nomeadamente processos hidrológicos e biogeoquímicos. Este modelo está integrado no sistema de modelação MOHID e beneficia do conhecimento acumulado naquele sistema ao longo de duas décadas de desenvolvimento (e.g. Neves, 1985, Braunschweig *et al.*, 2004, Braunschweig *et al.* 2005). O MOHID Land simula de forma integrada (i) o escoamento superficial (Overland Flow), (ii) o escoamento nos canais que constituem a rede de drenagem (Drainage Network), (iii) o escoamento na zona não saturada do solo (acima do nível freático) (Porous Media) e (iv) o escoamento na zona saturada do solo (aquífero).

Estes escoamentos são interdependentes e a sua simulação integrada elimina a necessidade de hipóteses sobre as transferências entre estes domínios. A Figura 5.1 representa esquematicamente os processos hidrológicos resolvidos pelo MOHID Land. A interacção entre os diferentes processos (e.g. troca de água entre o aquífero e a rede de drenagem) é calculada dinamicamente através de gradientes hidráulicos. Cada processo apresenta escalas espaciais próprias sendo que o módulo que calcula o escoamento nos canais da rede de drenagem é uni-dimensional (1D) na direcção do canal, o módulo do escoamento superficial é bi-dimensional (2D) na horizontal, e o módulo que calcula o escoamento na zona não saturada do solo é tri-dimensional (3D).



**Figura 5.1 – Representação esquemática dos processos hidrológicos resolvidos no MOHID Land.**

Uma descrição mais detalhada do modelo MOHID Land é dada em Trancoso *et. al.* (2009).

## **5.2 DADOS DE BASE**

### **5.2.1 Considerações gerais**

Os modelos de bacia hidrográfica necessitam de informação de base que caracteriza as propriedades da bacia quanto ao escoamento, nomeadamente,

- i. Um modelo digital de terreno, para calcular o declive do terreno, a delimitação da bacia e a configuração da rede de drenagem,
- ii. Mapas de uso do solo, para calcular a quantidade de água retida pela vegetação e a resistência que o solo oferece ao escoamento,
- iii. Mapas de tipo de solo, para cálculo da taxa de infiltração.

### **5.2.2 Modelo digital do terreno**

O modelo digital de terreno (MDT) utilizado tem resolução espacial de 50 m e foi construído a partir dos pontos cotados e curvas de nível disponibilizados pela CMM (Shapes Altimetria\_PontosCotados.shp e Altimetria\_CurvasDeNivel.shp).

A rede de drenagem foi obtida com base no MDT de 50 m, utilizando o programa MOHID GIS (desenvolvido no Instituto Superior Técnico, Braunschweig *et. al.*, 2005). O algoritmo utilizado atribui a cada célula de terreno uma direcção de drenagem correspondente ao menor declive das oito células contíguas. Antes desta operação são removidas as depressões no terreno (pixéis sem direcção de drenagem) pela atribuição de novos valores a esses pixéis, correspondendo à mínima cota encontrada na fronteira da depressão.

Para cada bacia é calculada a rede de linhas de água impondo-se a localização da secção mais a jusante e uma área drenada mínima de 10 ha. Este valor corresponde à área drenada a partir da qual são desenhadas as linhas de água na carta militar 1:25 000. No total, as redes geradas apresentam uma boa correspondência com as cartas militares excepto nas zonas onde há forte intervenção humana. Nessas zonas, procede-se à correcção manual dos troços afectados.

### **5.2.3 Secções transversais**

As secções transversais de cada troço da rede de drenagem foram definidas por (i) levantamento no terreno efectuado no âmbito deste estudo e (ii) interpolação com base em

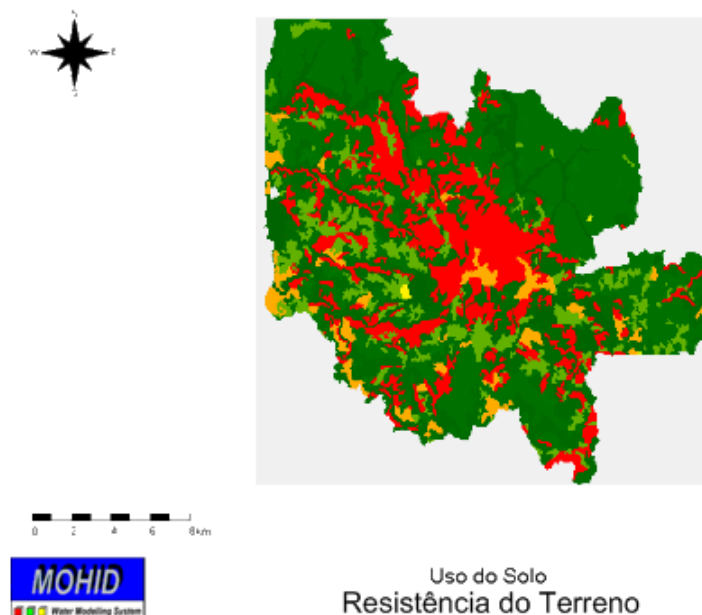
secções típicas (provenientes do levantamento de campo) e em função da ordem de Strahler (Strahler, 1952) de cada troço.

Para além da geometria da secção transversal é necessário atribuir a cada troço um coeficiente de rugosidade, que se traduz na resistência que o curso de água oferece à passagem de água. Os coeficientes foram atribuídos com base em levantamento fotográfico das secções e por interpolação em função da ordem de Strahler de cada troço.

#### 5.2.4 Carta ocupação de solo

Como referido anteriormente, o conhecimento do uso do solo permite determinar a resistência que o terreno oferece ao escoamento superficial e a quantidade de água retida pela vegetação. Os dados de uso do solo foram obtidos por cruzamento da Carta de Ocupação de Solo (escala 1:25 000) com as áreas edificadas no concelho. Ambos os conjuntos de dados foram fornecidos pela CMM.

Foram distinguidos vários tipos de ocupação do solo e atribuídos valores típicos de resistência ao escoamento. A Figura 5.2 mostra os coeficientes de resistência utilizados a partir da carta de ocupação do solo. O Quadro 5.1 mostra os valores utilizados para a parametrização do modelo hidrológico.



**Figura 5.2 – Uso do solo nas bacias hidrográficas do concelho de Mafra.**

O coeficiente de rugosidade utilizado é o coeficiente de Manning, um parâmetro empírico de resistência ao escoamento superficial. Os valores aqui apresentados resultam de recolha bibliográfica (Ponce 1989).

**Quadro 5.1 – Parâmetro de rugosidade de Manning ( $m^{-1/3}s$ ) em função do uso do solo.**

Ocupação	n de Manning
Outras Áreas Agrícolas	0.04
Floresta - Protecção e Produção	0.40
Matos e Povoamento Disperso	0.20
Áreas de Indústria e Armazenamento	0.01
Montado	0.13
Agrícola com Edificação Dispersa	0.04
Incultos Agro-Pastoris	0.025
Núcleos - Espaço Rural	0.05
Áreas em Baixa Aluvionar	0.017
Áreas Desordenadas Fragmentadas	0.10
Áreas Dispersas	0.10
Indústria Extractiva	0.012
Áreas Consolidadas	0.01
Praias	0.01
Áreas Desportivas	0.15

### 5.2.5 Tipo de solo

As propriedades hidráulicas (e.g. porosidade, condutividade em saturado) do solo são necessárias para calcular o fluxo da água: na zona saturada, na zona não saturada e o da infiltração. Sendo o modelo de infiltração tridimensional, o modelo necessita de informação sobre as propriedades em profundidade.

No caso das bacias hidrográficas do concelho de Mafra não existem cartas das propriedades hidráulicas dos solos ou informação detalhada em profundidade. Para o presente estudo considerou-se um tipo de solo igual para todas as bacias hidrográficas, com



capacidade de infiltração baixa (opção pelo lado da segurança). As propriedades hidráulicas do solo estão apresentadas no Quadro 5.2.

Considerou-se uma profundidade do solo espacialmente variável, estimado a partir do declive do terreno, variando entre 0.5 m nas zonas com declive mais acentuado até 7 m nas zonas com menor declive. Esta aproximação não é documentada na bibliografia, mas pela experiência com o modelo MOHID Land considerou-se uma aproximação válida. No âmbito do presente estudo (cheias extremas), esta informação não se revela determinante para o modelo.

A porosidade do solo indica a relação entre espaços vazios (ou preenchidos com água) e o volume total do solo.

A condutividade é um parâmetro respeitante à velocidade com a qual a água escoar no meio poroso. Em condição de saturação completa do solo, a condutividade é máxima. Para uma melhor percepção dos valores apresenta-se esta em unidades SI e em cm por dia.

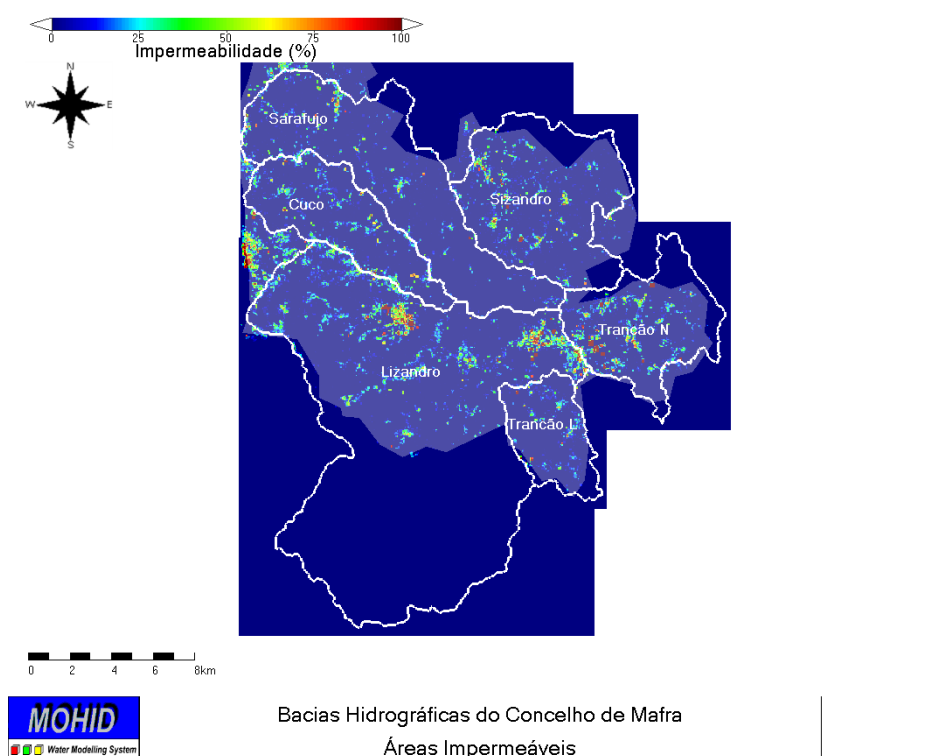
Os parâmetros “alfa” e “n” são característicos das curvas de “van Genuchten”, que relacionam a sucção do solo com o conteúdo de água (Van Genuchten, 1980).

**Quadro 5.2 – Propriedades hidráulicas típicas de um solo com baixa capacidade de infiltração.**

Propriedade	Valor
Porosidade [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]	0.4
Condutividade máxima [ $\text{m/s}$ ]	2.78E-06
Condutividade máxima [ $\text{cm/d}$ ]	23.99
Parâmetro “alfa”	0.84
Parâmetro “n”	1.5

### 5.2.6 Uso de solo

Para o risco de cheias é determinante ter em conta as zonas impermeáveis no terreno, onde não ocorre infiltração. Assim, para o cálculo da infiltração, foi utilizado o mapa de zonas edificadas do concelho, fornecido pela CMM, obtendo-se mapas de permeabilidade variável no terreno. A Figura 5.3 mostra os valores utilizados no concelho de Mafra.



**Figura 5.3 – Áreas impermeáveis no concelho de Mafra.**

### 5.2.7 Spin-up

Para cada bacia, foi efectuado um *spin-up* do modelo com simulações do mês de Novembro de 2002 (Figura 5.4), mês particularmente chuvoso e sendo por isso pior em termos de cheias, impondo ao modelo condições iniciais mais favoráveis à ocorrência de cheias.

### 5.2.8 Dados meteorológicos

A atmosfera é o agente forçador do escoamento na bacia, quer através da precipitação, quer através da evapotranspiração, sendo que esta depende do coberto vegetal, da temperatura, da velocidade do vento, da humidade e da cobertura nebulosa. Todos estes dados são medidos e registados pelo INAG em estações próprias e são disponibilizados na Internet.

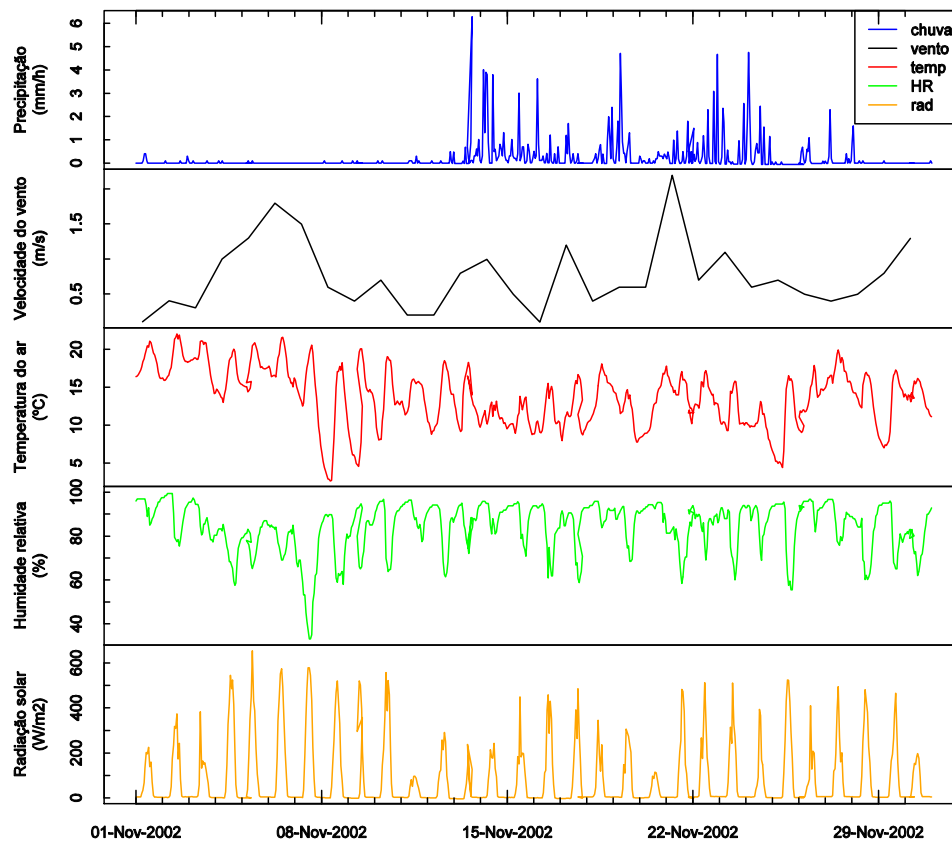
Neste estudo, foram utilizados dados de precipitação da estação udográfica Milharado, a única no concelho de Mafra com valores para o ano de 2002, dados de velocidade do vento, temperatura do ar, humidade relativa e radiação solar da estação climatológica S. Julião do Tojal, a mais próxima do concelho de Mafra e com valores para o ano 2002 (Quadro 5.3). Foram utilizados os valores desta estação para o período de arranque (“Spin-Up”) do

modelo, nomeadamente os valores de Novembro de 2002. Este mês foi um mês particularmente chuvoso, o que resulta em condições favoráveis de ocorrência de cheias.

Tendo em conta que o modelo necessita esta informação em todos os pontos de cálculo, os dados meteorológicos foram considerados constantes no espaço e variáveis no tempo para todas as bacias estudadas. É de notar que estes valores foram somente utilizados para o período de arranque do modelo. Após o arranque foram considerados os hietogramas determinados para um período de retorno de 100 anos.

**Quadro 5.3 – Características das estações meteorológicas utilizadas para a parameterização climatológica do modelo.**

Código	Nome	Tipo de Estação	Parâmetros Medidos	Latitude (°N)	Longitude (°W)
20B/06UG	Milharado	Udográfica	Precipitação (mm/h)	38.94978	9.20242
20C/01C	S. Julião do Tojal	Climatológica	Velocidade do vento (m/s) Temperatura do ar (°C) Humidade relativa (%) Radiação solar (W/m2)	38.84256	9.12261



**Figura 5.4 – Condições meteorológicas utilizadas na simulação das bacias hidrográficas para o *spin-up*. De cima para baixo: precipitação, velocidade do vento, temperatura do ar, humidade relativa e radiação solar para o mês de Novembro de 2002. Fonte: INAG ([www.snirh.pt](http://www.snirh.pt))**

### 5.2.9 Hietogramas correspondentes a um período de retorno de 100 anos

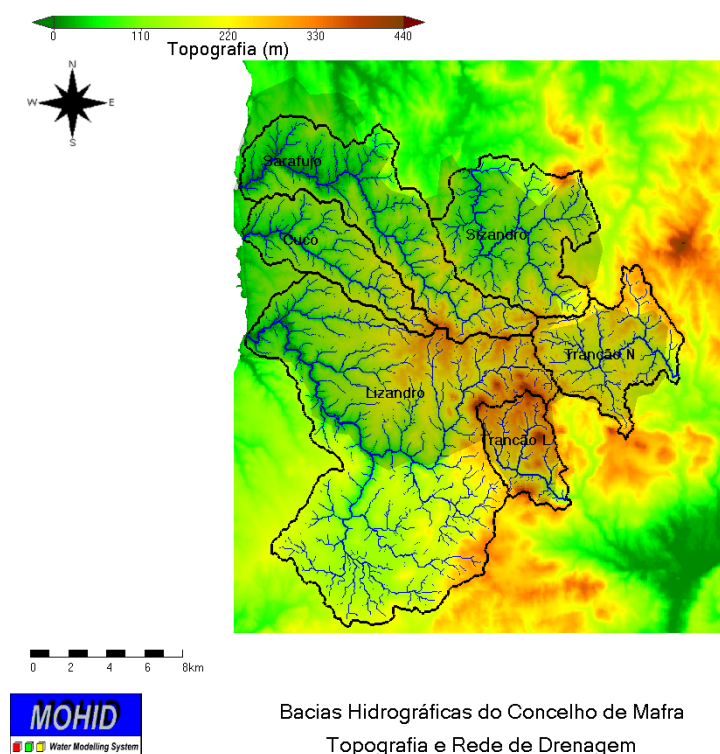
Para simular as cheias com um período de retorno de 100 anos foram elaborados, no âmbito deste estudo, hietogramas para cada bacia hidrográfica.

Para cada bacia, após o período de *Spin-up* foram efectuadas duas simulações, uma considerando um hietograma de blocos “alternados” e outro considerando um hietograma de blocos “decrecentes” (ver 4.5).

## 5.3 PARAMETERIZAÇÃO E RESULTADOS DO MODELO

### 5.3.1 Introdução

No âmbito do presente estudo foram simulados, com o modelo MOHID Land, as seguintes bacias hidrográficas: (i) Lizandro, Cuco, Safarujo, Sizandro, Trancão (rib. Loures) e Trancão (rio Trancão). Estas bacias são representadas na Figura 5.5.



**Figura 5.5 – Topografia e rede de drenagem das bacias hidrográficas no Concelho de Mafra (Trancão N refere-se à parte Norte do rio Trancão e Trancão L refere-se à ribeira de Loures). O concelho de Mafra está representado pelo polígono a cinzento semi-transparente.**

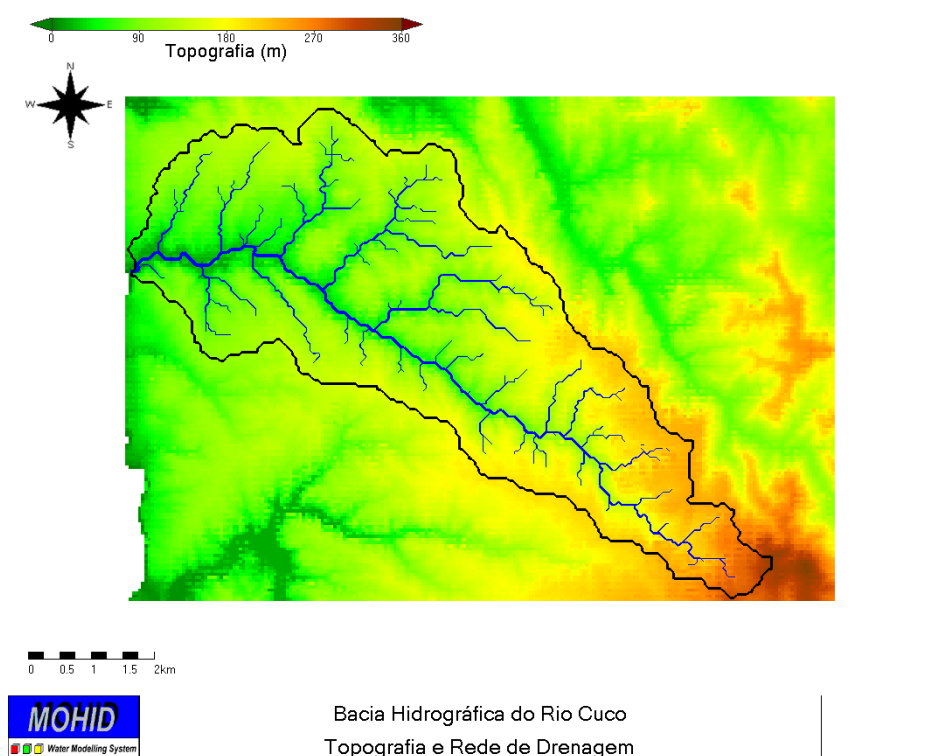
Apresentam-se de seguida, para cada bacia hidrográfica, os dados mais relevantes utilizados para a modelação matemática e os resultados que foram utilizados para a elaboração do Mapa de Inundação.

Comparando os resultados da modelação matemática com registos de cheias disponíveis no concelho de Mafra, observa-se que a modelação matemática apresenta geralmente uma boa concordância com os dados observados.

## 5.3.2 Bacia hidrográfica do rio Cuco

### 5.3.2.1 Malha / DTM / rede de drenagem

A bacia hidrográfica do rio Cuco tem uma área drenada total de cerca de 31 km<sup>2</sup> e altitude variando entre 1.5 e 357 m acima do nível do mar (Figura 5.6). Para o estudo do risco de cheias, foi utilizado um modelo digital de terreno com 50 m de resolução numa malha de 150x225 pixéis, com 7 camadas verticais de solo e 1081 canais de drenagem.

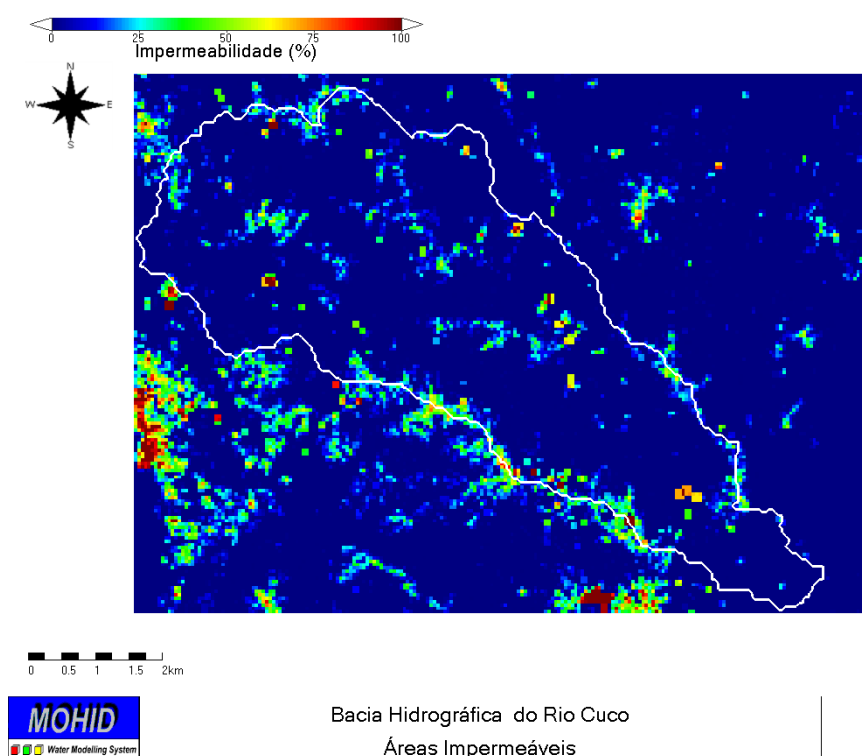


**Figura 5.6 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Cuco.**

Para definir as secções transversais do terreno consideradas na modelação foram utilizados os levantamentos de campo. Esta informação encontra-se detalhada no ANEXO 1.

### 5.3.2.2 Áreas impermeáveis

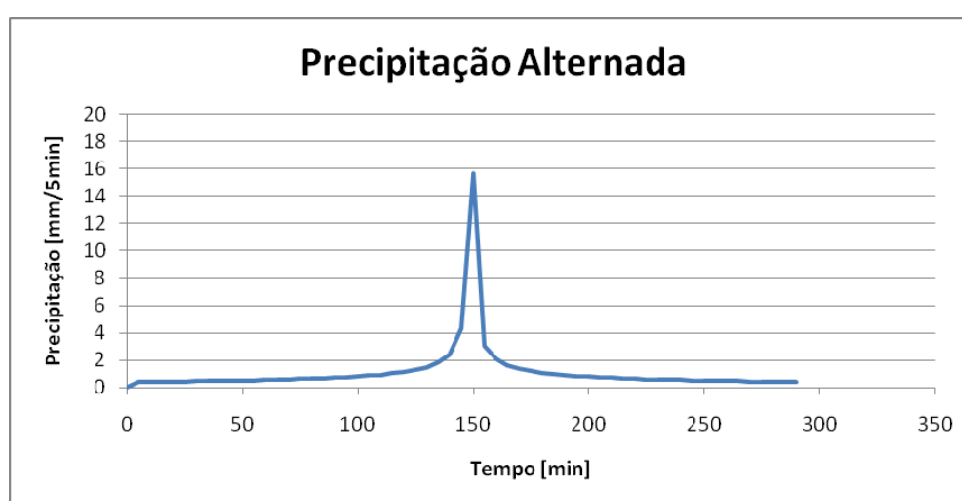
As áreas impermeáveis foram estimadas a partir da informação fornecida pela CMM e encontram-se representadas na Figura 5.7.



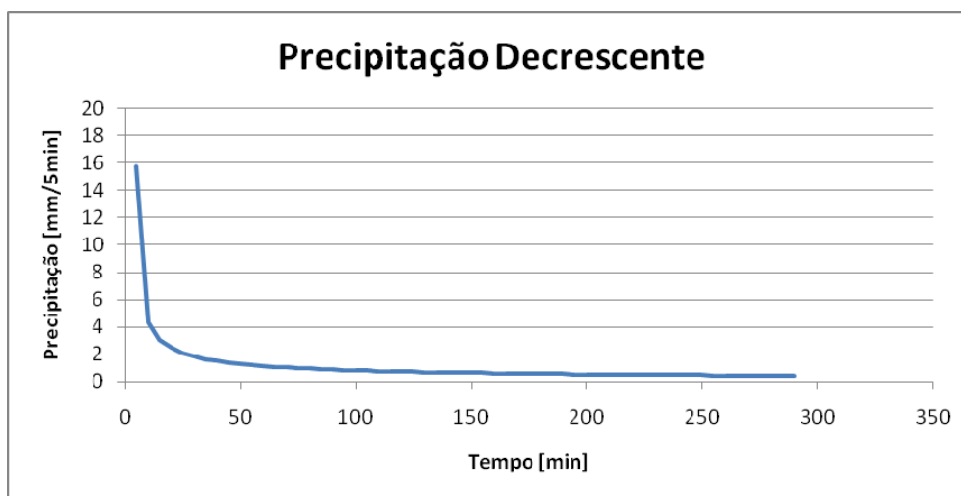
**Figura 5.7 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Cuco.**

### 5.3.2.3 Hietograma alternado / decrescente

Os hietogramas utilizados na modelação da bacia hidrográfica do rio Cuco estão representados na Figura 5.8 e na Figura 5.9.



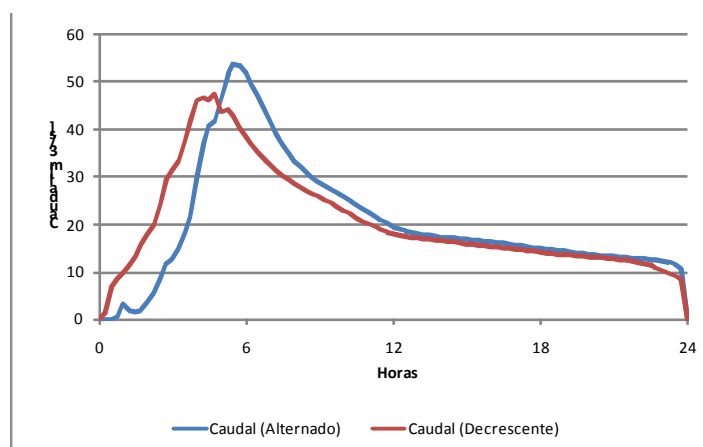
**Figura 5.8 – Hietograma com blocos alternados**



**Figura 5.9 – Hietograma com blocos decrescentes**

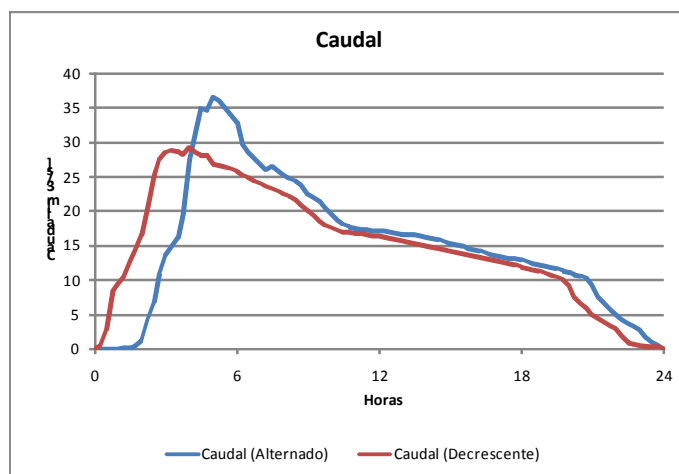
#### 5.3.2.4 Resultados

Apresentam-se os hidrogramas de cheia obtidos com a modelação matemática nos seguintes pontos: na foz e secção cc7 (a montante de Santo Isidoro). Os resultados respeitantes às alturas de escoamento encontram-se representados no Mapa de Inundação (DESENHO 2).



**Figura 5.10 – Hidrograma de cheia na foz do rio Cuco resultante de uma cheia associada a um período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**





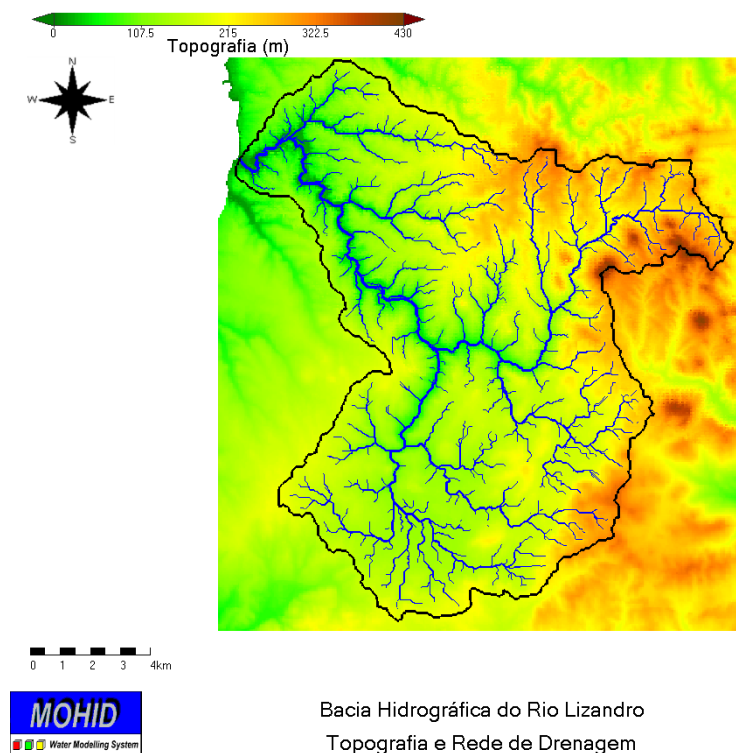
**Figura 5.11 – Hidrograma de cheia no ponto cc7 resultando de cheia associada a um período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**

Dos resultados apresentados observa-se que o caudal máximo esperado, para uma cheia associada a um período de retorno de 100 anos é na ordem de  $54 \text{ m}^3/\text{s}$  na foz do rio Cuco. O tempo entre o início da precipitação e a passagem do caudal de ponta é cerca de 4,2 h.

### 5.3.3 Bacia hidrográfica do rio Lizandro

#### 5.3.3.1 Malha / DTM / rede de drenagem

A bacia hidrográfica do rio Lizandro tem uma área drenada total de cerca de  $168 \text{ km}^2$  e altitudes variando entre 0 e 429 m acima do nível do mar (Figura 5.12). Embora apenas a parte mais a jusante e um dos dois rios principais da bacia pertençam ao concelho de Mafra, para se avaliar o risco de cheias no concelho é necessário simular o escoamento em toda a bacia. Para tal foi utilizado um modelo digital de terreno com 50 m de resolução numa malha de  $382 \times 342$  pixéis, com 7 camadas verticais de solo, e 5927 canais de drenagem.

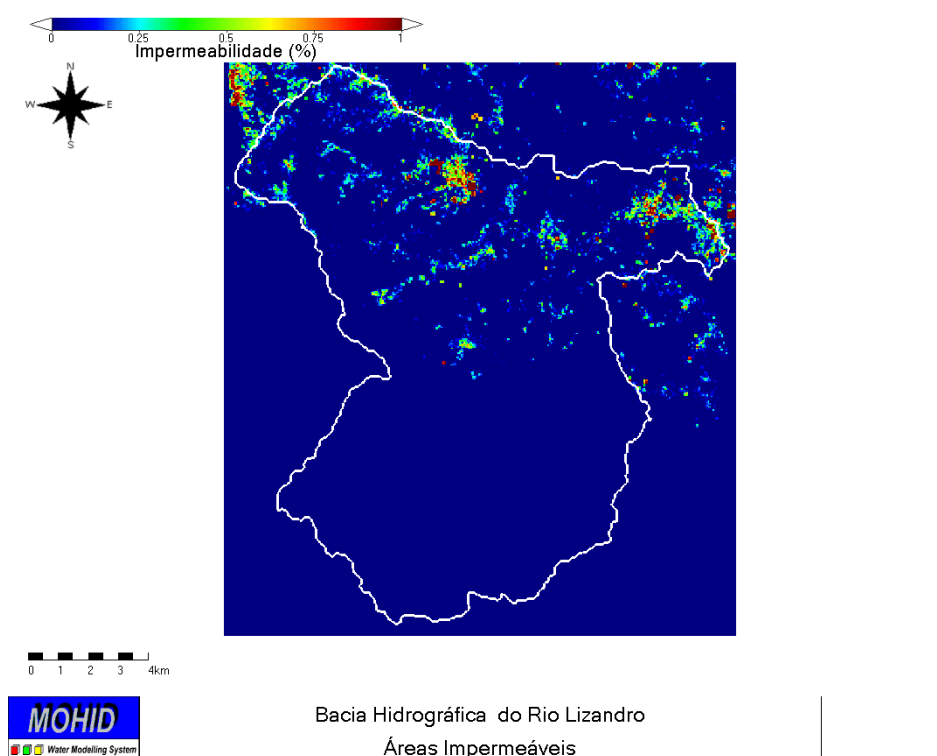


**Figura 5.12 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Lizandro.**

Para estimar as secções transversais do terreno foram utilizados os levantamentos de campo. Esta informação encontra-se detalhada no ANEXO 2.

### **5.3.3.2 Áreas impermeáveis**

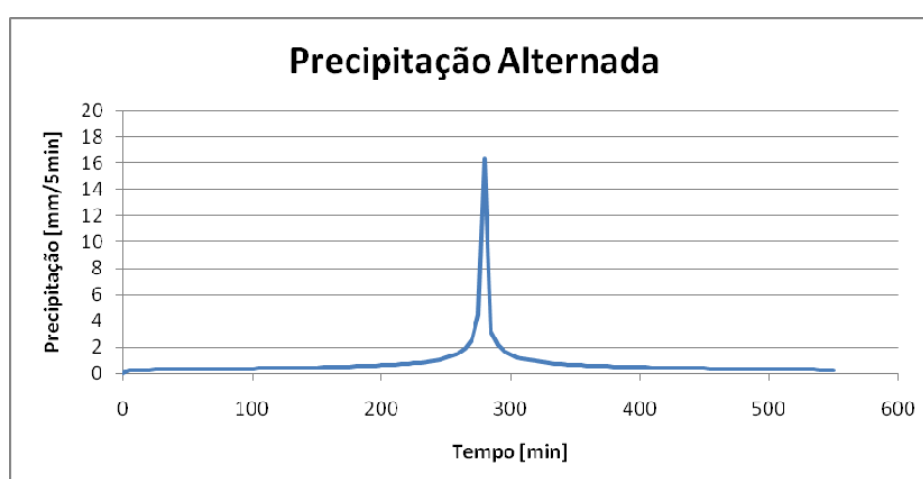
As áreas impermeáveis foram estimadas a partir da informação fornecida pela CMM e encontram-se representadas na Figura 5.13.



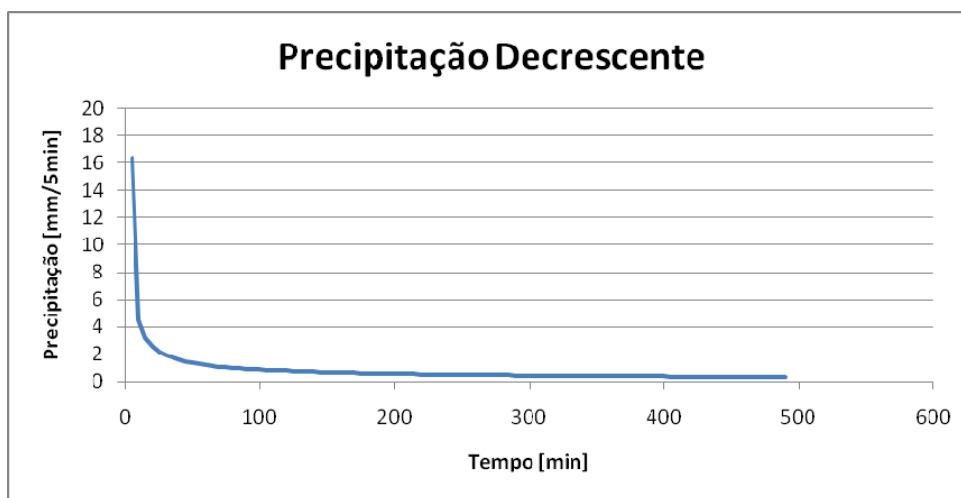
**Figura 5.13 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Lizandro.**

### 5.3.3.3 Hietograma alternado / decrescente

Os hietogramas utilizados na modelação da bacia hidrográfica do rio Lizandro estão representados na Figura 5.14 e na Figura 5.15.



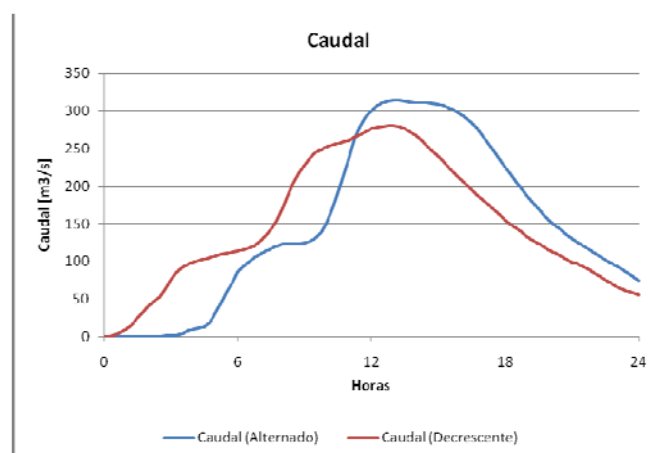
**Figura 5.14 – Hietograma com blocos alternados**



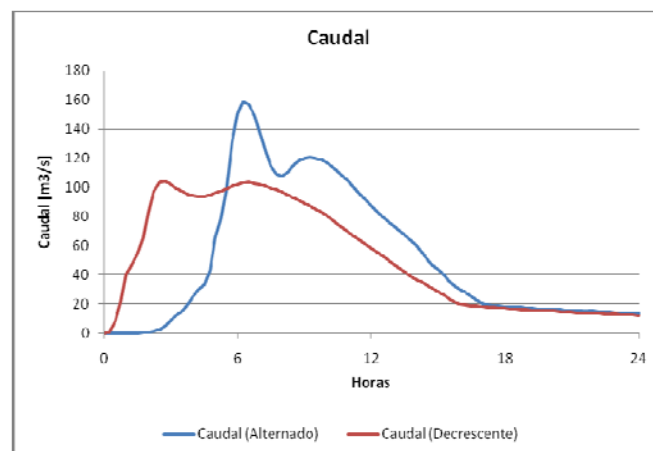
**Figura 5.15 – Hietograma com blocos decrescentes**

#### 5.3.3.4 Resultados

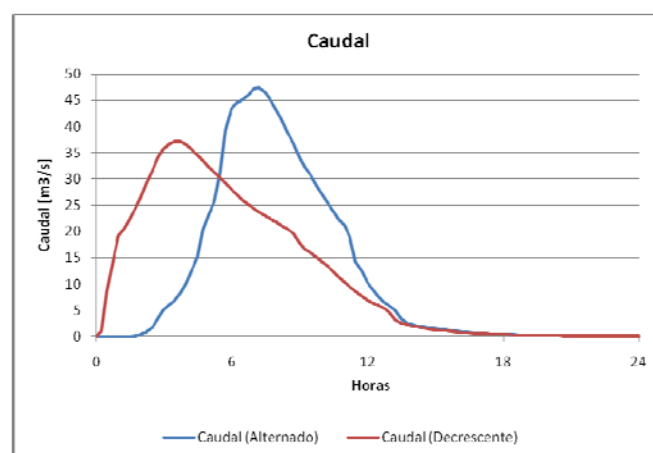
Apresentam-se os hidrogramas de cheia obtidos com a modelação matemática nos seguintes pontos: Secção li63 (perto da foz), Secção li51 (a jusante de Cheleiros), Secção li35 (a jusante da Malveira) e Secção li22 (na Venda do Pinheiro). Os resultados respeitantes às alturas de escoamento encontram-se representados no Mapa de Inundação (DESENHO 2).



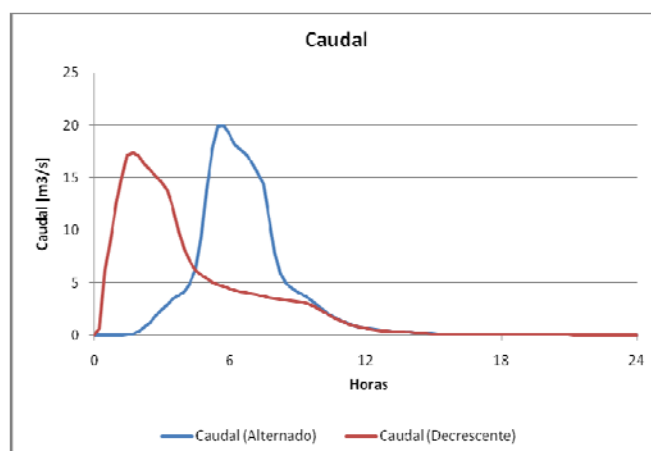
**Figura 5.16 – Hidrograma de cheia no ponto li63 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



**Figura 5.17 – Hidrograma de cheia no ponto li51 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



**Figura 5.18 – Hidrograma de cheia no ponto li35 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



**Figura 5.19 – Hidrograma de cheia no ponto li22 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**

Dos resultados apresentados observa-se que o caudal máximo esperado, para uma cheia associada a um período de retorno de 100 anos, é da ordem dos 315 m<sup>3</sup>/s na foz do rio Lizandro. O tempo que passa entre o início da precipitação e a passagem do caudal de ponta é cerca de 13 h.

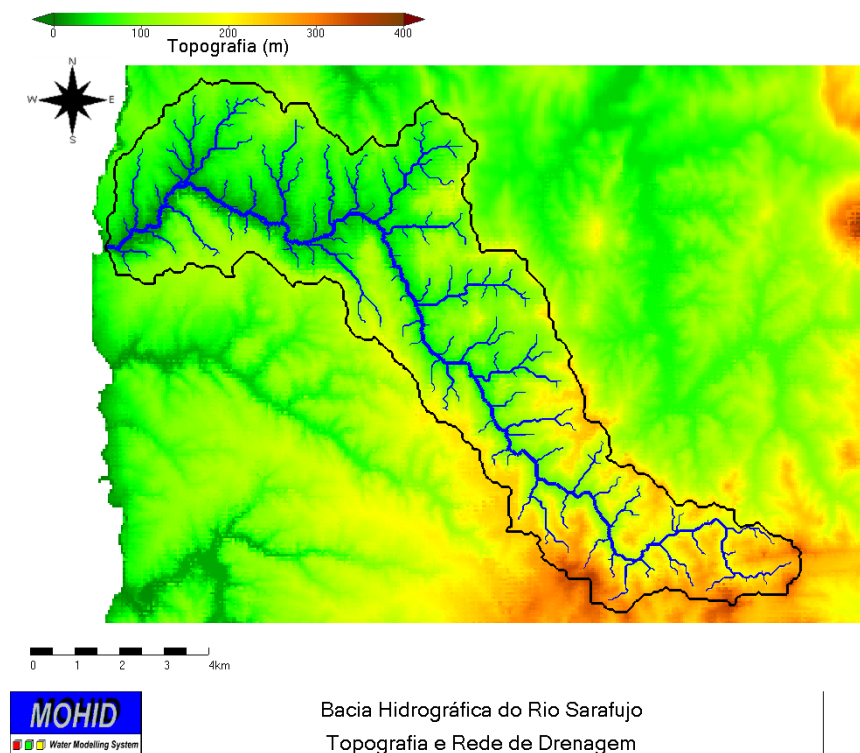
Em Cheleiros o caudal pode chegar a 160 m<sup>3</sup>/s, a jusante da Malveira, perto da Quinta das Pegas, a 50 m<sup>3</sup>/s e na Venda do Pinheiro (li22) a 20 m<sup>3</sup>/s. De notar que o tempo de chegada do pico do hidrograma de cheia na Venda do Pinheiro pode ser somente de 1,5 h.

Realça-se que no início da povoação do Venda do Pinheiro, perto da linha de fecho da bacia do rio Lizandro, o pico do hidrograma de cheia apenas leva apenas 0,5 h a acontecer, após o início da precipitação considerada.

### 5.3.4 Bacia hidrográfica do rio Safarujó

#### 5.3.4.1 Malha / DTM / rede de drenagem

A bacia hidrográfica do rio Safarujó tem uma área drenada total de cerca de 59 km<sup>2</sup> e altitudes variando entre 0 e 357 m acima do nível do mar (Figura 5.20). Para o estudo do risco de cheias, foi utilizado um modelo digital de terreno com 50 m de resolução numa malha de 240x320 pixels, com 7 camadas verticais de solo, e 2101 canais de drenagem.

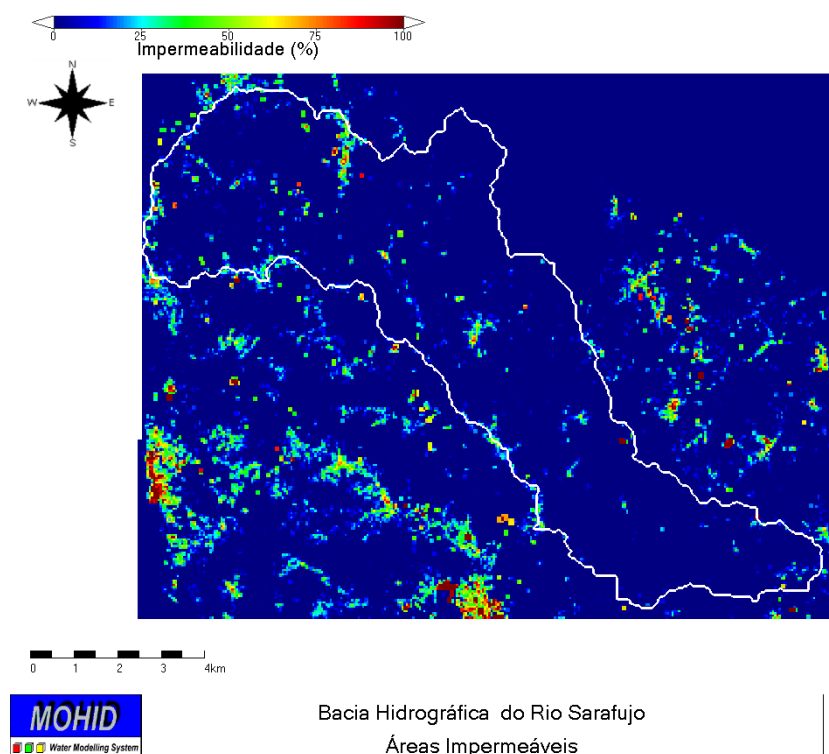


**Figura 5.20 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Safarjuo.**

Para estimar as secções transversais do terreno foram utilizados os levantamentos de campo. Esta informação encontra-se detalhada no ANEXO 3.

#### 5.3.4.2 Áreas impermeáveis

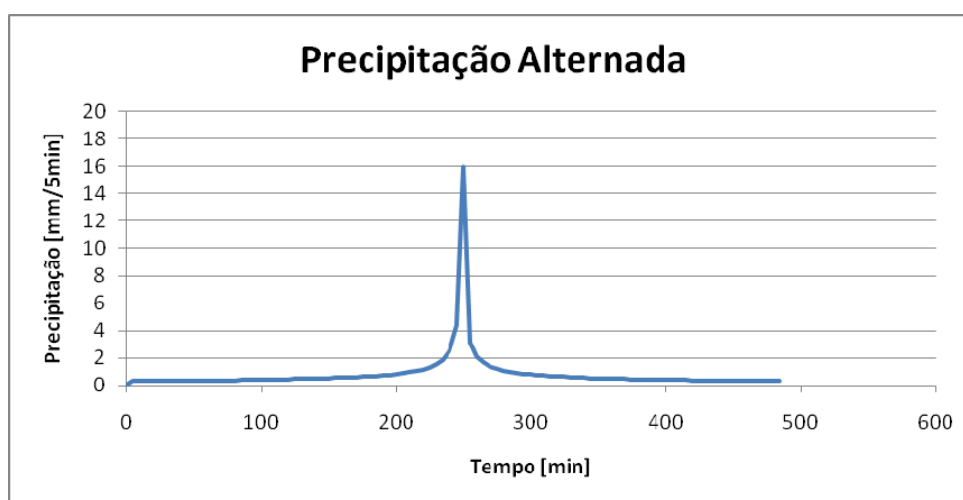
As áreas impermeáveis foram estimadas a partir da informação fornecida pela CMM e encontram-se representadas na Figura 5.21.



**Figura 5.21 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Safaraju.**

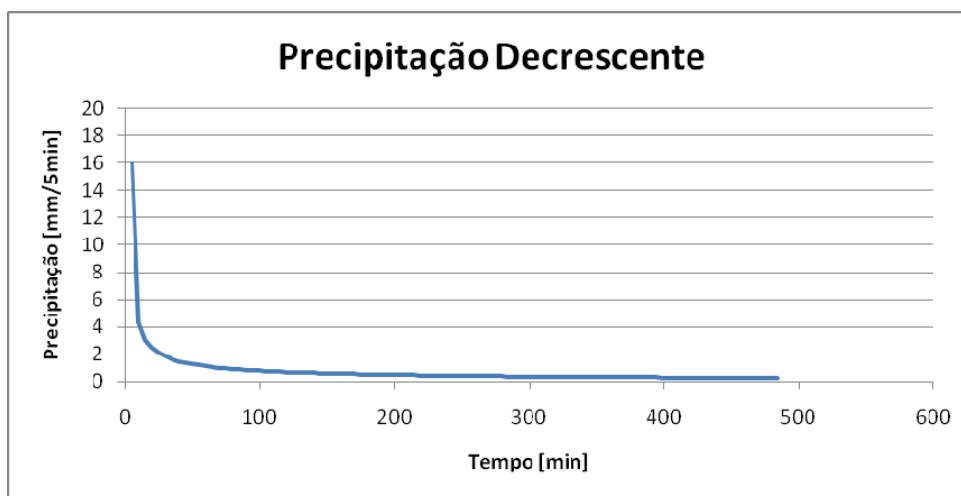
#### 5.3.4.3 Hietograma alternado / decrescente

Os hietogramas utilizados na modelação da bacia hidrográfica do Safaraju estão representados na Figura 5.22 e na Figura 5.23.



**Figura 5.22 – Hietograma com blocos alternados**

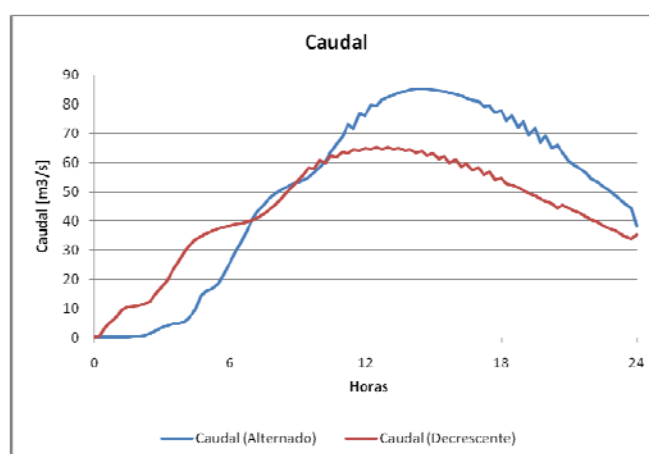




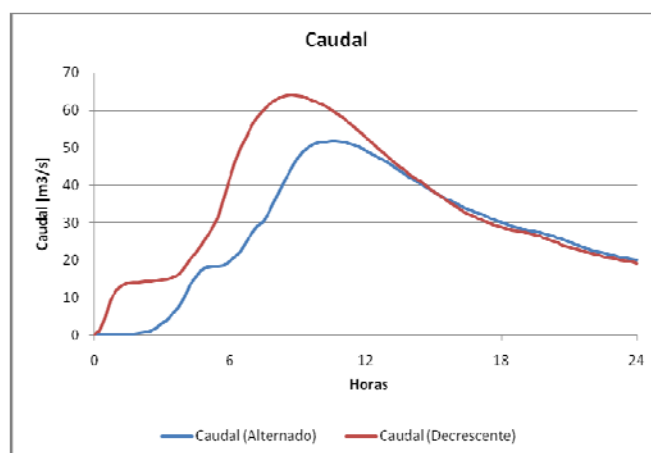
**Figura 5.23 – Hietograma com blocos decrescentes**

#### 5.3.4.4 Resultados

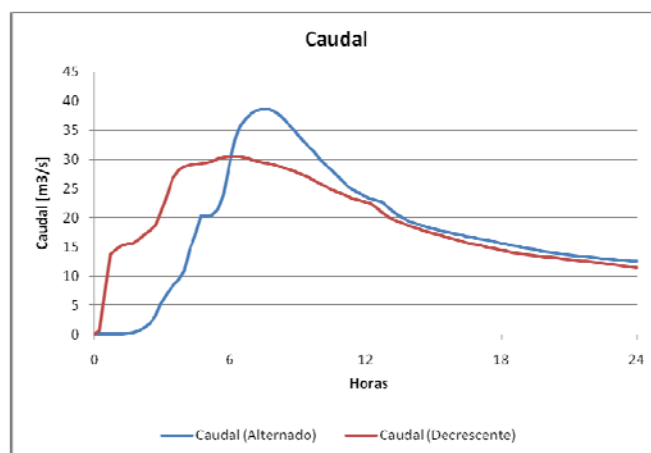
Apresentam-se os hidrogramas de cheia obtidos com a modelação matemática nos seguintes pontos: na foz, Secção sf24 (entre São Domingos e Quintas) e secção sf9 (perto de Mugeira). Os resultados respeitantes às alturas de escoamento encontram-se representados no Mapa de Inundação (DESENHO 2).



**Figura 5.24 – Caudal na foz do rio Safarujó resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



**Figura 5.25 – Hidrograma de cheia no ponto sf24 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



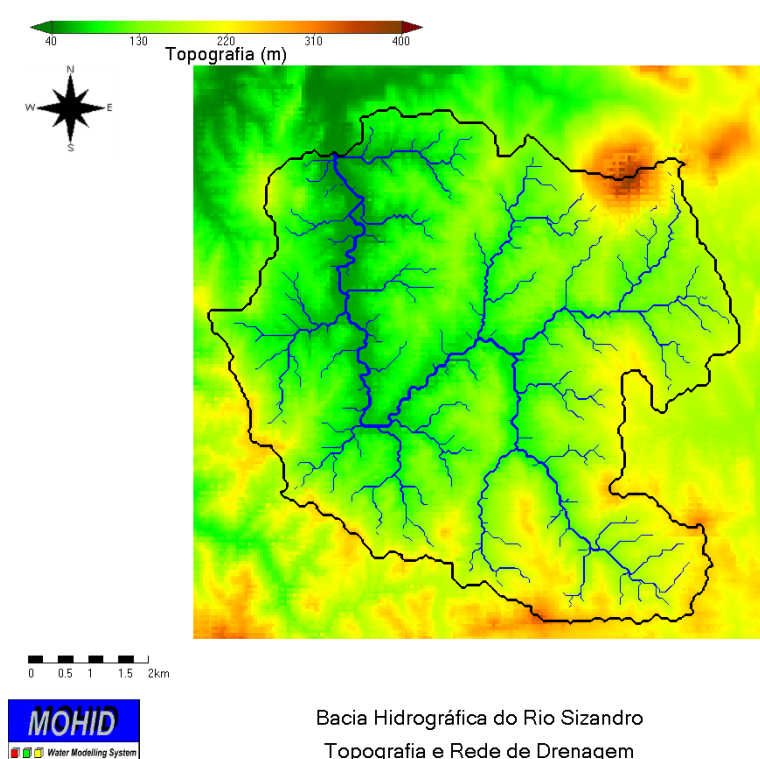
**Figura 5.26 – Hidrograma de cheia no ponto sf9 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**

Dos resultados apresentados observa-se que o caudal máximo esperado, para um período de 100 anos é na ordem dos 85 m<sup>3</sup>/s na foz do rio Safarujo. O tempo considerado entre o início da precipitação e a passagem do caudal de ponta é de 12 h. Nas Secções sf24 e sf9 os caudais máximos atingidos são da ordem de 65 m<sup>3</sup>/s e 40 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

### 5.3.5 Bacia hidrográfica do Sizandro

#### 5.3.5.1 Malha / DTM / rede de drenagem

A região da bacia hidrográfica do rio Sizandro que se encontra no interior do concelho de Mafra tem uma área drenada total de cerca de 47 km<sup>2</sup> e altitudes variando entre 41 e 393 m acima do nível do mar (Figura 5.27). Para o estudo do risco de cheias, foi utilizado um modelo digital de terreno com 50 m de resolução numa malha de 190x180 pixéis, com 7 camadas verticais de solo, e 1754 canais de drenagem.

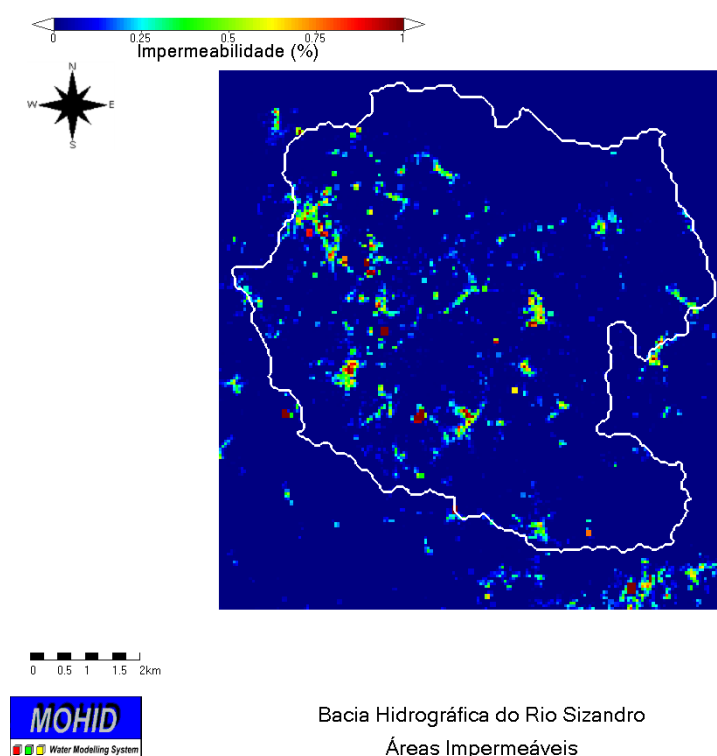


**Figura 5.27 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Sizandro (no interior do concelho de Mafra)**

Para estimar as secções transversais do terreno foram utilizados os levantamentos de campo. Esta informação encontra-se detalhada no ANEXO 4.

#### 5.3.5.2 Áreas impermeáveis

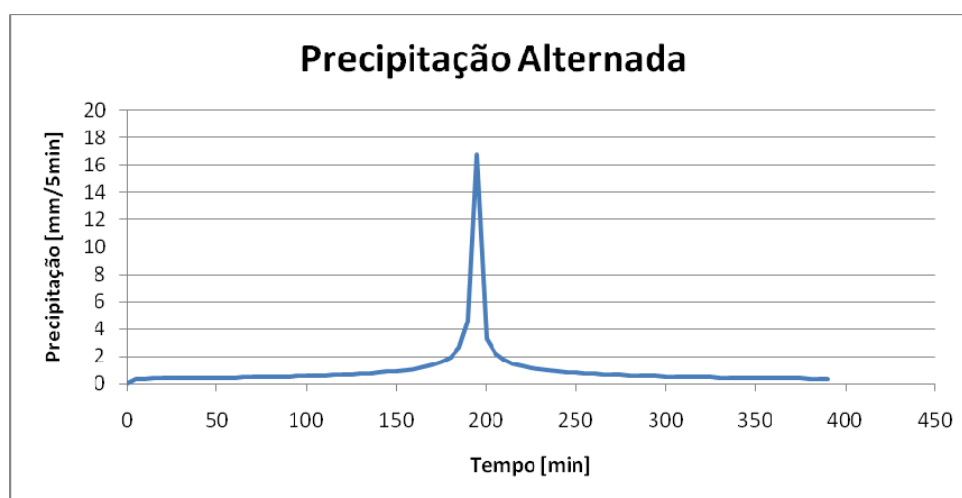
As áreas impermeáveis foram estimadas a partir da informação fornecida pela CMM e encontram-se representadas na Figura 5.28.



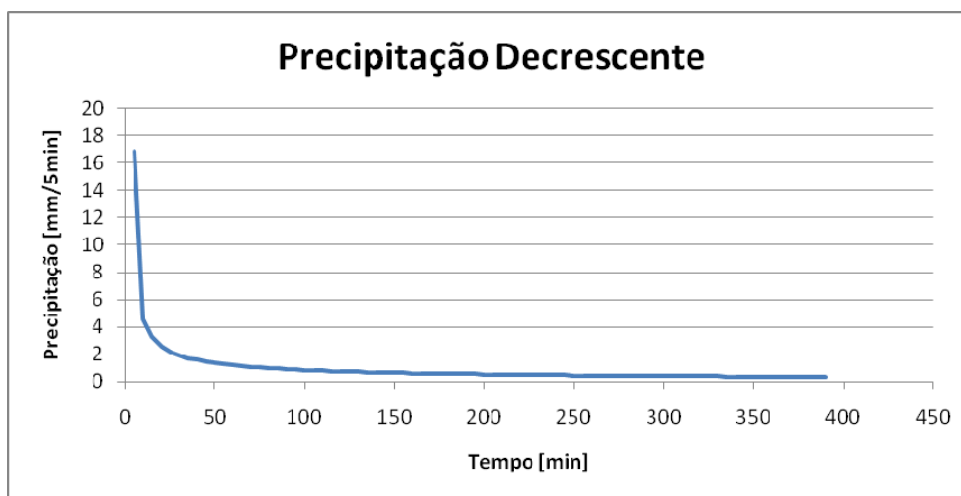
**Figura 5.28 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Sizandro (no interior do concelho de Mafra).**

### 5.3.5.3 Hietograma alternado / decrescente

Os hietogramas utilizados na modelação da bacia hidrográfica do rio Sizandro estão representados na Figura 5.29 e na Figura 5.30.



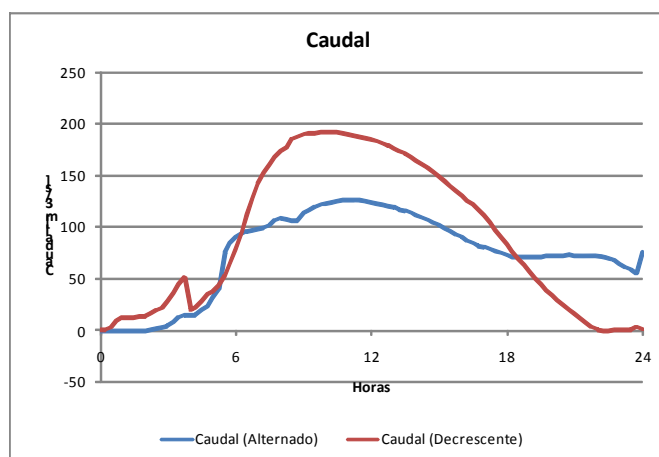
**Figura 5.29 – Hietograma com blocos alternados**



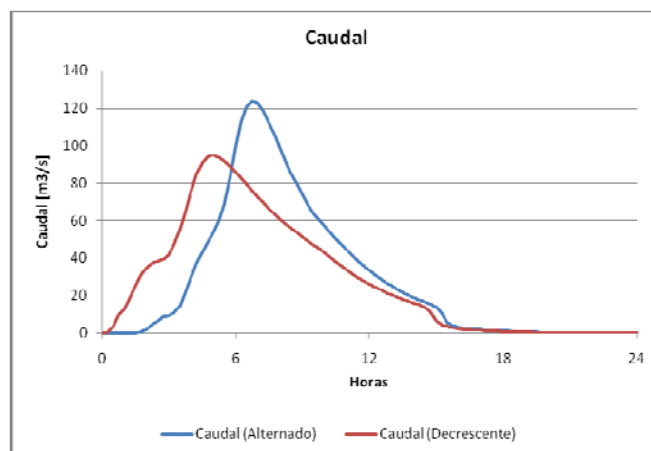
**Figura 5.30 – Hietograma com blocos decrescentes**

#### 5.3.5.4 Resultados

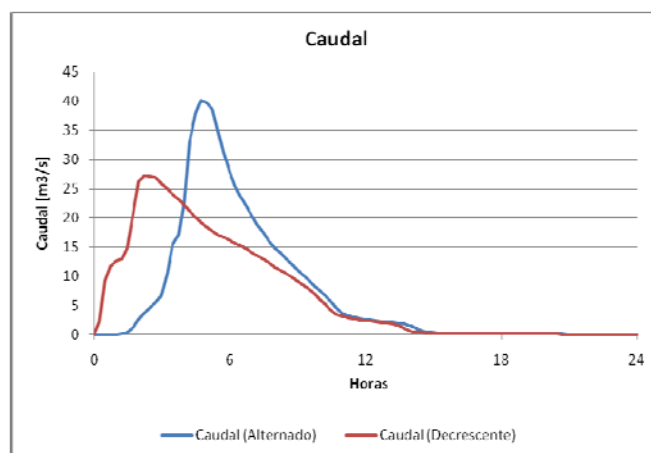
Apresentam-se os hidrogramas de cheia obtidos com a modelação matemática nos seguintes pontos: na secção limite do concelho de Mafra (a jusante de Freixofera), Secção sz14 (junto a Barras) e Secção sz6 (junto a Vila Pouca). Os resultados das alturas da água encontram-se representados no Mapa de Inundação.



**Figura 5.31 – Caudal na secção limite no concelho de Mafra resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



**Figura 5.32 – Hidrograma de cheia no ponto sz14 (junto a Barras) resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**



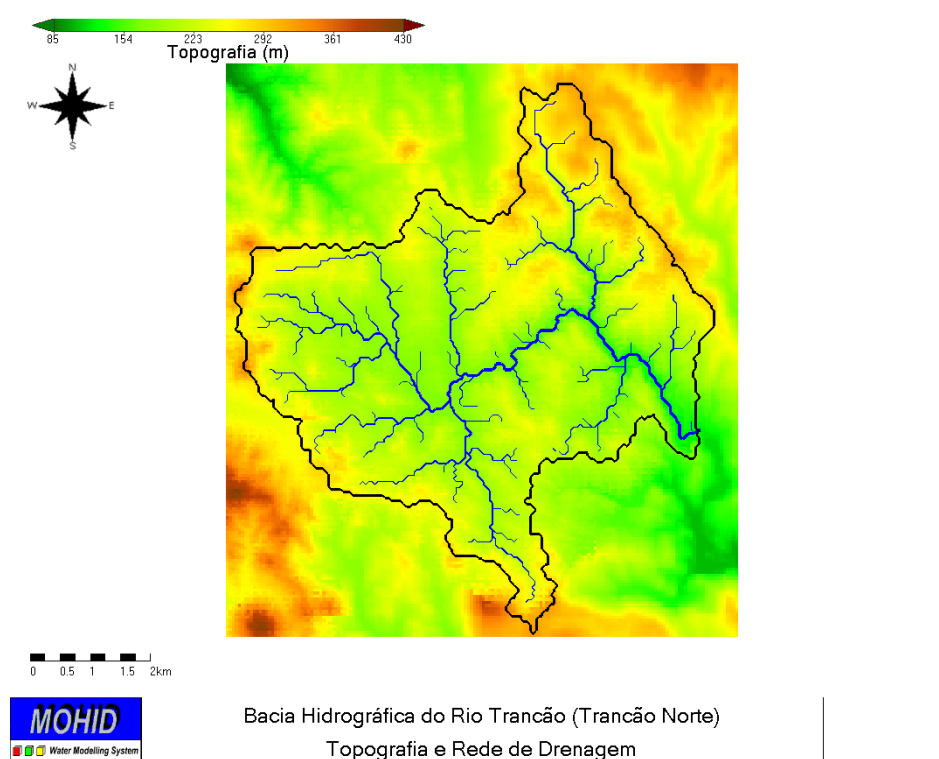
**Figura 5.33 – Hidrograma de cheia no ponto sz6 resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**

Dos resultados apresentados observa-se que o caudal máximo esperado no rio Sizandro, no limite do concelho de Mafra e para um período de retorno de 100 anos, é da ordem de  $190 \text{ m}^3/\text{s}$ . O tempo entre o início da precipitação e a passagem do caudal de ponta é cerca de 10 h. Em Barras (sz14) o caudal pode chegar até  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.3.6 Bacia hidrográfica do rio Trancão (rio Trancão)

#### 5.3.6.1 Malha / DTM / rede de drenagem

Esta bacia corresponde à sub-bacia da cabeceira do rio Trancão que pertence ao concelho de Mafra. Tem uma área drenada de cerca de 32 km<sup>2</sup> e altitude variando entre 108 e 380 m acima do nível do mar (Figura 5.34). Para o estudo do risco de cheias, foi utilizado um modelo digital de terreno com 50 m de resolução numa malha de 120x150 pixéis, com 7 camadas verticais de solo e 1078 canais de drenagem.

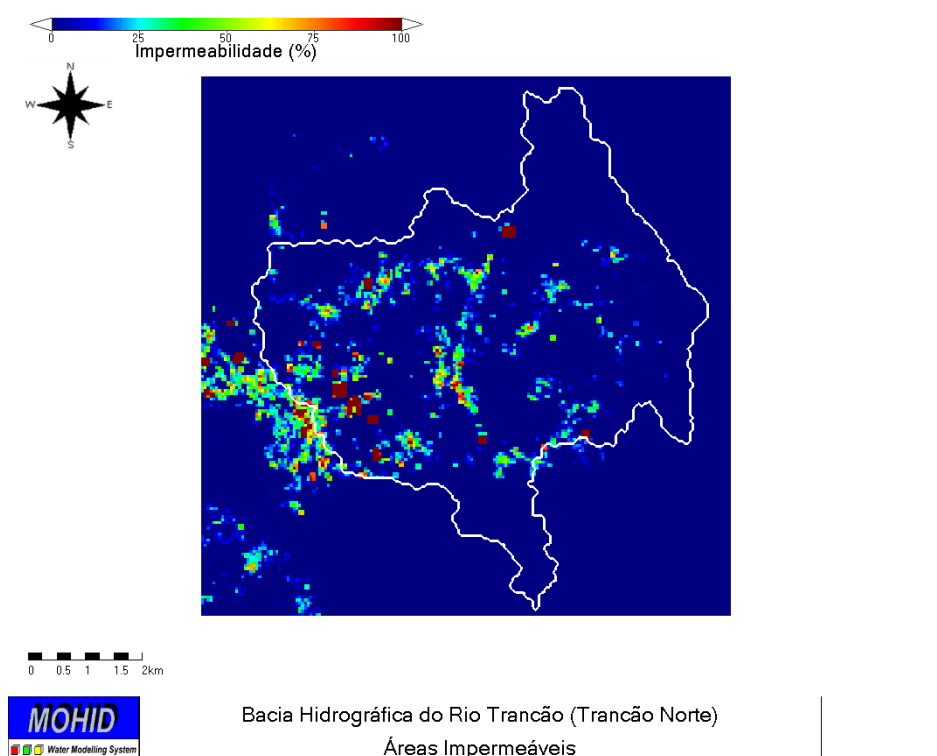


**Figura 5.34 – Topografia e rede de drenagem na bacia hidrográfica do rio Trancão – troço Norte do rio Trancão (no interior do concelho de Mafra).**

Para estimar as secções transversais do terreno foram utilizados os levantamentos de campo. Esta informação encontra-se detalhada no ANEXO 5.

#### 5.3.6.2 Áreas impermeáveis

As áreas impermeáveis foram estimadas a partir da informação fornecida pela CMM e encontram-se representadas na Figura 5.35.



**Figura 5.35 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Trancão – troço Norte do rio Trancão no interior do concelho de Mafra.**

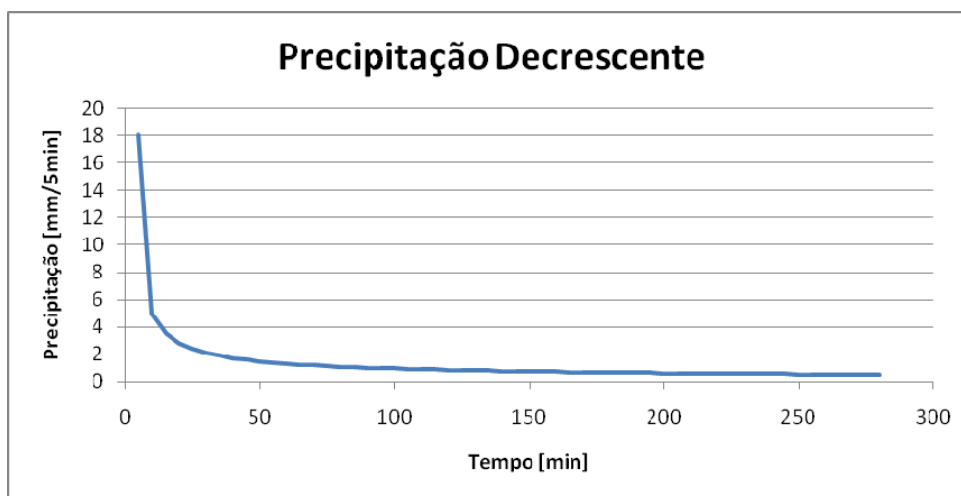
### 5.3.6.3 Hietograma alternado / decrescente

Os hietogramas de precipitação utilizados na modelação da bacia hidrográfica do rio Trancão (rio Trancão) estão representados na Figura 5.36 e na Figura 5.37.



**Figura 5.36 – Hietograma com blocos alternados**

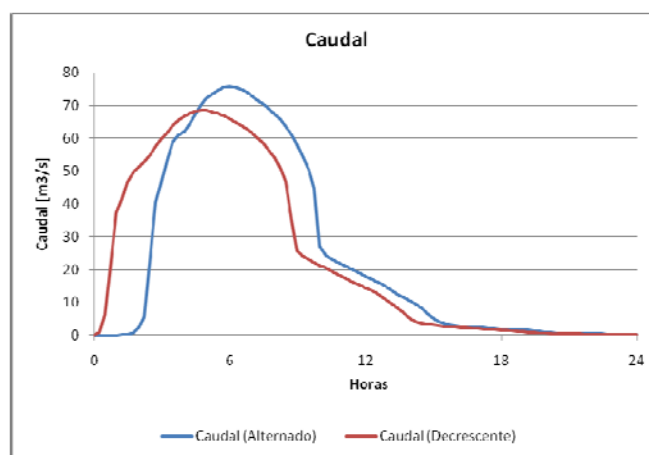




**Figura 5.37 – Hietograma com blocos decrescentes**

#### 5.3.6.4 Resultados

Apresentam-se os hidrogramas de cheia obtidos com a modelação matemática na secção limite da sub-bacia do rio Trancão no interior do concelho de Maфра. Os resultados das alturas da água encontram-se representados no Mapa de Inundação.



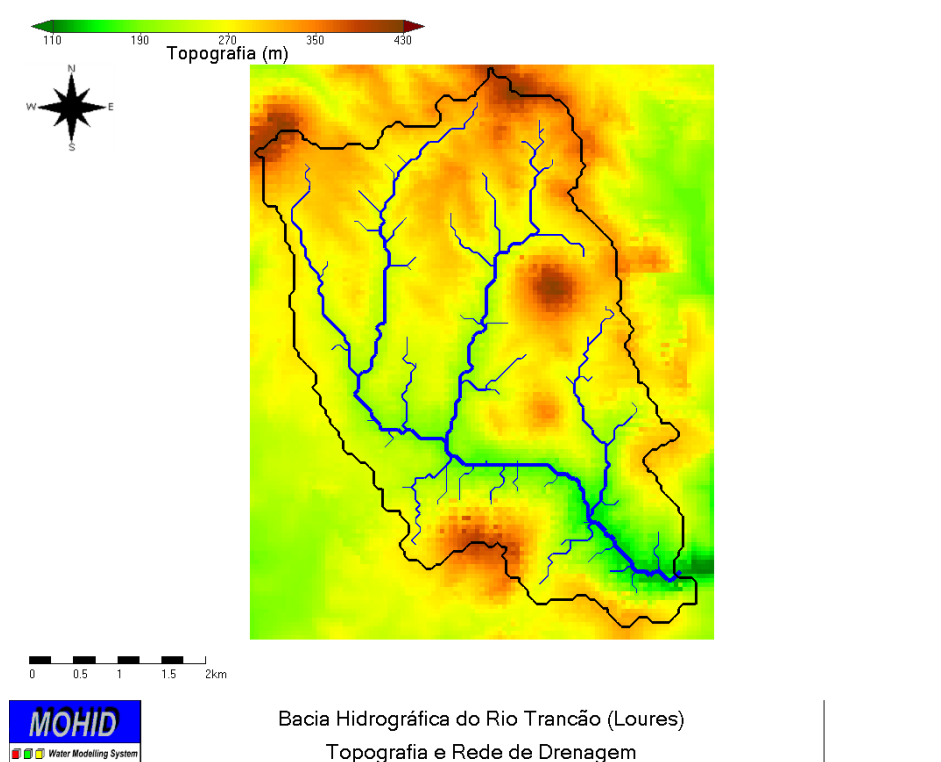
**Figura 5.38 – Caudal na bacia do rio Trancão na secção limite do concelho de Maфра, resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**

Dos resultados apresentados observa-se que o caudal máximo esperado no rio Trancão no limite do concelho de Maфра e para um período de retorno 100 anos é da ordem de  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ . O tempo entre o início da precipitação e a passagem do caudal de ponta nesta secção é cerca de 5 h.

### 5.3.7 Trancão (ribeira de Loures)

#### 5.3.7.1 Malha / DTM / rede de drenagem

Esta bacia corresponde à sub-bacia da cabeceira do rio Trancão que pertence ao concelho de Mafra designada por ribeira de Loures. Tem uma área drenada de cerca de 18 km<sup>2</sup> e altitudes variando entre 111 e 428 m acima do nível do mar (Figura 5.39). Para o estudo do risco de cheias, foi utilizado um modelo digital de terreno com 50m de resolução numa malha de 150x120 pixéis, com 7 camadas verticais de solo e 602 canais de drenagem.

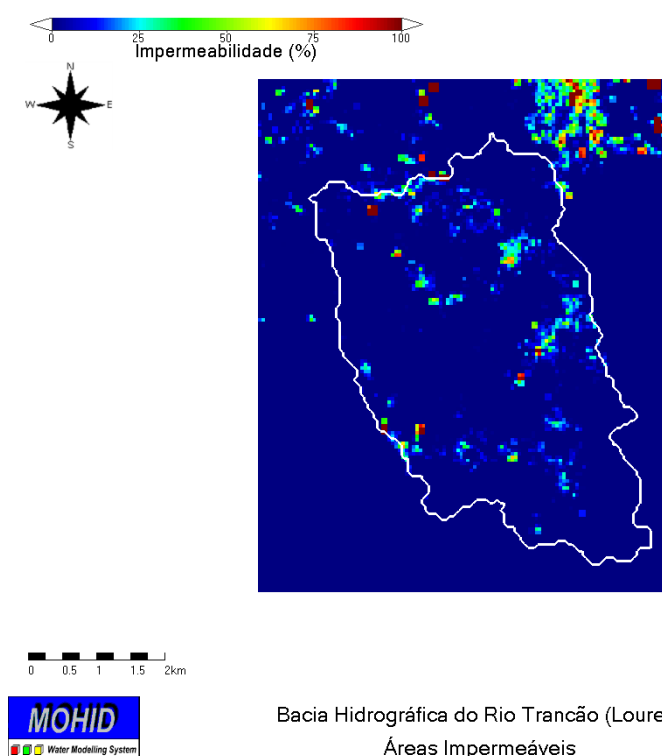


**Figura 5.39 – Topografia e rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Trancão – ribeira de Loures.**

Para estimar as secções transversais do terreno foram utilizados os levantamentos de campo. Esta informação encontra-se detalhada no ANEXO 6.

#### 5.3.7.2 Áreas impermeáveis

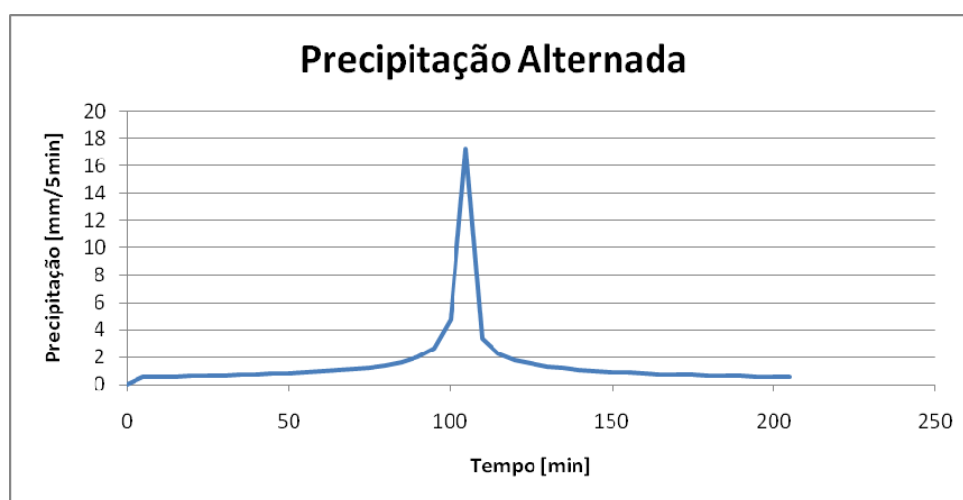
As áreas impermeáveis foram estimadas a partir da informação fornecida pela CMM e encontram-se representadas na Figura 5.40.



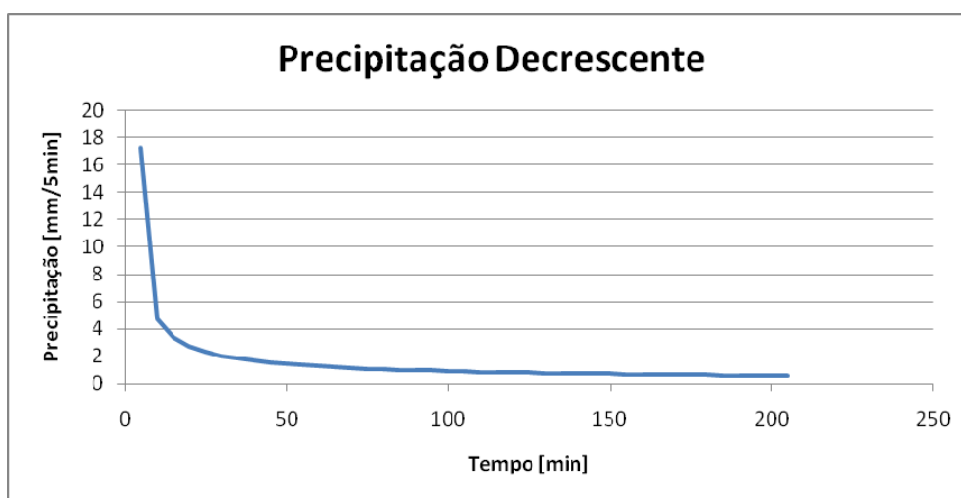
**Figura 5.40 – Áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do rio Trancão – ribeira de Loures.**

### 5.3.7.3 Hietograma alternado / decrescente

Os hietogramas de precipitação utilizados na modelação da bacia hidrográfica do rio Trancão (ribeira de Loures) estão representados na Figura 5.41 e na Figura 5.42.



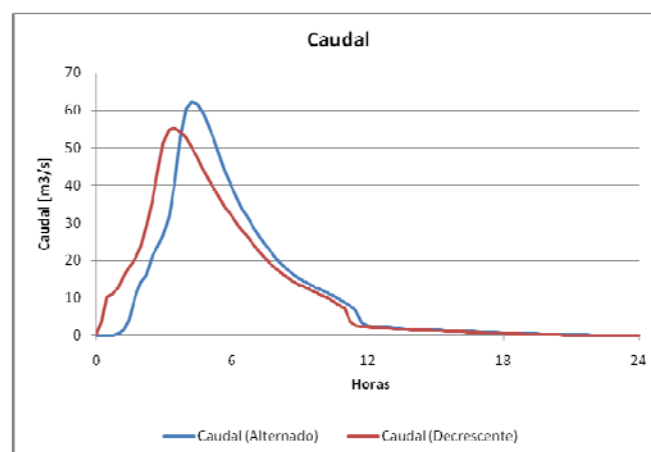
**Figura 5.41 – Hietograma com blocos alternados**



**Figura 5.42 – Hietograma com blocos decrescentes**

#### 5.3.7.4 Resultados

Apresentam-se os caudais obtidos com a modelação matemática na Secção lo9, da sub-bacia da ribeira de Loures perto do limite do concelho de Mafra. Os resultados das alturas da água encontram-se representados no Mapa de Inundação.



**Figura 5.43 – Hidrograma de cheia no ponto lo9 (limite concelho de Mafra) resultando de uma cheia associada a um evento meteorológico com período de retorno de 100 anos. A linha azul representa o caudal correspondente ao hietograma alternado e a linha vermelha o caudal correspondente ao hietograma decrescente. A origem do eixo horizontal corresponde ao início da precipitação.**

Dos resultados apresentados pode concluir-se que o caudal máximo esperado na ribeira de Loures, para um período de retorno de 100 anos, é da ordem de 60 m<sup>3</sup>/s no limite do concelho de Mafra. O tempo entre o início da precipitação e a passagem do caudal de ponta é cerca de 3,5 h.

## 6 MAPA DE INUNDAÇÃO

A área de inundação foi determinada com base nos resultados da simulação numérica fornecidos pelo modelo MOHID Land e utilizando a informação cartográfica de base disponibilizada pela CMM, nomeadamente os níveis de altimetria e a rede hidrográfica. A base cartográfica apresentada no DESENHO 2 inclui a rede hidrográfica, rede viária e rede ferroviária, toponímia, edificado e limites administrativos. Os polígonos correspondentes às áreas ameaçadas pelas cheias foram construídos sobre um sistema de informação geográfica.

O Mapa de Inundação pretende conter apenas informação de carácter físico sobre o escoamento sobre as bacias em estudo. Neste apresentam-se, para além dos limites da área ameaçada pela cheia centenária, os seguintes parâmetros hidráulicos do escoamento em diversas secções consideradas importantes por constituírem singularidades para o escoamento ou por serem importantes do ponto de vista de protecção de bens e população:

- Q, caudal máximo, em  $m^3/s$ ;
- h, altura máxima do escoamento medida a partir do talvegue, em m;
- V, velocidade máxima do escoamento, em m/s;
- $\Delta t$ , intervalo de tempo entre o início da precipitação e a ocorrência do caudal máximo, em h. O início da precipitação é considerado na origem do eixo das abcissas nos hietogramas apresentados.

A legenda que se encontra nos Mapas de Inundação junto às secções escolhidas, apresenta-se na figura seguinte:

Local: cc13

Q = 46	$m^3/s$
h = 4.0	m
V = 0.6	m/s
$\Delta t = 4.0$	h

**Figura 6.1 – Exemplo de legenda colocada junto a cada secção com parâmetros físicos do escoamento.**

As condições de escoamento num vale dependem de inúmeros parâmetros que condicionam as secções disponíveis à vazão assim como a rugosidade das linhas de água; destaca-se o estado de limpeza das linhas de água, a existência de secções obstruídas ou assoreadas e a vegetação existente no leito e margens que varia sazonalmente. Os presentes resultados reflectem a situação das linhas de água à data da elaboração dos trabalhos de campo onde foram caracterizados parâmetros tais como a rugosidade e identificadas situações de obstrução. Sendo dinâmicos, as condições de vazão dos sistemas fluviais poderão no entanto variar no tempo resultante de alterações a nível da rugosidade (i.e. crescimento de vegetação, transporte de sedimentos, variação de formas de fundo), da limpeza ou do aparecimento de obstruções na linha de água.

Tal como referido em 4.5, para cada bacia hidrográfica em estudo foram modelados os escoamentos correspondentes a hietogramas com blocos de precipitação de intensidade decrescente, de onde de um modo geral resultam hidrogramas de cheia em que o caudal de ponta é superior, e de intensidade alternada, de onde de um modo geral resultam hidrogramas de cheia em que o pico de caudal é atingido mais rapidamente. Ambos os resultados foram observados e os valores apresentados para  $Q$ ,  $h$ ,  $V$  e  $\Delta t$  correspondem à situação mais conservativa em termos de segurança para o vale, i.e.  $Q$ ,  $h$  e  $V$  máximos e  $\Delta t$  mínimo.

A definição dos limites da área ameaçada pelas cheias centenárias, tal como solicitado pela CMM, foi efectuada considerando os resultados da simulação numérica realizada no âmbito do presente estudo com recurso ao modelo MOHID Land.

Os limites da área ameaçada pelas cheias correspondem ao nível de máxima cheia atingida. No entanto, a definição da área ameaçada pelas cheias foi objecto de análise crítica da intersecção dos resultados com a topografia tendo em conta os condicionantes actuais do terreno e o reconhecimento de campo realizado, tendo-se em alguns casos pontuais procedido a uma confirmação das condições de escoamento *in loco* através da observação de marcas de cheia e de contactos com a população local. Foram analisados individualmente pontos críticos de escoamento com trabalho de campo para verificação de questões relacionadas com aspectos morfológicos de pequena a escala.

Em alguns casos, com o levantamento de campo foi possível verificar a melhoria das condições de vazão da linha de água face a situações anteriores em que ocorreram cheias, nomeadamente pelo alargamento recente de passagens hidráulicas e do vão de pontes (i.e. li40).

A definição de área ameaçada pelas cheias teve como critério a persistência espacial e temporal de água nas células de cálculo. Assim, uma célula de cálculo integra a zona ameaçada pelas cheias se tiver uma altura de escoamento superior a 0,50 m e estiver isolada no terreno, ou se tiver uma altura de escoamento superior a 0,20 m e se tal suceder numa vizinhança mínima de três células.

A profusão de sub-bacias existentes no terreno leva a que os hidrogramas calculados assumam formas irregulares onde a definição clara do pico se torna difícil ou onde existem múltiplos máximos locais com importância relativa semelhante em termos de consequência para a ocupação ribeirinha (i.e. Figura 5.17 e Figura 5.31). A fixação do tempo de chegada do pico da onda de cheia foi objecto de uma análise crítica caso a caso tendo-se assumido sempre o valor mais conservativo. Quando o hidrograma apresenta um gradiente muito suave, com patamares de caudal quase constantes de valor próximo do valor máximo, adoptou-se, por segurança, o tempo de ocorrência correspondente a um caudal de cerca de 75% do caudal máximo.

O tempo de chegada do máximo do hidrograma aqui indicado é a partir do início do evento meteorológico extremo. Este valor encontra-se intrinsecamente relacionado com o tempo de alerta e aviso (a diferença é o chamado tempo de reacção), pelo que um sistema de detecção baseado em previsões meteorológicas fiáveis poderia tornar um eventual sistema de aviso e alerta mais eficaz.

Em determinados troços das linhas de água em análise, verificam-se valores de caudal máximo escoado decrescentes na direcção de jusante. Tal deve-se ao efeito dinâmico de amortecimento existente no terreno pela existência de zonas de escoamento que constituem bacias de retenção naturais e que é visível com um modelo em regime variável.

Dada a incerteza associada ao processo de modelação matemática do escoamento, e tendo em conta a base cartográfica disponível, assume-se que a definição do polígono da área ameaçada pelas cheias corresponda a um erro de 2,5 m na vertical, metade da equidistância das curvas de nível da cartografia disponibilizada pela CMM.

Os polígonos correspondentes às áreas ameaçadas pelas cheias associadas a eventos meteorológicos com período de retorno de 100 anos, serviram de base à construção do Mapa de Risco. Os parâmetros cinemáticos (caudal, velocidade e tempo), patentes no Mapa de Inundação, nomeadamente o binómio altura do escoamento (hV), poderão servir de base ao zonamento do risco no âmbito do planeamento de emergência de cheias.





## 7 MAPA DE RISCO

Para a elaboração do Mapa de Risco consideraram-se os polígonos correspondentes às áreas ameaçadas pelas cheias associadas a eventos meteorológicos com período de retorno de 100 anos resultante da definição dos Mapas de Inundação. A área ameaçada pela cheia foi sobreposta à cartografia base disponibilizada pela CMM, tendo-se seleccionado os níveis da planimetria, altimetria, rede viária, rede hidrográfica e limites administrativos.

Da informação dos objectos da cartografia base (polígonos) foram seleccionados os elementos edificados classificados que correspondiam a edifícios com funções diversas, como actividades económicas, sociais, culturais, ou outras, e também elementos relacionados com infra-estruturas ou património. Estes elementos foram comparados e aferidos com a informação da CMM relativa a equipamentos e actividade económica.

Por fim, procedeu-se à comparação com a informação identificada no reconhecimento local, tendo-se classificado os restantes elementos da cartografia como sendo edifícios de habitação.






As secções de cálculo anteriormente referidas (ver 2) são apresentadas no Mapa de Risco. A referida referenciação permite facilmente identificar e visualizar a correspondente ficha de caracterização (ANEXO), onde, como se referiu anteriormente, podem ser visualizados alguns pormenores da secção do rio e do vale a montante e a jusante, como o estado de conservação e limpeza do curso de água observados aquando do levantamento de campo, ou a ocupação do vale.

Os elementos apresentados nos Mapas de Risco foram organizados de forma a poderem, conjugados com outra informação disponível (i.e. referente a meios e recursos disponíveis), servir de apoio ao serviço municipal de Protecção Civil no planeamento das acções de emergência assim como na actualização do Plano Municipal de Emergência.







A organização da legenda do Mapa de Risco de Inundação procura evidenciar a localização dos elementos presentes na área ameaçada pela cheia e a localização dos meios e recursos disponíveis que poderão apoiar as acções de emergência em caso de inundação. A legenda encontra-se organizada em vários agrupamentos, como se indica na Figura 7.1

## EDIFICAÇÃO / CONSTRUÇÃO / EQUIPAMENTO / INFRA-ESTRUTURA






### Edificação/Construção

-  Edificado
-  Habitação na área inundável
-  Comércio / Serviços
-  Indústria
-  Património









### Equipamentos

-  Ensino
-  Saúde
-  Associação de Socorros da Freguesia da Encarnação
-  Núcleo de Mafra da Cruz Vermelha
-  Desporto
-  Social / Cultural / Religioso






### Infra-estruturas

-  Estação de Tratamento de Águas Residuais - ETAR
-  Estação de Tratamento de Água - ETA
-  Atravessamento de conduta
-  Central eléctrica / Posto de transformação
-  Ponte / Viaduto / Pontão







### Forças de Segurança e Protecção Civil

-  Centro de Coordenação Avançado - Protecção Civil
-  GNR
-  Bombeiros
-  Câmara Municipal
-  Parque e oficinas municipais
-  Junta de Freguesia
-  Casa do Povo
-  Escola Prática de Infância

### Vias de Comunicação

-  Auto-estrada / Itinerário complementar
-  Estrada nacional / municipal
-  Caminho municipal
-  Outras estradas / caminhos
-  Caminho de ferro

### OUTRAS SIMBOLOGIAS

-  Altimetria
-  Rede hidrográfica
-  Limite de bacia hidrográfica
-  Área ameaçada pelas cheias (T=100)
-  Limite de Concelho
-  Secção de cálculo

**Figura 7.1 – Legenda do Mapa de Risco de Inundação.**

A cartografia apresentada corresponde ao estado do conhecimento à data de elaboração, baseado nos elementos disponibilizados com a respectiva classificação da tipologia das edificações, aferida com o reconhecimento local efectuado na maior parte dos locais da área ameaçada pelas cheias. Um levantamento mais detalhado, com inquéritos realizados porta a porta, permitiria uma classificação mais rigorosa das edificações na área de risco, e consequentemente da população residente ou que desenvolve actividades nessa área.

Por fim, salienta-se que a actualização periódica da cartografia apresentada, assim como a realização de exercícios, permitirá aferir a classificação efectuada, assim como identificar o estado de prontidão da população na área de risco.



## 8 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

O presente estudo permitiu delimitar a área ameaçada pelas cheias nas cinco principais bacias hidrográficas do concelho de Mafra (rio Cuco, Lizandro, Safarujo, Sizandro e Trancão) tendo como base os resultados provenientes da modelação hidrodinâmica das bacias para um evento meteorológico associado a um período de retorno de 100 anos.

Com vista à construção do modelo matemático do vale e à caracterização da ocupação das zonas ribeirinhas um levantamento de terreno exaustivo foi realizado sendo apresentado no ANEXO – Fichas de Caracterização das Secções; este documento pode servir de base a um diagnóstico do estado das linhas de água do concelho de Mafra à data dos levantamentos.

A delimitação da área ameaçada pelas cheias foi resultado de uma análise crítica dos resultados da modelação matemática tendo em consideração informação complementar obtida no terreno.

A delimitação da área ameaçada pela cheia, que constitui o Mapa de Inundação do concelho de Mafra, serviu de base à construção do Mapa de Risco de Inundação. O Mapa de Inundação constitui um documento onde se encontram patentes parâmetros hidráulicos do escoamento. O Mapa de Risco de Inundação representa a distribuição espacial nos vales do nível de perigo a que as populações e bens se encontram sujeitos em relação a uma cheia centenária, baseada numa análise quantitativa dos resultados da simulação numérica e numa análise qualitativa tendo em conta a ocupação do vale a jusante.

São identificados os pontos críticos de perigosidade elevada nas bacias em análise e são referenciados os principais equipamentos afectados.

A povoação da Malveira e da Venda do Pinheiro, na bacia do rio Lizandro, merecem uma especial menção quer pelo número potencial de pessoas, bens e equipamentos no interior da área ameaçada pelas cheias, quer pelo reduzido intervalo tempo entre o início do evento meteorológico considerado e a ocorrência do caudal máximo. Dada a complexidade da rede hidrográfica nesta região, onde se incluem áreas fortemente intervencionadas e impermeabilizadas, uma delimitação mais rigorosa da área e equipamentos ameaçados pelas cheias pressupõe um levantamento local e um estudo de pormenor detalhado fora do âmbito da presente análise. Na povoação da Venda do Pinheiro, onde uma extensão considerável da linha de água se encontra canalizada, a modelação matemática apresentada pressupõe um total desimpedimento destes troços. No entanto, chama-se a

atenção de que a ocorrência de obstruções no troço coberto da linha de água poder originar situações pontuais de cheias à superfície.

Como recomendação de carácter geral no que concerne a melhoria das condições de vazão das linhas de água e a prevenção de cheias refere-se a necessidade de se manterem as condições de limpeza dos cursos de água de modo a facilitar o escoamento das águas.

A impermeabilização dos solos das bacias hidrográficas leva a maiores caudais de cheia e a menores intervalos tempos entre o início da precipitação e a ocorrência do pico do hidrograma de cheia. Como medida preventiva poderá ser promovido o amortecimento das cheias em bacias de retenção construídas para o efeito e que poderão ser integradas nas novas áreas urbanas ou em equipamentos e zonas verdes já existentes.

Referem-se ainda alguns aspectos específicos provenientes da observação no local aquando dos levantamentos no campo, e que poderão constituir indicações úteis para a melhoria das condições nas linhas de água em estudo:

- Necessidade de desassoreamento dos cursos de água, como solução paliativa, e de controlo da afluência dos sedimentos às linhas de água, como solução preventiva. Nas secções visitadas observou-se que sob as obras de arte e a montante destas se acumulam, frequentemente, sedimentos que dificultam o escoamento por redução da capacidade de vazão;
- Existem pequenas barragens não controladas que provocam obstrução ao escoamento e erosão nas margens devido à sua ruptura repentina;
- Constatou-se, de modo geral, a consciencialização da população ribeirinha da sua responsabilidade pela manutenção do domínio hídrico nos terrenos confinantes com as suas propriedades, não dispondo no entanto de meios para a sua limpeza;
- A canalização de algumas linhas de água constitui um obstáculo ao escoamento por falta de limpeza destas ou por falta de vazão da secção prevista;
- Verifica-se, ao longo de algumas linhas de água, uma diminuição para jusante da secção das passagens hidráulicas (i.e. rio Lizandro entre a secção de montante e a secção li22);
- No Carvalhal, na freguesia de Cheleiros, foi referido que as inundações recentes se deveram à falta de limpeza das margens e do próprio curso de água a jusante daquela localidade.

Os Mapas de Inundação aqui apresentados poderão ser utilizados para o zonamento do risco de base ao estabelecimento de práticas de emergência contra cheias, bem como para

a delimitação da Carta da Reserva Ecológica Nacional. Face à indisponibilidade de dados, nomeadamente de (i) registos históricos contínuos e sinópticos de precipitação e de alturas de escoamento, (ii) dados mais precisos sobre tipo de solos e (iii) incerteza inerente aos próprios modelos matemáticos, a implementação de um sistema de aviso e alerta para o risco de cheias deverá incluir um sistema operacional de modelação matemática composto por um sistema de aquisição de dados em tempo real (precipitação e caudal) e que permitiria uma calibração dinâmica e evolutiva do modelo.





## 9 BIBLIOGRAFIA

Brandão, C. Rodrigues, R, e Costa, J.P. (2001). Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, DSRH, Instituto da Água, INAG, Lisboa.

Brandão, C. e Hipólito, J.N. (1997). Curvas de possibilidade udométrica (IDF) para Aveiro, Lisboa, Évora e Faro. Revista Recursos Hídricos.

Braunschweig, F., Chambel, P., Fernandes, L., Pina, P. e Neves, R., (2004). The object oriented design of the integrated modelling system MOHID. Proceedings of the XV<sup>th</sup> International Conference on Computational Methods in Water Resources, June 13–17, Chapel Hill (NC).

Braunschweig, F., Fernandes, L., Galvão, P., Trancoso, R., Pina, P. e Neves, R. (2005). MOHID GIS – A geographical information system for water modeling software. Geophysical Research Abstracts, EGU Meeting 05-A-08213, 25–29 April, Viena.

Chow, V.T., Maidment, D.R. e Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology, McGraw-Hill International, Nova Iorque.

CMM – Câmara Municipal de Mafra (2008). Plano Director Municipal – Processo de Revisão.

NERC – Natural Environment Research Council (1975). “Floods studies report in five volumes. Vol. 1. Hydrological studies”. Londres.

Neves, R., (1985). Étude Expérimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado. Tese de doutoramento, Universidade de Liège.

Ponce, V.M. (1989). Solution Manual to Engineering Hydrology, Principles and Practices, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Portela, M.M. (2006). Estimação de precipitações intensas em bacias hidrográficas de Portugal Continental, Revista Recursos Hídricos.

Portela, M.M. e Hora, G.R. (2002). Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C. 6.º Congresso da Água. Porto.

Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area altitude) analysis of erosional topology. Geological Society of America Bulletin, 63, 1117 – 1142

Temez, R. (1978). Calculo hidrometeorologico de caudales maximos en pequenas cuencas naturales. MOPU – Direccion General de Carreteras, Madrid.

Trancoso, R., Braunschweig, F., Chambel, P., Obermann, M. e Neves, R. (2009). Science of the Total Environment, Volume 407, Issue 8, 1, Pages 3004-3016

Van Genuchten, M.T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J; 44:892–8.