



# EMGI INVESTMENT GROUP

EMPREENDIMENTO TAPADA DO TEJO

## ESTUDO HIDRÁULICO DE INUNDABILIDADE MEMÓRIA DESCRITIVA

Versão 0

Lisboa, 11 de maio de 2023



REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	11/05/2023	Emissão inicial



## EMGI INVESTMENT GROUP

### EMPREENHIMENTO TAPADA DO TEJO

#### ESTUDO HIDRÁULICO DE INUNDABILIDADE

##### MEMÓRIA DESCRITIVA

#### ÍNDICE GERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDO HIDROLÓGICO</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>MODELAÇÃO DE CHEIAS</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>3.1</b>	<b>ESTABELECIMENTO DO HIETOGRAMAS DE PRECIPITAÇÃO</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3.1.1	METODOLOGIA .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3.1.2	DEFINIÇÃO DAS BACIAS EXTERIORES.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3.1.3	ESTABELECIMENTO DO HIETOGRAMA DE PRECIPITAÇÃO .....	<b>8</b>
3.1.4	PERDAS DE PRECIPITAÇÃO.....	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>ESTABELECIMENTO DO HIDROGRAMAS DE CHEIA</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3.2.1	CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO...	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3.2.2	HIDROGRAMA UNITÁRIO.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO HIDRÁULICO DAS BACIAS</b>	<b>10</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS .....	<b>10</b>
4.2	MODELO HIDRÁULICO .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>13</b>

#### ANEXOS

ANNEX I – DADOS METEOROLÓGICOS – VILA NOGUEIRA DE AZEITÃO **Error! Bookmark not defined.**

ANEXO II – MÉTODOS ESTATISTICOS ..... **Error! Bookmark not defined.**



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição das leis de probabilidade .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 3.1 - Hietograma de blocos alternados utilizado para o período de retorno de 100 anos.....	9
Figura 4.1 – DTM utilizado na análise hidráulica computacional .....	12
Figura 5.1 – Altura máxima de escoamento, T=100 anos.....	13
Figura 5.2 – Velocidade máxima de escoamento, T=100 anos.....	14

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Precipitação máxima para T= 100 anos Lisboa (IGIDL)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabela 2.2 – Valores das relações médias consideradas para obtenção da precipitação de projeto para T= 100 anos Lisboa (IGIDL) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## EMGI INVESTMENT GROUP

### EMPREENHIMENTO TAPADA DO TEJO

#### ESTUDO HIDRÁULICO DE INUNDABILIDADE

##### MEMÓRIA DESCRITIVA

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O presente documento corresponde à caracterização da área do Empreendimento Tapada do Tejo em matéria de inundabilidade, alicerçado nos seguintes elementos:

- Planta de Ordenamento – Riscos Naturais e Antrópicos I, do PDM de Lisboa;
- Estudo Hidrológico e Hidráulico das condições de escoamento superficiais para um período de retorno de 100 anos.

Nos capítulos seguintes apresentam-se detalhadamente os seguintes elementos, bem como a descrição da metodologia que orientou o desenvolvimento do Estudo Hidrológico e Hidráulico.

No capítulo final apresentam-se as conclusões relativas ao risco de inundabilidade da área do empreendimento.

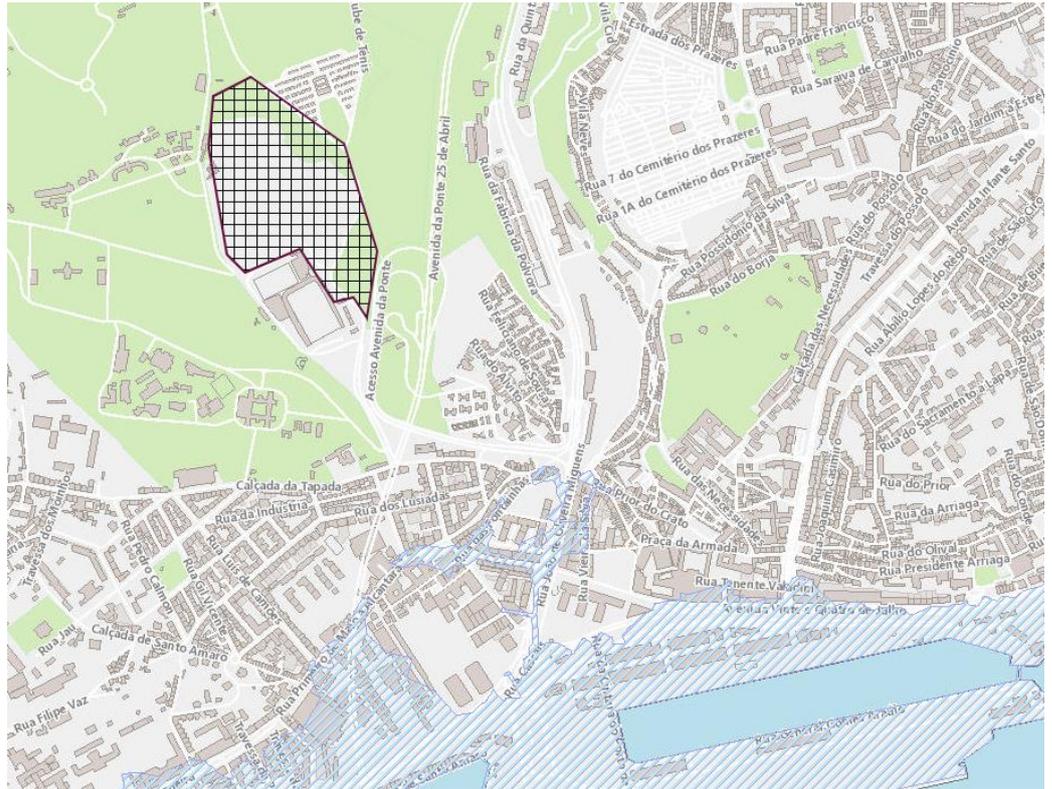
## 2 ANÁLISE DA PLANTA DE ORDENAMENTO DO PDM DE LISBOA

A Planta de Ordenamento do PDM de Lisboa apresenta três camadas distintas associadas ao risco de inundação em todo o concelho, descritas seguidamente.

### 2.1 SUSCETIBILIDADE AO EFEITO DIRETO DA MARÉ

Segundo o “Relatório de Caracterização Biofísica” associado à revisão do PDM de Lisboa em 2010, *“A definição da área sujeita à suscetibilidade direta do efeito de maré, no concelho de Lisboa, teve por base dados sobre a agitação marítima e fluvial, características de maré, relatos históricos sobre os efeitos de Tsunamis na cidade e os critérios utilizados pelo Instituto de Meteorologia (IM) para a emissão de avisos meteorológicos por agitação marítima.”*

Foi utilizada como referência a cota de 5m, e delimitada toda a área abaixo dessa cota topográfica, como se apresenta na Figura 2.1.



**Figura 2.1 – Áreas suscetíveis ao efeito direto da maré (tracejado azul) e área de estudo (malha quadrangular)**

Verifica-se que a área do empreendimento se localiza a uma distância significativa destas áreas, quer em planta (superior a 500 m), quer em altitude (a cota topográfica mais baixa na área do empreendimento situa-se acima dos 40m).

Sendo expetável uma provável subida do nível do mar ao longo das próximas décadas, decorrente das alterações climáticas que assolam o planeta, deve-se verificar se há algum risco, durante o atual século, de o efeito direto da maré afetar a área do empreendimento.

Antunes, C. 2019, em “*Assessment of Sea Level Rise at West Coast of Portugal Mainland and Its Projection for the 21st Century*” afirma que no cenário mais extremo (probabilidade de 0,004%) de excedência, de o nível do mar subir 2,5m. Deste modo, mesmo adicionando este valor extremo à cota de 5m identificada na planta do PDM, obtém-se uma cota máxima de suscetibilidade ao efeito direto da maré de 7,5m, ainda muito abaixo da cota topográfica do empreendimento.

A grande distância topográfica entre a área do empreendimento e o nível máximo da maré, também torna altamente improvável que o escoamento no interior da rede de coletores de drenagem de águas pluviais seja minimamente afetado pelo regolfo causado pela descarga no estuário com a água a uma cota de 7,5m.

## 2.2 PONTOS DE MÁXIMA ACUMULAÇÃO

A Planta de Ordenamento define que “os pontos de máxima acumulação assinalados na Planta de riscos naturais e antrópicos I constituem zonas focais de elevada vulnerabilidade a inundações, cuja relevância é avaliada em função da dimensão da bacia hidrográfica correspondente”.

Nestes pontos, pelas características fisiográficas do terreno, é provável que ocorram inundações provocadas pela acumulação de águas com um recorrência superior ao esperado para o concelho na sua globalidade.

Como se pode verificar na Figura 2.2, não existem pontos de máxima acumulação nem na área de estudo, nem nas suas imediações.

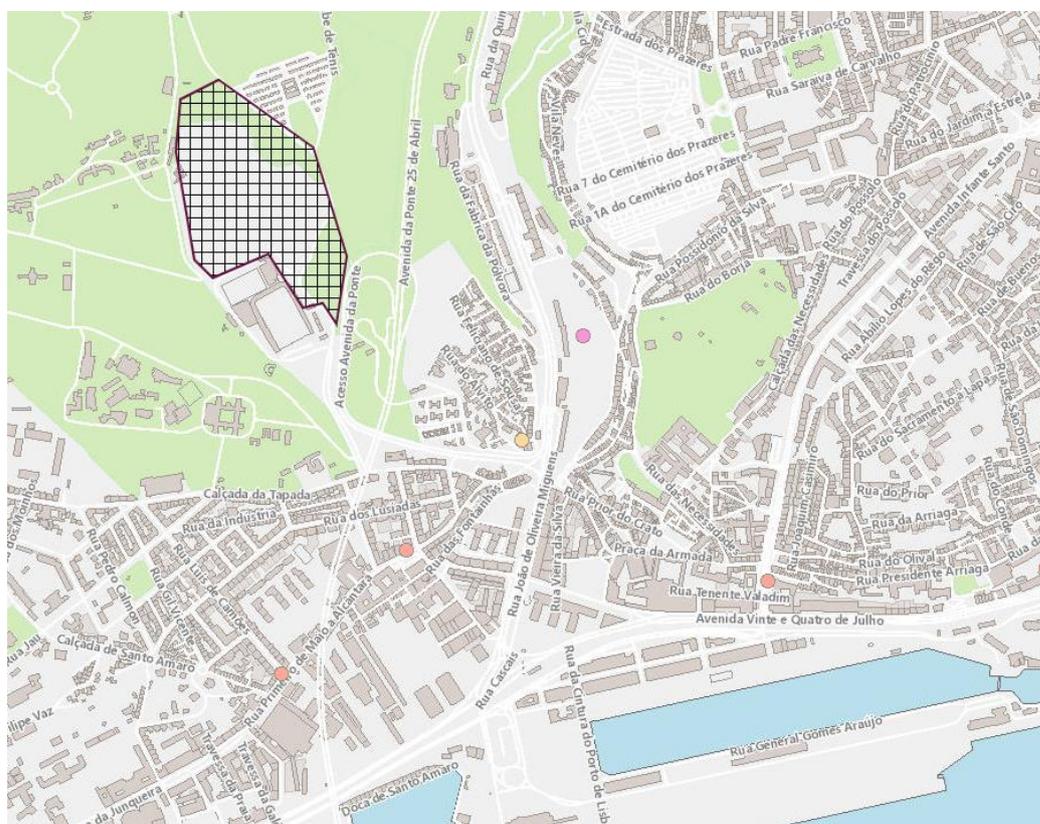


Figura 2.2 – Pontos de máxima acumulação (círculos a cheio) e área de estudo (malha quadrangular)

## 2.3 VULNERABILIDADE ÀS INUNDAÇÕES

De acordo com o “Relatório de Caracterização Biofísica” associado à revisão do PDM de Lisboa em 2010, “A definição das áreas sujeitas a Inundação teve como base o cruzamento da variável precipitação extrema com diversos parâmetros, entre eles os registos de intervenção do Regimento de Sapadores Bombeiros e da Brigada de Colectores da CML, no período compreendido entre 1972 e 2006, e das ocorrências de

*dia 26 de novembro de 1967. Não foram tidas em conta as situações de rutura na rede de saneamento e /ou abastecimento assim como, o rebentamento de barragens na Bacia do Vale do Tejo. Foram ainda usados dados referentes à geomorfologia (como o declive), efeito de maré direto, presença de linhas de água, principais locais de foz, grau de permeabilidade das formações geológicas e presença de estruturas viárias e infraestruturas de saneamento. Estes dados foram cruzados com o Sistema Húmido e com as Zonas de Transição Fluvial-Estuarina. O cruzamento destas variáveis permitiu definir 3 classes de vulnerabilidade a inundações.”*

As 3 classes de vulnerabilidade definidas são “moderada”, “elevada” e “muito elevada”. Verifica-se que no interior da área do empreendimento existe uma pequena área com vulnerabilidade moderada, como se pode verificar na Figura 2.3.



**Figura 2.3 – Vulnerabilidade a inundações (azul claro – moderada; azul escuro – muito elevada) e área de estudo (malha quadrangular)**

É importante salientar que a referida área corresponde ao traçado de uma linha de água, cuja cabeceira se encontra bastante próxima à área do empreendimento. No projeto de drenagem do empreendimento, mais especificamente da rede viária localizada a Noroeste, está prevista a captação dos caudais provenientes de montante e o seu desvio para a rede de drenagem municipal, não sendo previstas afluências do exterior para a área do empreendimento.

### **3 ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

Neste capítulo explica-se a metodologia que levou à elaboração de um mapa de inundação para um período de retorno de 100 anos, considerando-se a modelação do terreno prevista em projeto.

Os resultados obtidos serão uma majoração das condições reais, uma vez que não se considera nesta análise a presença da rede de drenagem no interior da área do empreendimento.

#### **3.1 CAUDAIS PROVENIENTES DE BACIAS EXTERIORES**

Verifica-se que as águas pluviais provenientes de duas bacias hidrográficas afluentes à área de estudo, uma a Este e outra a Oeste da área do empreendimento.

As sub-bacias que drenam para a área de estudo foram desenhadas a partir da carta 413 da série 1:25 000 IGeoE e da topografia da área de estudo. A área da bacia a Oeste é de 11 ha e a da bacia a Este é de 3,5 ha.

Aplicando a fórmula racional, para um coeficiente de 0,5, os caudais de cada uma das bacias são de 1,37 m<sup>3</sup>/s (Oeste) e 0,45 m<sup>3</sup>/s (Este).

#### **3.2 ESTABELECIMENTO DO HIETOGRAMA DE PRECIPITAÇÃO**

A partir das curvas IDF estabelecidas no DR foram estabelecidos os hietogramas de precipitação para o período de retorno de 100 anos.

Foi considerada uma majoração de 10% da precipitação para considerar os previsíveis efeitos das alterações climáticas.

Segundo vários estudos, a forma do hietograma que usualmente conduz a caudais de ponta mais extremos é a de blocos alternados, ou seja, considera-se que o pico da intensidade da precipitação ocorre no instante correspondente a metade da duração, diminuindo a intensidade gradualmente em direção às extremidades.

Devido à reduzida dimensão das bacias estudadas, o que origina baixos tempos de concentração, a duração considerada para o hietograma será de uma hora e meia. A dimensão de cada bloco do hietograma será de 10 minutos, correspondendo o maior bloco ao volume de precipitação gerado por um evento pluvioso com duração de 10 minutos, calculando-se a sua intensidade através da curva IDF referente a cada período de retorno estudado. O bloco seguinte é obtido calculando o volume de precipitação gerado por um evento com duração de 20 minutos subtraindo-se a esse valor o volume de precipitação gerado em 10 minutos. Este método foi utilizado para o estabelecimento de todos os restantes blocos.

Como já referido, foi usado um hietograma de blocos alternados para ambos os postos meteorológicos, pelo que se colocou o maior bloco (correspondente ao volume de

precipitação gerado por um evento com duração de 10 minutos) ao centro e os restantes blocos foram sendo distribuídos alternadamente à direita e à esquerda do maior bloco.

Os hietogramas para o período de retorno de 100 anos e para a curva IDF definida no DR23/95 são apresentados na figura seguinte.

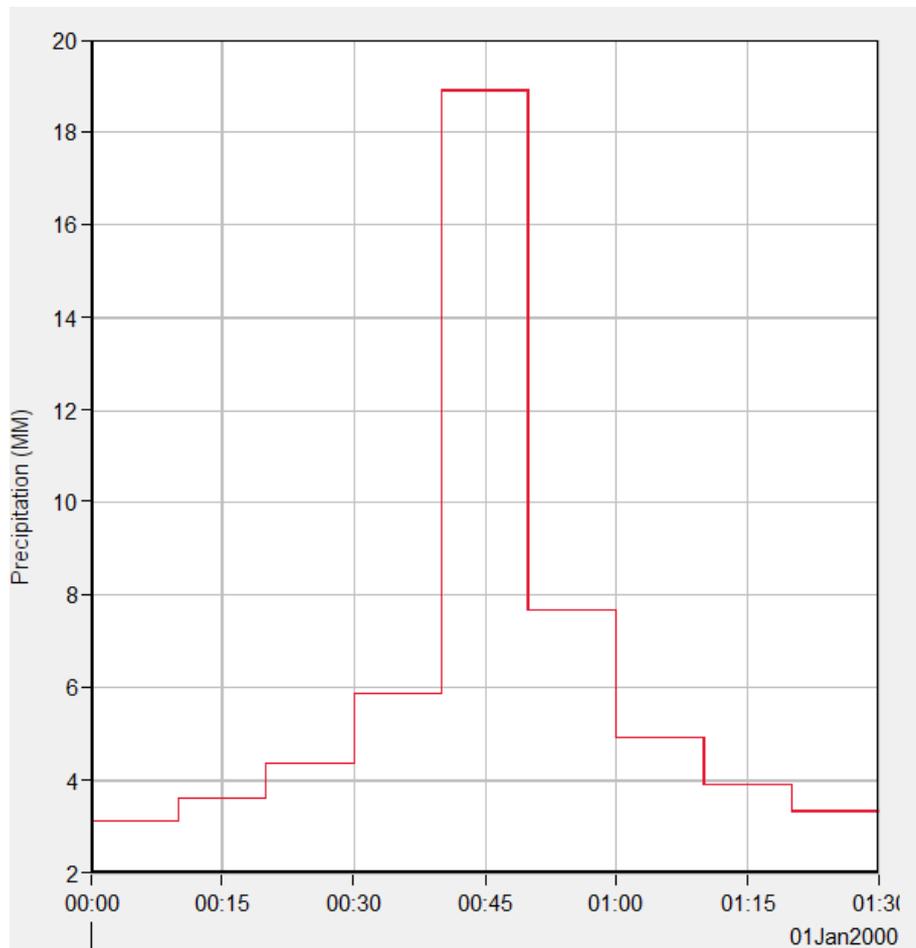


Figura 3.1 - Hietograma de blocos alternados utilizado para o período de retorno de 100 anos

### 3.3 PERDAS DE PRECIPITAÇÃO

As perdas de precipitação são calculadas através do número de escoamento do SCS e da percentagem da bacia considerada como impermeável. Definiu-se em todas as áreas não edificadas uma percentagem de impermeabilização de 5 a 10.

O número de escoamento do SCS, que depende da constituição dos solos que formam a bacia de drenagem, foi considerado como igual a 96 em áreas impermeabilizadas e de 90 nas restantes áreas.

Estes valores de número de escoamento são definidos para condições de humidade médias antecedentes (CN II). Os caudais de ponta são maiores se for considerado a condição de humidade elevada (CN III), que relaciona as condições CN II através da seguinte equação:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

O modelo integrado no HEC-HMS considera que as perdas iniciais de precipitação (devidas a infiltração, evapotranspiração, etc.) são iguais a  $0,2 * S$  (S a capacidade máxima de retenção). A única análise crítica do valor do fator  $\psi$  para Portugal Continental de que se tem conhecimento é apresentada em Correia, 1984, que afirma que o valor médio de 0,2 proposto pelo SCS não foi verificado “de forma inteiramente concludente”, reconhecendo, aquele autor, que tal valor conduz a precipitações efetivas muito baixas em consequência das elevadas perdas iniciais de precipitação. Por este motivo, Correia, 1984, propõe um método de cálculo iterativo que, atuando sobre a própria duração da chuvada, conduz a menores perdas iniciais.

Portela et al., 2000, concluem que se deve adotar  $\psi=0$  como forma de reduzir, à custa da eliminação das perdas iniciais, as perdas totais de precipitação que obtiveram naquela bacia hidrográfica e que reconheceram como nitidamente excessivas. Por este motivo, consideraram-se nulas as perdas iniciais de precipitação no HEC-HMS.

Os hietogramas são introduzidos no programa HEC-HMS numa bacia hidrográfica genérica com número de escoamento do SCS igual à média ponderada dos valores referidos atrás. Os resultados obtidos da simulação serão introduzidos como condições de fronteira no modelo do HEC-RAS.

### **3.4 ESTUDO HIDRÁULICO DAS BACIAS**

#### **3.4.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS**

Na análise hidráulica do escoamento pretendem-se obter a área de inundação e respetivas profundidades de escoamento para o período de retorno de 100 anos.

Para o efeito, serão introduzidos os caudais de ponta calculados no capítulo anterior no software HEC-RAS versão 6.3 e será desenvolvida uma análise do escoamento em 2 dimensões. Como base será utilizado o levantamento topográfico das áreas de estudo, sobre o qual será introduzido, como condições de fronteira de montante, o hidrogramas de cheia para o período de retorno de 100 anos na secção em que a linha de água correspondente entra dentro da área de estudo.

Como condição de fronteira na área de estudo foi introduzido o hietograma de precipitação efetiva para um período de retorno de 100 anos.

Como condição de fronteira de jusante foi considerada a altura de escoamento uniforme para o declive da linha de água.

#### 3.4.2 MODELO HIDRÁULICO

A versão 6 do HEC-RAS (um software gratuito disponível para download na internet) foi desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* e permite desenvolver uma simulação em duas dimensões de escoamentos variados através da utilização das equações de Saint-Venant ou das equações de difusão da onda.

O modelo a 2 dimensões utiliza as condições de conservação de volume e momento, ou seja, o volume de água introduzido nos hidrogramas afluentes é movido ao longo do domínio do modelo digital do terreno (DTM). Isto significa que o volume de água que sai do domínio do DTM através da(s) sua(s) condição e fronteira de jusante somado ao volume armazenado em albufeiras ou outras depressões do terreno tem de ser igual ao volume do(s) hidrograma(s) de cheia afluente(s) introduzido(s) no modelo para garantir o sucesso da simulação. A conservação do volume torna-se deste modo num importante instrumento de verificação da qualidade da modelação (da sua estabilidade numérica e da sua precisão).

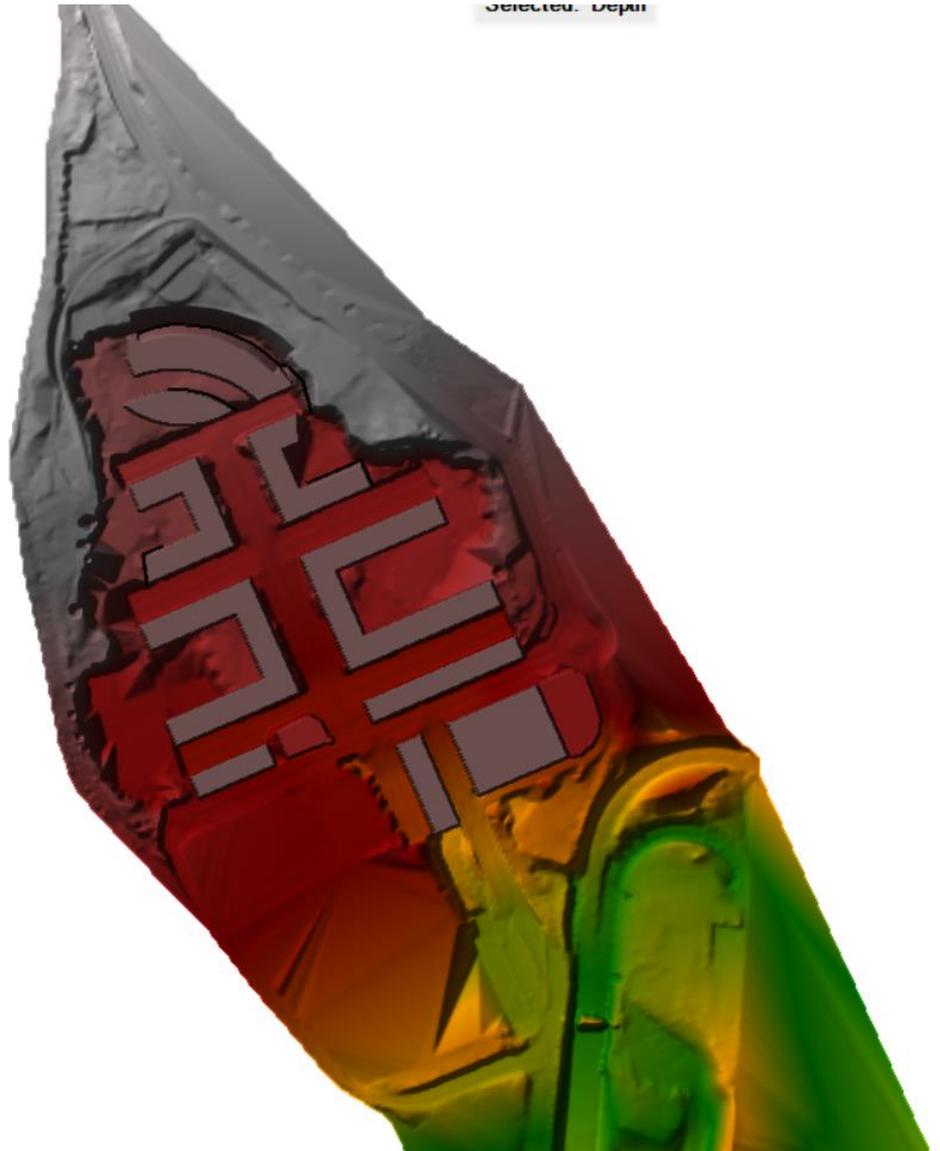
Os modelos a 2 dimensões são geralmente regidos pelas equações da continuidade e da onda dinâmica. Estas equações são geralmente resolvidas através do método central das diferenças finitas. Este método modela a progressão da onda de cheia ao longo do tempo através do domínio do DTM. Os cálculos hidráulicos são influenciados de modo mais relevante pela topografia do terreno e pela rugosidade da superfície de cada célula da malha de cálculo pela qual se processa o escoamento.

No caso da versão 6 do HEC-RAS, esta resolve todas as equações de Barré – Saint Venant a duas dimensões, incluindo o efeito de Coriolis e a dispersão do momento causada pela turbulência horizontal utilizando o método da viscosidade turbulenta de Eddy.

A versão 6 do HEC-RAS é aceite internacionalmente como sendo um modelo bastante preciso de simulação do escoamento a 2 dimensões e é recomendado pela agência ambiental americana (FEMA) para a produção de mapas de inundação e de risco de cheia.

Para se desenvolver uma simulação precisa a 2 dimensões é importante a obtenção de um DTM preciso e pormenorizado da área de estudo, como o que foi realizado através do levantamento topográfico (Figura 3.2) e da modelação do terreno a ser executado no âmbito do empreendimento.

Salienta-se que não foi considerada a influência da rede de coletores, pelo que os resultados do modelo serão consideravelmente mais desfavoráveis do que a situação real.



**Figura 3.2 – DTM utilizado na análise hidráulica computacional**

No DTM o utilizador estabelece uma malha sobre a área onde é expectável que se processe o escoamento e define as dimensões de cada célula e o intervalo temporal de simulação (a duração de cada passo de cálculo). Estes dois fatores são determinantes na precisão do modelo e devem ser escolhidos em função da qualidade e pormenorização do DTM (se não for muito pormenorizado quanto mais fechada for a malha mais o erro se propaga). A relação entre estes dois parâmetros define o número de Courant, que deve ser o máximo possível próximo de 1:

$$u \frac{\Delta t}{\Delta x} \sim 1$$

Sendo  $u$  a velocidade de escoamento (m/s),  $\Delta t$  o intervalo de tempo decorrido entre cada passo e  $\Delta x$  a dimensão de cada célula.

### 3.4.3 RESULTADOS

Os resultados da simulação hidráulica são apresentados nas seguintes figuras.

Verifica-se que existe alguma acumulação de água em áreas verdes, em áreas com boa capacidade de infiltração, podendo desta forma ser rapidamente eliminadas.

Ao longo da Estrada do Alvito há alguma acumulação de água, servindo a referida estrada como “canal” para transportar o excesso de água. Esta situação está “empolada” devido à não consideração da rede de drenagem. De qualquer forma, esta situação já ocorre atualmente, uma vez que a execução do empreendimento não provocará o aumento do caudal nesta via. Aliás, a situação atual até será melhorada, devido à execução de uma nova rede de drenagem pluvial.

No interior do empreendimento, haverá alguma acumulação de água nas vias, mas de quantidade pouco significativa e efémera.

Não se vislumbra qualquer correlação com a área definida em PDM como de risco “moderado” de inundação.

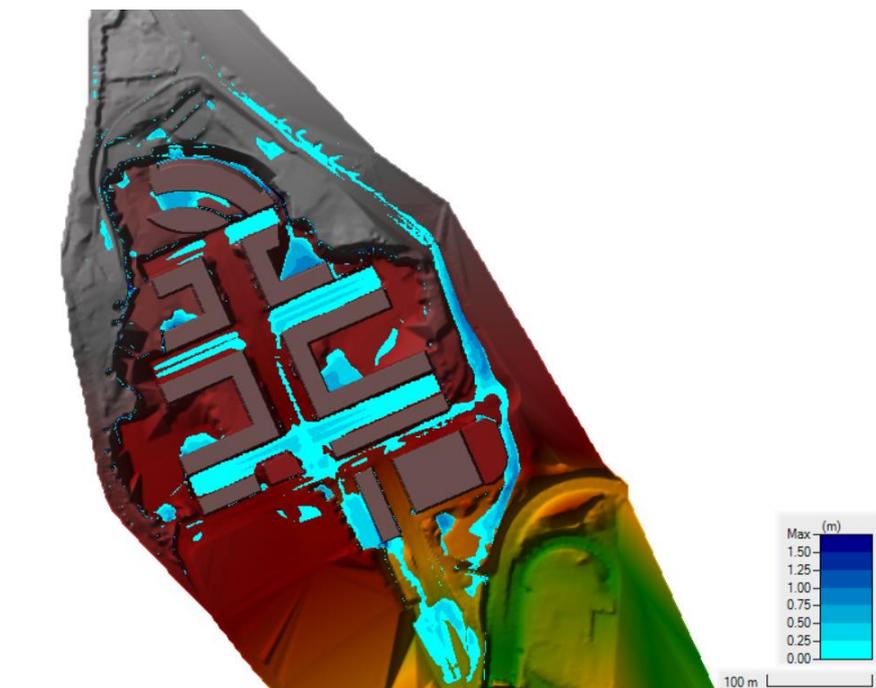


Figura 3.3 – Altura máxima de escoamento, T=100 anos

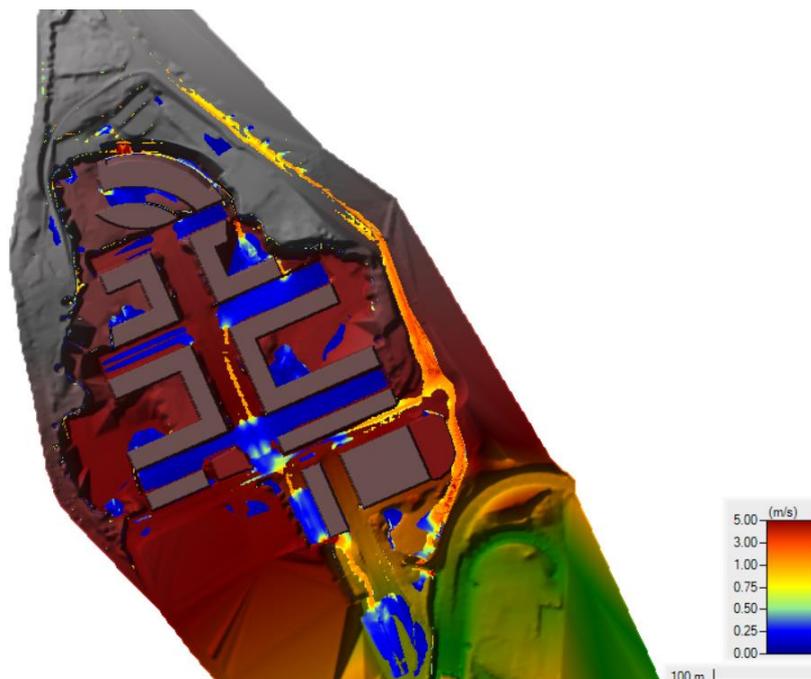


Figura 3.4 – Velocidade máxima de escoamento, T=100 anos

#### 4 CONCLUSÕES

Em conclusão, na área do empreendimento o risco de inundação devido ao efeito direto da maré é nulo.

Também não se identificou nenhum ponto de acumulação de água, definidos na Planta de Ordenamento do PDM de Lisboa, na área do empreendimento, nem nas suas imediações.

Na referida planta do PDM identifica-se uma área de risco moderado de inundação, que não tem correspondência no estudo hidrológico efetuado para um período de retorno de 100 anos.

Nesse estudo hidrológico identificam-se algumas zonas de acumulação em áreas verdes, que permitem a infiltração e conseqüentemente a rápida remoção destas acumulações. Na restante área não se identifica um risco de inundação relevante, mesmo não tendo em consideração o efeito da rede de drenagem pluvial prevista no projeto.