



CÂMARA MUNICIPAL DE SETÚBAL

DEPARTAMENTO DE URBANISMO

Delimitação das Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) na zona não urbana de Setúbal após implementação de obras de controlo de cheias

Memória Descritiva e Justificativa

março de 2019

ADUSADO

engenharia, lda

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Dados de base	2
1.3	Metodologia de cálculo	2
2	Estudo hidrológico.....	4
2.1	<i>Tempo de concentração</i>	4
2.2	<i>Precipitação</i>	8
2.3	<i>Caudais de ponta e hidrogramas de cheia</i>	13
3	Determinação da zona inundada	17
3.1	Ribeira do Livramento	17
3.1.1	Simulações.....	17
3.1.2	Resultados.....	20
3.2	Ribeira da Figueira.....	29
3.2.1	Simulações.....	29
3.2.2	Resultados.....	32
4	Conclusões e recomendações	37

Índice de Figuras

Figura 2.1 Representação cartográfica da Bacia do Livramento	6
Figura 2.2 Representação cartográfica da Bacia da Figueira.....	8
Figura 2.3 Hietogramas de precipitação alternados com período de retorno de 100 anos para as bacias drenantes: (a) Livramento; (b) Figueira	12
Figura 2.4 Projeto criado em HEC-HMS para determinação do hidrograma de cheia efluente da bacia do Livramento (T= 100 anos).....	14
Figura 2.5 Projeto criado em HEC-HMS para determinação do hidrograma de cheia efluente da bacia da Figueira (T= 100 anos)	15
Figura 2.6 Hidrograma de cheia efluente e respectivos caudais de ponta e volumes de cheia correspondentes (T= 100 anos) das bacias drenantes: (a) Livramento; (b) Figueira	16
Figura 3.1 Ribeira do Livramento e localização dos perfis transversais. Esq.: Perfis extraídos da carta topográfica. Dir.: Perfis interpolados.	17
Figura 3.2 Perfis P1 a P6.	18
Figura 3.3 Espraçamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 01h10min.....	20
Figura 3.4 Espraçamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 02h00min.....	24
Figura 3.5 Espraçamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 03h00min.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 3.6 Vista de topo do espraçamento máximo da inundação na ribeira do Livramento.	25
Figura 3.7 Perfil longitudinal do leito da ribeira do Livramento e altura máxima do escoamento.	26
Figura 3.8 Velocidades máximas do escoamento no leito da ribeira (azul) e nas margens esquerda (preto) e direita (verde), respetivamente.....	27

Figura 3.9 Ribeira da Figueira e localização dos perfis transversais. Esq.: Perfis extraídos da carta topográfica. Dir.: Perfis interpolados.	29
Figura 3.10 Perfis P7 a P4.	30
Figura 3.11 Perfis P3 a P1.	31
Figura 3.12 Espraiamento da inundação na ribeira da Figueira. Resultado da simulação ao fim de 00h50min.	32
Figura 3.13 Espraiamento da inundação na ribeira da Figueira. Resultado da simulação ao fim de 01h10min.	33
Figura 3.14 Espraiamento da inundação na ribeira da Figueira. Resultado da simulação ao fim de 01h30min.	33
Figura 3.15 Vista de topo do espraiamento máximo da inundação na ribeira da Figueira.	34
Figura 3.16 Perfil longitudinal do leito da ribeira da Figueira e altura máxima do escoamento.	35
Figura 3.17 Velocidades máximas do escoamento no leito da ribeira (azul) e nas margens esquerda (preto) e direita (verde), respetivamente.	35

Índice de Quadros

Quadro 2.1 Ocupação de solos considerado na área da bacia. CN associado	5
Quadro 2.2 Características das bacias de drenagem do Livramento consideradas em todos os estudos realizados.....	6
Quadro 2.3 Características das bacias de drenagem da Figueira consideradas em todos os estudos realizados	7
Quadro 2.4 Série de precipitações diárias máximas anuais para a Estação de Vila Nogueira de Azeitão	9
Quadro 2.5 Parâmetros a e b das curvas IDF para Estação Lisboa-Portela (21C/02) (extraído de BRANDÃO <i>et al.</i> , 2001).....	10

Quadro 2.6 | Precipitação por bloco para o período de retorno de 100 anos para as bacias drenante do Livramento referenciada ao limite do concelho e da Figueira referenciada a montante da Quinta de Santana (com 9 blocos alternados com durações de $1/9t_c$)..... 12

Quadro 2.7 | Caudais de ponta de cheia com período de retorno de 100 anos das bacias de drenagem do Livramento referenciada ao limite do concelho de setúbal e da Figueira referenciada a montante da Quinta de Santana calculados pela Fórmula Racional 13

Quadro 3.1 | Resultados da simulação da cheia com $Tr=100$ anos. Cotas, velocidades e largura máximas atingidas pelo escoamento. 27

Quadro 3.2 | Resultados da simulação da cheia com $Tr=100$ anos. Cotas, velocidades e largura máximas atingidas pelo escoamento. 36

Desenhos

Desenho 1 – Bacias Hidrográficas do Estudo Associadas às Ribeiras do Livramento e da Figueira. Esc. 1:25000

Desenho 2 – Perfis Transversais Considerados na Delimitação da Zona Inundada. Traçado em Planta. Folha 1 - Ribeira do Livramento; Folha 2 - Ribeira da Figueira. Esc. 1:2000

Desenho 3 – Perfis Transversais Considerados na Delimitação da Zona inundada. Folha 1 - Ribeira do Livramento; Folha 2 - Ribeira da Figueira. Esc. 1:2000

Desenho 4 – Delimitação da ZAC a Montante da Zona Urbana. Folha 1 - Ribeira do Livramento; Folha 2 - Ribeira da Figueira. Esc. 1:2000

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

De acordo com o Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro, considera-se como Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) não classificadas como zonas adjacentes, as áreas suscetíveis de inundação por transbordo de água do leito ordinário dos cursos de água devido à ocorrência de caudais elevados. Em conformidade com o referido decreto, a delimitação da ZAC efetua-se de forma distinta de acordo com o tipo de uso e ocupação do território. Em áreas urbanas, a sua delimitação deve ser efetuada através de estudos hidrológicos e hidráulicos que permitam o cálculo das áreas inundáveis com período de retorno de pelo menos 100 anos. Em áreas não urbanas (agrícolas e/ou florestais dominantes) a delimitação das zonas inundáveis pode resultar apenas da representação da cota da maior cheia conhecida, determinada a partir da observação de marcas de cheia, registos de eventos históricos e dados cartográficos, e/ou da aplicação de critérios geomorfológicos, pedológicos e topográficos (alínea c), Secção III, Anexo 1, do DL nº 166/2008).

A ZAC em área urbana da zona baixa de Setúbal foi determinada no estudo *Delimitação das Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) na zona urbana da Baixa de Setúbal após implementação de obras de controlo de cheias* realizado em março de 2019 por ADUSADO Engenharia, Lda.

O presente estudo pretende definir a área inundável das bacias drenantes referenciadas à ZAC não urbana de Setúbal visando complementar a **definição da ZAC em zona urbana** definida no estudo *Delimitação das Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) na zona urbana da Baixa de Setúbal após implementação de obras de controlo de cheias*, ADUSADO engenharia, Lda., março de 2019, para posterior delimitação da REN.

Note-se que a definição da ZAC correspondente à ocorrência de uma cheia com período de retorno de 100 anos é um instrumento fundamental no processo de ordenamento do território, pois representa um fator condicionante do uso do solo.

Para cumprir o objetivo do estudo, este trabalho compreendeu as seguintes partes:

O primeiro capítulo corresponde à presente **Introdução** na qual se apresenta o enquadramento e os objetivos do estudo, assim como a forma como o relatório se encontra organizado.

No segundo capítulo, denominado de **Estudo Hidrológico**, apresenta-se a metodologia adotada para a definição dos hidrogramas afluentes aos troços das ribeiras do Livramento e da Figueira da zona não urbana da cidade de Setúbal;

No terceiro capítulo, denominado de **Determinação da Zona Inundada** apresentam-se os resultados das simulações do escoamento da cheia de 100 anos em ambas as ribeiras. Neste capítulo apresenta-se igualmente a Delimitação da ZAC em zona não urbana, efetuando-se considerações acerca dos resultados obtidos.

No quarto capítulo, denominado de **Conclusões e Recomendações**, são tecidas considerações acerca dos resultados obtidos.

1.2 Dados de base

- Ortofotomapas digitais, 2004-05, 2007 (DGT);
- Carta Topográfica Digital do Concelho de Setúbal, à escala 1:10.000;
- Carta de Ocupação do Solo, COS 2007, DGT;
- Registos de ocorrências de cheias da base de dados da Autoridade Nacional de Proteção Civil, e base de dados do SNIRH.

1.3 Metodologia de cálculo

A simulação da **inundação** das zonas agrícolas das bacias hidrográficas do Livramento, da Figueira e da Gamita que drenam para a cidade de Setúbal foi realizada neste estudo seguindo a metodologia (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**):

1. realização de um **estudo hidrológico** para determinação dos hidrogramas de cheia com período de retorno de 100 anos a propagar ao longo das linhas de água principais das bacias hidrográficas em análise (Livramento e Figueira):
 - 1.1. determinação dos tempos de concentração de cada bacia;
 - 1.2. determinação dos hietogramas de precipitação a adotar nas simulações dos eventos de precipitação com períodos de retorno de 100 anos em cada bacia;

- 1.3. determinação dos hidrogramas de cheia, nomeadamente referenciados para as bacias do Livramento e Figueira ao limite do concelho;
2. **propagação dos hidrogramas de cheia** correspondentes ao período de retorno de 100 anos nas respetivas ribeiras das bacias hidrográfica em análise (Livramento e Figueira) por recurso ao software de propagação de cheias, HEC-RAS do escoamento da chuvada com período de retorno de 100 anos:
 - 2.1. realização das simulações numéricas com definição das condições de fronteiras e respetivos parâmetros de cálculo implementados no software;
 - 2.2. apresentação e análise crítica dos resultados com delimitação da mancha de inundação correspondente à **Zona Ameaçada por Cheias não urbana da cidade de Setúbal**.

2 ESTUDO HIDROLÓGICO

2.1 Tempo de concentração

O tempo de concentração, t_c , é o intervalo de tempo necessário para que a água caída no ponto cinematicamente mais afastado da secção de referência da bacia atinja essa mesma secção.

Considerando que existem inúmeros métodos para o cálculo do tempo de concentração, a escolha do método baseia-se nas características da bacia em estudo. Salienta-se que o método do SCS é recomendado para bacias de pequena dimensão (aplicável a bacias com área inferior a 8 km^2), normalmente rurais, mas que no caso de bacias mistas, pode ser utilizado desde que se considere um número de escoamento ponderado com base nas várias ocupações da bacia (SCS (1973) e Correia (1984)). Desta forma, adotou-se o tempo de concentração calculado com base neste método por se considerar o mais indicado para representar as sub-bacias em análise.

Soil Conservation Service (SCS)

$$t_c = 1,67 t_L$$

$$t_L = \frac{L_b^{0,8} (S_{mr} + 1)^{0,7}}{734,43 i_{mb}^{0,5}}$$

t_c - tempo de concentração [h]

t_L - tempo de atraso [h]

i_{mb} - declive médio da bacia [%]

L_b - comprimento do curso de água principal da bacia [m]

S_{mr} - capacidade máxima de retenção [m] $S_{mr} = \frac{1000}{CN} - 10$

CN - número do escoamento [-]

Para a aplicação da equação do tempo de concentração segundo o método do SCS é necessário determinar do número do escoamento, CN. O número de escoamento é determinado em função do tipo de solo que constitui a bacia hidrográfica e da utilização e cobertura do mesmo na bacia. Como tal, descarregou-se o tema “Números do Escoamento (AMCII)” do subcapítulo *Características Hidrológicas do Solo* disponível no **Atlas da Água** em <http://snirh.pt/>, os valores considerados são os apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 | Ocupação de solos considerado na área da bacia. CN associado

Tipo de ocupação	Permeabilidade	CN
Edificações (Áreas residenciais/industriais + ruas e estradas)	reduzida a nula	100
Arbórea (florestas muito abertas ou de baixa transpiração)	elevada	75
pastos e plantações (Pastagens pobres)	elevada	79

Estando as bacias drenantes em estudo contidas nas bacias do Livramento e Figueira já estudadas, os pressupostos considerados são aplicados nesta análise. Assim sendo, os solos destas bacias são, maioritariamente, solos do tipo B (CAMBIO SOLOS¹), portanto, com uma capacidade de infiltração acima da média após completo humedecimento.

Para a determinação das percentagens de áreas da bacia drenante com reduzida a nula permeabilidade e com elevada permeabilidade foi considerada a informação obtida na carta de solos de Portugal e a imagem de satélite. Após a determinação das áreas que correspondem a cada tipo de permeabilização já referida no Quadro 2.1., determinou-se o número do escoamento (CN) ponderado, para condições antecedentes de humidade AMCII, Quadro 2.2.

O método do SCS recomenda que se corrija o CN tendo conta as condições de teor em água do solo. A situação propícia à formação das maiores cheias corresponde à condição de humidade AMC III (solo muito encharcado, quase saturado, originado por chuvas persistentes durante, pelo menos cinco dias anteriores).

O Quadro 2.2 apresenta um resumo das características das bacias do Livramento consideradas nos estudos já realizados (Bacia do Livramento referenciada ao troço canalizado e bacia da Gamita) e também, as características principais da bacia referenciada ao limite do concelho de setúbal, alvo de estudo neste documento.

¹ caracterizam-se de uma maneira geral, por serem jovens, moderadamente desenvolvidos sobre rocha parental pouco a moderadamente meteorizada, não apresentando quantidades apreciáveis de argila, matéria orgânica e compostos de alumínio ou ferro

Aplicando a expressão de cálculo do tempo de concentração acima apresentada (SCS), obteve-se o valor de 2.04 h (122.4 min) para a bacia do Livramento referida ao limite do concelho de setúbal (Figura 2.1).

O Quadro 2.3 apresenta um resumo das características da bacia da Figueira considerada no estudo “Defesa contra cheias na cidade de Setúbal – Ribeira da Figueira, Regularização do troço final a céu aberto da ribeira da Figueira, passagens hidráulicas do arco e bacia de retenção” de Dezembro de 2016 e também, as características principais da bacia referenciada a montante da Quinta de Santana, alvo de estudo neste documento.

Quadro 2.3 | Características das bacias de drenagem da Figueira consideradas em todos os estudos realizados

Principais características	Bacias hidrográficas	
	Figueira ref. ao troço canalizado	Figueira ref. a mont. da Quinta de Santana
Área da bacia hidrográfica (km ²)	5.11	3.00
<i>Curso de água principal:</i>		
Comprimento (km)	4.68	3.39
Cota na secção de montante (m)	220.00	220.00
Cota na secção de jusante (m)	4.30	17.19
Declive médio (%)	4.61	5.98
<i>Tipo de Ocupação:</i>		
Edificações (Áreas residenciais/industriais + ruas e estradas)	2.1%	0.0%
Arbórea (florestas muito abertas ou de baixa transpiração)	33.5%	38.4%
pastos e plantações (Pastagens pobres)	64.4%	61.6%
Curve Number (AMCII)	78.11	77.46
Curve Number (AMCIII)	92.80	92.48

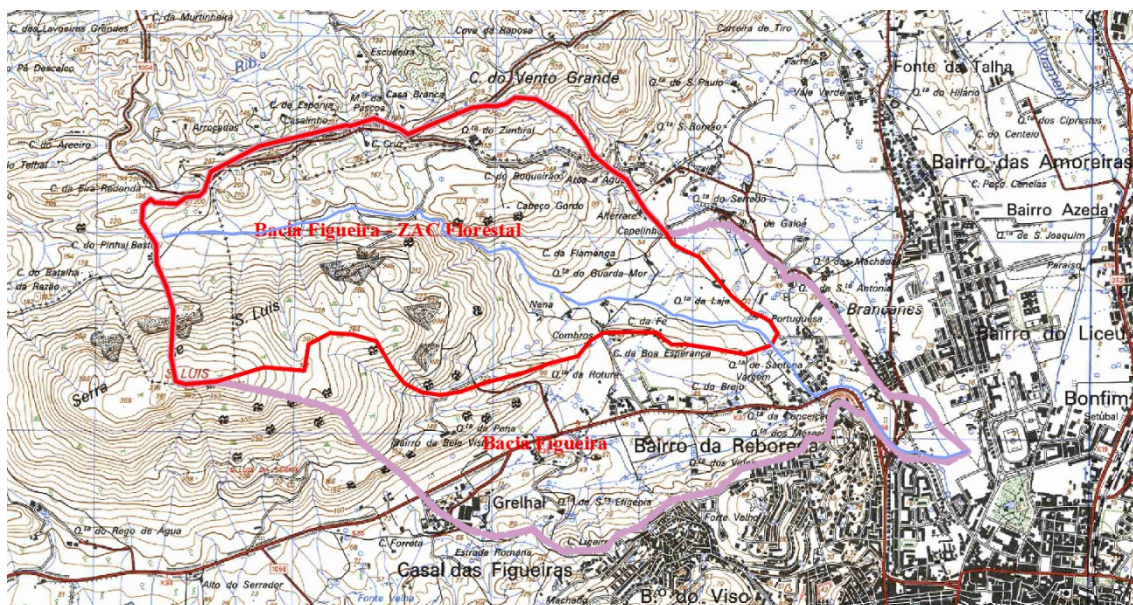


Figura 2.2 | Representação cartográfica da Bacia da Figueira

Aplicando a expressão de cálculo do tempo de concentração acima apresentada (SCS), obteve-se o valor de 0.94 h (56.4 min) para a bacia da Figueira referida ao limite do concelho de setúbal (Figura 2.2).

2.2 Precipitação

Estimativa da precipitação diária máxima anual nas sub-bacias hidrográficas para o período de retorno 100 anos

A estação meteorológica selecionada para a constituição da *série de precipitações diárias máximas anuais* foi Vila Nogueira De Azeitão (22C/02UG). Conseguiu-se constituir a série de precipitações diárias máximas anuais que consta Quadro 2.4.

Através do método dos momentos convencionais, procedeu-se ao cálculo da estimativa do valor da variável *precipitação diária máxima anual nas sub-bacias hidrográficas drenantes para cada nó de referência* (P_{dma}), para o período de retorno de 100 anos, utilizando a Lei de Gumbel e a equação:

$$P_{dma} = \bar{X} + K_{Gumbel}^F \sigma_x$$

$\bar{X}$ - média da amostra [mm]

σ_x - desvio padrão da amostra com correção do viés [mm]

K_{Gumbel}^F - fator de probabilidade segundo a lei de Gumbel [-] (dado pela expressão seguinte, onde F corresponde à probabilidade de não-excedência)

$$K_{Gumbel}^F \cong -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \{0.577216 + \ln [\ln (1/F)]\}$$

De acordo com o anteriormente exposto, a estimativa da *precipitação diária máxima anual* (P_{dma}) para o período de retorno 100 anos é de 108,50 mm, sendo que este valor é constante para todas as sub-bacias, uma vez que a estação meteorológica de referência foi a mesma.

Quadro 2.4 | Série de precipitações diárias máximas anuais para a Estação de Vila Nogueira de Azeitão

Data	VILA NOGUEIRA DE AZEITÃO (22C/02UG)	Data	VILA NOGUEIRA DE AZEITÃO (22C/02UG)	Data	VILA NOGUEIRA DE AZEITÃO (22C/02UG)
	Precipitação diária máxima anual (mm)		Precipitação diária máxima anual (mm)		Precipitação diária máxima anual (mm)
11/01/1932	26,60	06/03/1957	22,50	07/11/1982	96,50
18/11/1932	54,10	28/01/1958	43,50	21/11/1983	105,40
07/10/1933	45,20	21/05/1959	67,50	21/01/1985	72,00
13/12/1934	34,20	20/11/1959	81,20	15/09/1986	73,40
08/03/1936	78,80	22/10/1960	32,30	10/01/1987	54,00
22/01/1937	26,00	01/01/1962	38,50	05/07/1988	48,50
15/11/1937	40,20	16/02/1963	45,40	25/11/1988	38,00
09/12/1938	34,60	07/12/1963	48,50	26/11/1989	67,50
01/01/1940	86,00	01/03/1965	45,00	12/02/1991	87,50
21/01/1941	41,30	14/04/1966	35,30	14/01/1992	45,00
30/09/1942	45,00	06/11/1966	40,90	18/09/1993	38,50
03/12/1942	45,00	26/11/1967	43,00	01/11/1993	98,50
24/09/1944	38,50	01/11/1968	63,30	09/11/1994	(vc) 51,5
26/11/1944	20,10	06/06/1970	57,80	11/11/1995	(vc) 52,6
21/12/1945	35,40	13/06/1971	30,00	21/12/1996	(vc) 52,7
22/02/1947	44,60	01/02/1972	46,50	02/11/1997	(vc) 52,8
30/11/1947	75,00	16/12/1972	52,30	13/03/1999	(vc) 52,9
12/12/1948	40,00	20/12/1973	40,50	20/10/1999	(vc) 52,10
15/05/1950	36,50	29/09/1975	27,00	29/09/2001	(vc) 52,11
28/12/1950	37,20	30/01/1976	34,50	06/10/2001	(vc) 52,12
27/01/1952	65,00	15/12/1976	42,30	01/10/2003	(vc) 52,13
19/03/1953	31,40	17/10/1977	66,30	12/05/2005	(vc) 52,14
16/12/1953	47,50	10/02/1979	55,70	17/03/2006	(vc) 52,15
29/01/1955	26,50	06/10/1979	(vd) 50,1	18/02/2008	(vc) 52,16
12/01/1956	48,40	29/03/1981	36,20	28/12/2009	(vc) 52,17
12/10/1956	22,50	05/10/1981	73,20	30/03/2012	(vc) 52,18

Evento de precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica

As curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) estabelecem a relação entre a intensidade, a duração e o período de retorno de uma dada chuvada. Brandão *et al.* (2001) apresentam curvas IDF para 27 postos udográficos em Portugal Continental, a partir do tratamento estatístico das séries anuais de intensidade de precipitação máxima nos respetivos postos.

Estas curvas resultaram do ajustamento à série em estudo de uma curva do tipo potencial dada por:

$$I = at_p^b$$

I - intensidade de precipitação [mm/h]

t_p - duração da precipitação [min]

a e b - parâmetros das curvas IDF que expressam a probabilidade do evento [-]

No presente caso, adotaram-se os valores das curvas IDF do posto udométrico de Lisboa (Portela - 21C/02) para o período de retorno de 100 anos que constam do Quadro 2.5.

Quadro 2.5 | Parâmetros a e b das curvas IDF para Estação Lisboa-Portela (21C/02)
(extraído de BRANDÃO *et al.*, 2001)

	Válida para as durações entre 5 e 30 min		Válida para as durações entre 30 min e 6 h		Válida para as durações entre 6 e as 48 h	
T [anos]	a	b	a	b	a	b
100	591,31	-0,598	611,24	-0,616	1557,10	-0,772

Considerando a precipitação diária associada ao período de retorno de 100 anos, estimaram-se as precipitações correspondentes a durações iguais ao tempo de concentração de cada sub-bacia drenante para os nós de referência (Quadro A.9), pois estas representam a situação mais desfavorável - **precipitação crítica**.

Efetuuou-se assim a repartição da precipitação em intervalos de tempo menores, aplicando-se os parâmetros das curvas IDF nas sub-bacias em análise.

Como as partições de tempo das IDF, válidas para as durações que se pretendem relacionar, são diferentes entre si, o cálculo da precipitação com a duração pretendida foi efetuado em duas etapas:

Etapa 1. cálculo da precipitação com duração de 30min ou 6 h recorrendo respetivamente ao parâmetro b_1 do intervalo [30 min - 6 h];

Etapa 2. determinação da precipitação com a duração igual ao tempo de concentração (t_c), com base na precipitação calculada na Etapa 1 e do parâmetro b_2 do intervalo do intervalo [30 min - 6 h].

A relação de precipitação utilizada foi a seguinte:

$$P_{t_c} = \left(\frac{6}{24}\right)^{b_1+1} + \left(\frac{t_c}{6}\right)^{b_2+1} P_{24}$$

P_{t_c} - precipitação com duração igual ao tempo de concentração [mm]

P_{24} - precipitação em 24 h [mm]

b_1 e b_2 - parâmetro da curva IDF para o intervalo de tempo correspondente [-]

As precipitações com durações iguais aos respetivos tempos de concentração das bacias do Livramento (2.04h) e da Figueira (0.94h), para o período de retorno de 100 anos, são respetivamente 30.69 mm e 22.8 mm.

Hietogramas da precipitação

De toda a precipitação que ocorre sobre as bacias hidrográficas em estudo, as que dão origem a escoamento superficial direto designam-se por precipitações efetivas, quando se lhe retiram as perdas relativas à infiltração e interceção e as perdas ocorridas nas depressões no solo. Estas perdas de precipitação foram estimadas no presente estudo por recurso ao método do SCS. Não obstante se ter considerado esta estimativa na simulação dos hidrogramas de cheia com o HEC-HMS, os hietogramas de precipitação total utilizados foram previamente construídos para intensidades de precipitação não uniforme, e com base na curva de intensidade-duração-frequência anteriormente referida.

Para a Bacia de drenagem do Livramento referenciada ao limite do concelho, adotou-se uma discretização temporal, Δt , de 14 min e para a bacia de drenagem da figueira referenciada a montante da Quinta de Santana uma discretização temporal, Δt , de 6 min (o que para uma chuvada com duração igual ao tempo de concentração do livramento de 2.04h e figueira de 0.94h, corresponde a 9 blocos) e uma disposição alternada, o que de acordo com a literatura, corresponde à situação mais conservativa (ao hietograma de precipitação que gera um maior caudal de ponta).

Na Figura 2.3 e Quadro 2.6 apresentam-se, respetivamente, os hietogramas de precipitação alternados, para o período de retorno de 100 anos para as duas bacias em estudo.

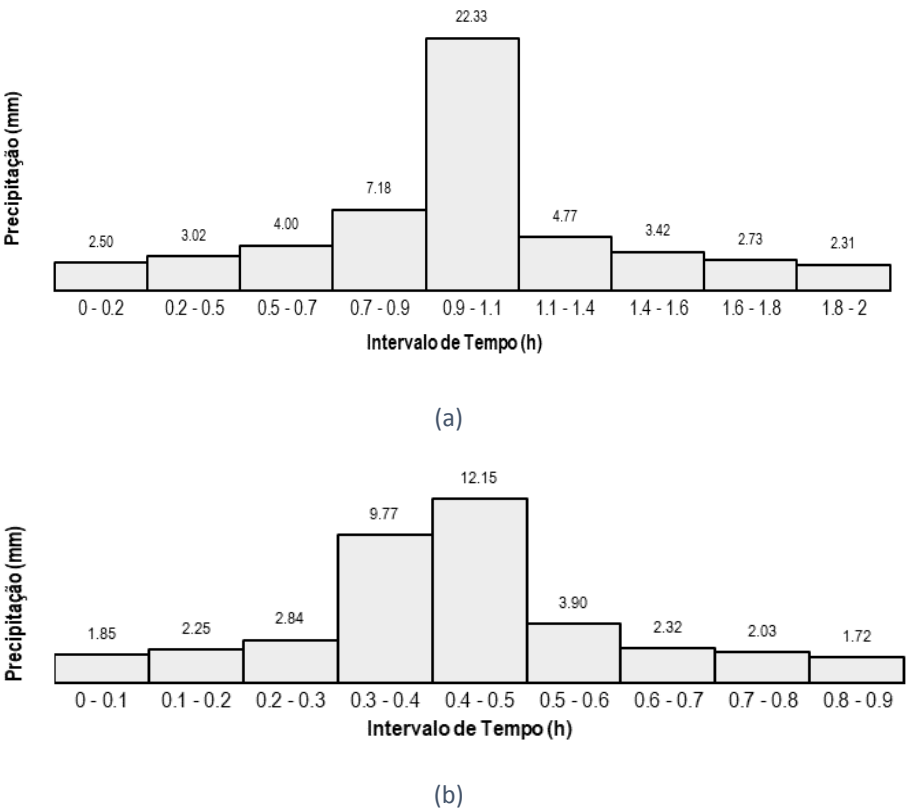


Figura 2.3 | Hietogramas de precipitação alternados com período de retorno de 100 anos para as bacias drenantes: (a) Livramento; (b) Figueira

Quadro 2.6 | Precipitação por bloco para o período de retorno de 100 anos para as bacias drenante do Livramento referenciada ao limite do concelho e da Figueira referenciada a montante da Quinta de Santana (com 9 blocos alternados com durações de $1/9t_c$)

Precipitação incremental [mm] <i>hietograma alternado</i>			
Bacia do Livramento		Bacia da Figueira	
<i>Blocos</i>	100	<i>Blocos</i>	100
00h00 - 00h13	2.50	00h00 - 00h06	1.85
00h13 - 00h27	3.02	00h06 - 00h12	2.25
00h27 - 00h40	4.00	00h12 - 00h18	2.84
00h40 - 00h53	7.18	00h18 - 00h24	9.77
00h53 - 01h07	22.33	00h24 - 00h29	12.15
01h07 - 01h20	4.77	00h29 - 00h35	3.90
01h20 - 01h33	3.42	00h35 - 00h41	2.32
01h33 - 01h47	2.73	00h41 - 00h47	2.03
01h47 - 02h00	2.31	00h47 - 00h53	1.72

2.3 Caudais de ponta e hidrogramas de cheia

Fórmula Racional

A fórmula racional é traduzida pela expressão seguinte:

$$Q_p = CIA$$

C - coeficiente de escoamento [-]

I - intensidade média da precipitação (considerando-se, no presente estudo durações da precipitação iguais aos tempos de concentração das sub-bacias em análise) [m/s]

A - área da bacia [m²]

O coeficiente de escoamento (C) da fórmula racional foi considerado, no presente estudo, igual a $CN_{AMCIII}/100$, igualdade esta que se sabe não corresponder à realidade, uma vez que, atendendo à forma como estas variáveis se relacionam, se conclui que o coeficiente do escoamento da fórmula racional é usualmente inferior a este rácio. No entanto, devido à incerteza na quantificação exata deste parâmetro (C), assumiu-se uma estimativa por excesso do mesmo para se obterem caudais de cheia do lado da segurança. Assim, os parâmetros que permitiram aplicar a Fórmula Racional e assim obter os respetivos caudais de ponta nas bacias drenantes em análise foram os que constam do Quadro 2.7.

Quadro 2.7 | Caudais de ponta de cheia com período de retorno de 100 anos das bacias de drenagem do Livramento referenciada ao limite do concelho de Setúbal e da Figueira referenciada a montante da Quinta de Santana calculados pela Fórmula Racional

A [km ²]	t _c [min]	a	b	i [mm/h]	P [mm]	CN	C _{adopt} [-]	Q _p [m ³ /s]
8.06	119.88	611.24	-0.62	32.04	4.30	92.52	0.93	66.33
3.00	56.44	611.24	-0.62	50.96	2.55	92.48	0.92	39.28

Hidrogramas de cheia calculados com o HEC-HMS

Os hidrogramas de cheia e os correspondentes caudais de ponta de cheia foram obtidos com o *software* HEC-HMS, desenvolvido por USACE (1990), considerando os hietogramas de projeto na aplicação do modelo do hidrograma unitário do SCS.

Os parâmetros de entrada no modelo foram:

Para a bacia do Livramento (Figura 2.4)

- i) número de escoamento (CN=92.52);
- ii) percentagem de área impermeabilizada na bacia (0.2%);
- iii) tempo de lag (t_{lag})² - é usual considerar que o tempo de lag corresponde a 60% do tempo de concentração da bacia hidrográfica, pelo que se adotou uma duração de 72 min para este parâmetro;
- iv) método de cálculo (Soil Conservation Service);
- v) tempo incremental precipitação de 15 min (valor disponível pelo programa que é mais próximo do bloco com duração $1/9 t_c$)
- vi) condição de fronteira montante (subbasin);
- vii) condição de fronteira a jusante (saída – Sink tool);
- viii) Tempo incremental de simulação de 1 min.

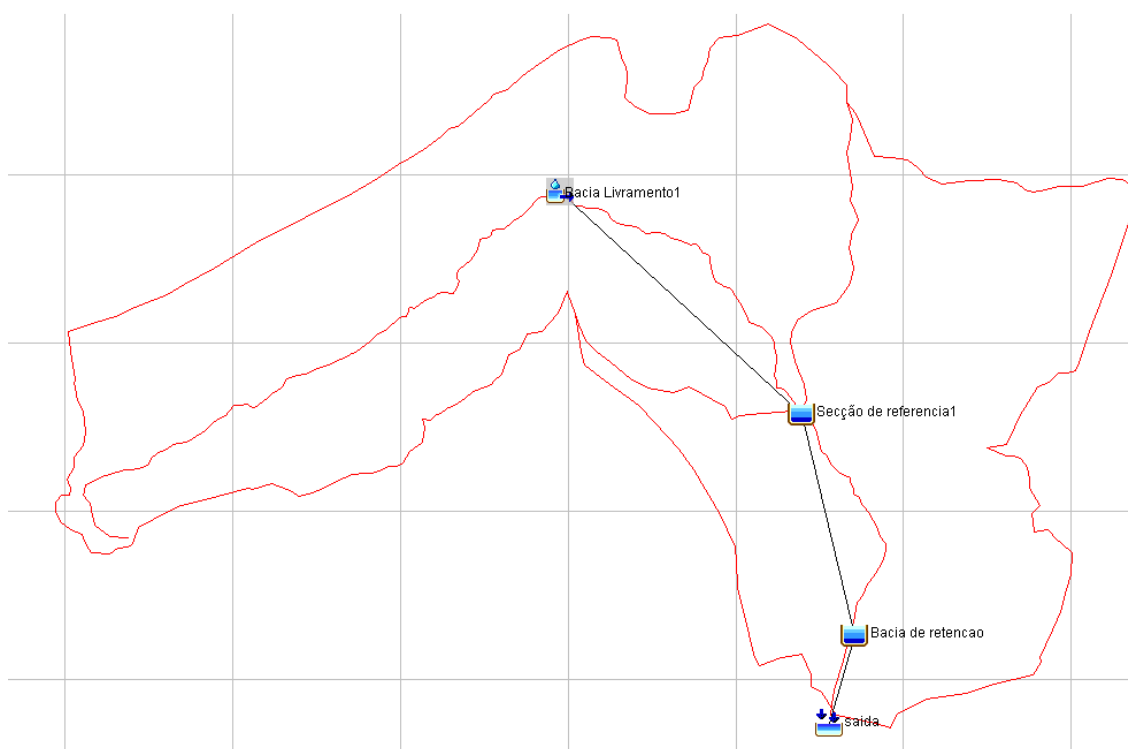


Figura 2.4 | Projeto criado em HEC-HMS para determinação do hidrograma de cheia efluente da bacia do Livramento (T= 100 anos)

² consiste no intervalo de tempo entre os instantes temporais correspondentes ao centro de gravidade do hietograma de precipitação efetiva uniforme (duração D) e o caudal de ponta do hidrograma unitário.

Para a bacia da Figueira (Figura 2.4)

- i) número de escoamento (CN=92.48);
- ii) percentagem de área impermeabilizada na bacia (0%);
- iii) tempo de lag (t_{lag})³ - é usual considerar que o tempo de lag corresponde a 60% do tempo de concentração da bacia hidrográfica, pelo que se adotou uma duração de 34 min para este parâmetro;
- iv) método de cálculo (Soil Conservation Service);
- v) tempo incremental precipitação de 6 min (valor disponível pelo programa que é mais próximo do bloco com duração $1/9 t_c$)
- vi) condição de fronteira montante (subbasin);
- vii) condição de fronteira a jusante (saída – Sink tool);
- viii) Tempo incremental de simulação de 1 min.

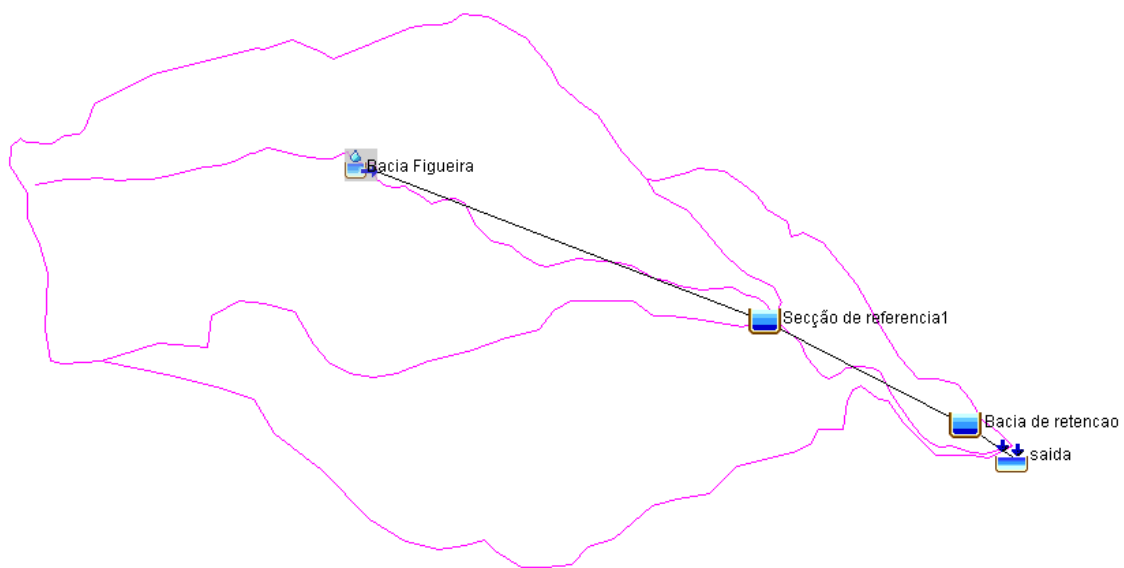
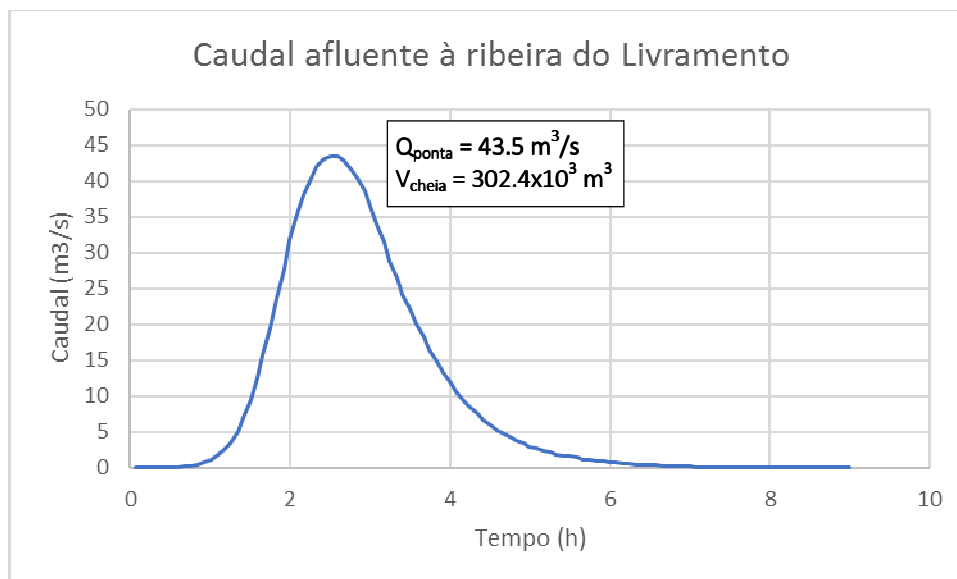


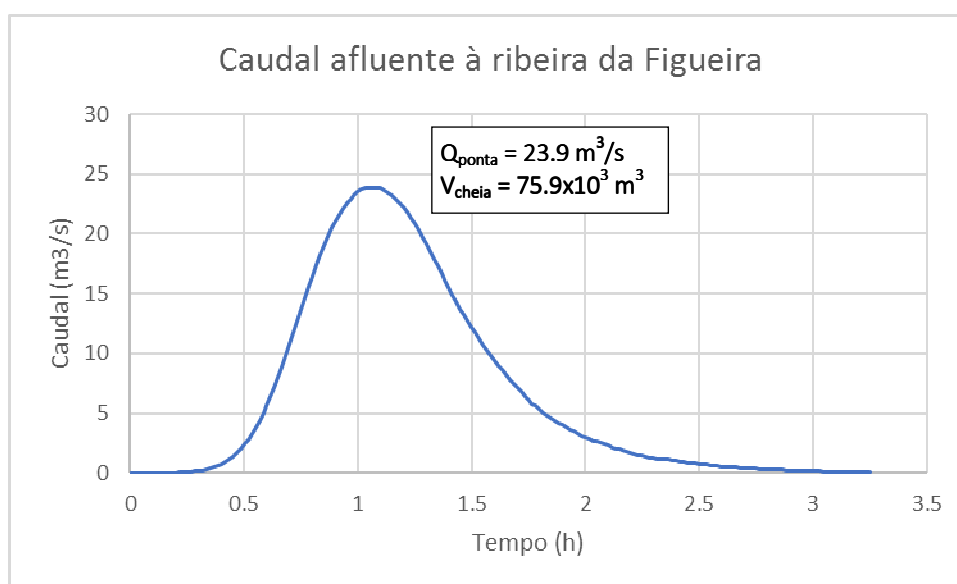
Figura 2.5 | Projeto criado em HEC-HMS para determinação do hidrograma de cheia efluente da bacia da Figueira (T= 100 anos)

Com base nesta metodologia obtiveram-se os hidrogramas de cheia assim como os respetivos valores de caudal de ponta e volumes de cheia correspondentes ao período de retorno de 100 anos (Figura 2.6).

³ consiste no intervalo de tempo entre os instantes temporais correspondentes ao centro de gravidade do hietograma de precipitação efetiva uniforme (duração D) e o caudal de ponta do hidrograma unitário.



(a)



(b)

Figura 2.6 | Hidrograma de cheia efluente e respectivos caudais de ponta e volumes de cheia correspondentes (T= 100 anos) das bacias drenantes: (a) Livramento; (b) Figueira

3 DETERMINAÇÃO DA ZONA INUNDADA

3.1 Ribeira do Livramento

3.1.1 Simulações

A caracterização da ribeira do Livramento foi efetuada com a extração de seis perfis transversais à ribeira distanciados de aproximadamente 186m à exceção da distância entre os perfis P5 e P6 que é de 203m. Após a introdução dos perfis no software HEC-RAS estes são interpolados linearmente para que a distância entre dois perfis seja sempre inferior a 15m, Figura 3.1.

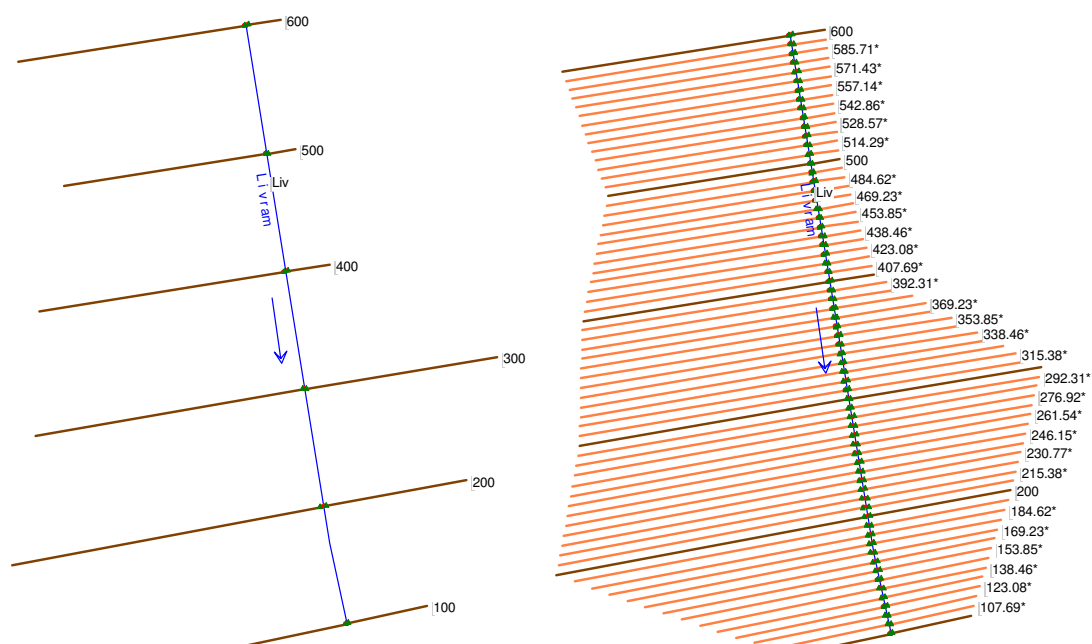


Figura 3.1 | Ribeira do Livramento e localização dos perfis transversais. Esq.: Perfis extraídos da carta topográfica. Dir.: Perfis interpolados.

Na Figura 3.2 apresentam-se os perfis utilizados, a localização do canal de escoamento e das margens laterais. O coeficiente de rugosidade de Manning utilizado no leito da ribeira foi de 0.02 e nas margens 0.03.

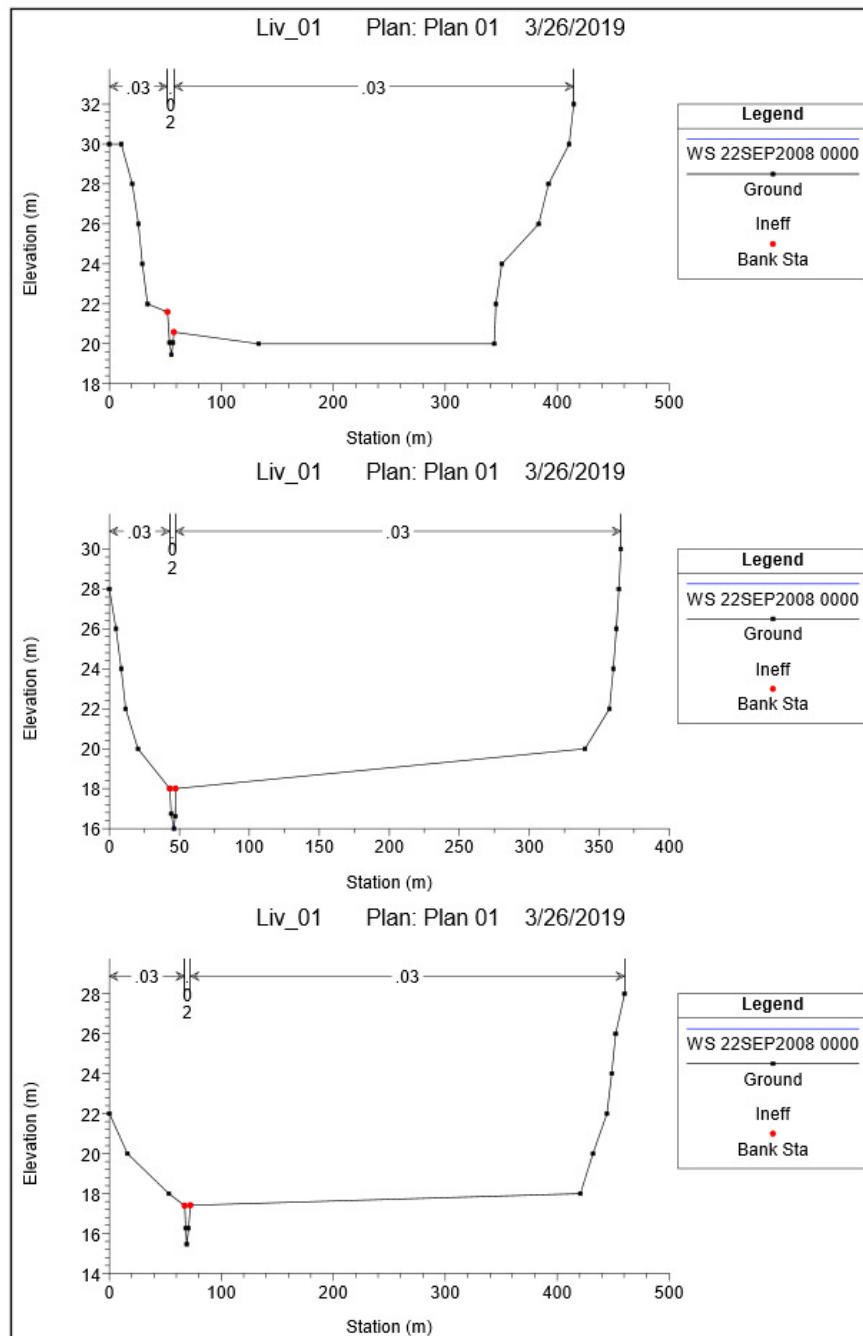


Figura 3.2 | Perfis P6 a P4.

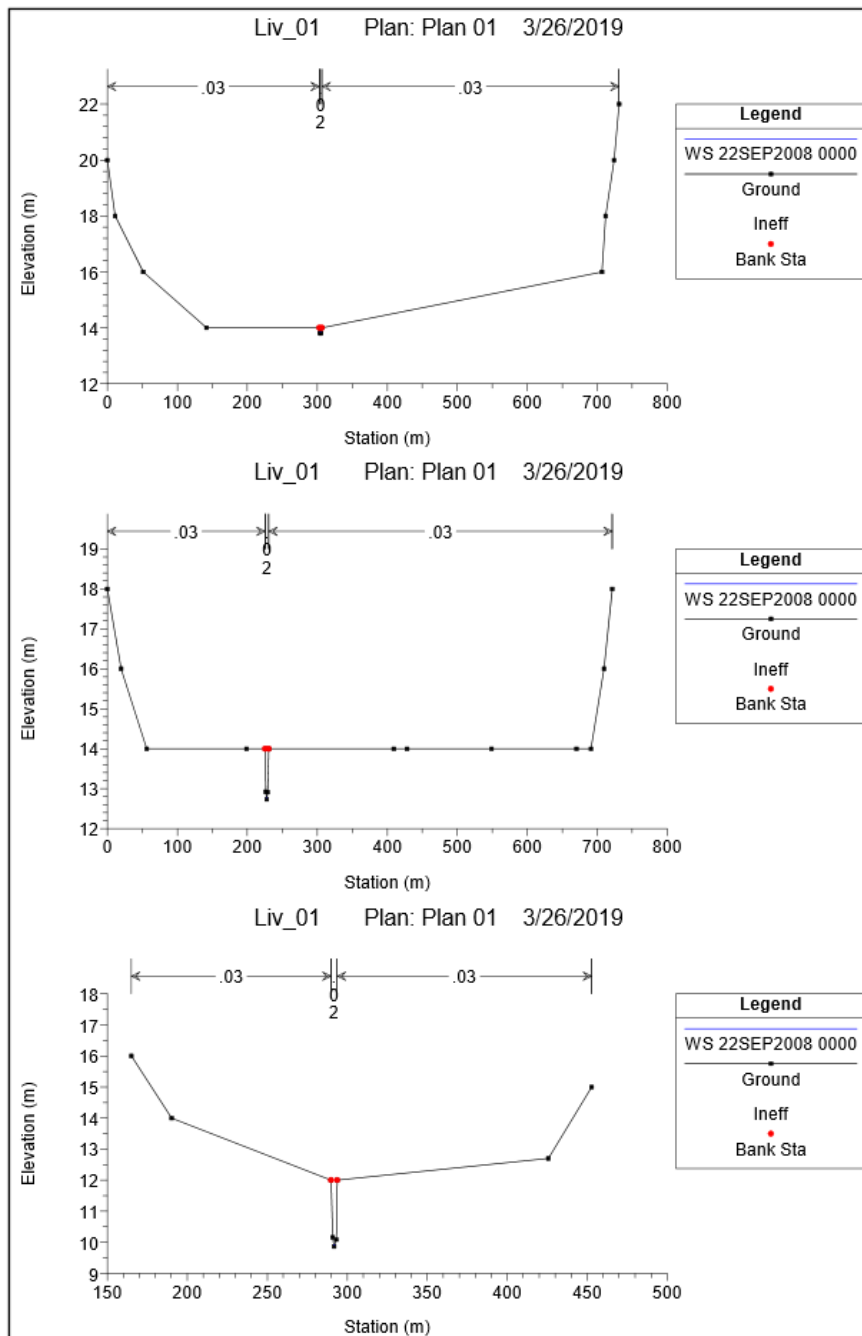


Figura 3.3 | Perfis P3 a P1.

3.1.2 Resultados

Nas Figura 3.4 a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**Figura 3.19 apresentam-se alguns instantes representativos do desenvolvimento da inundação.

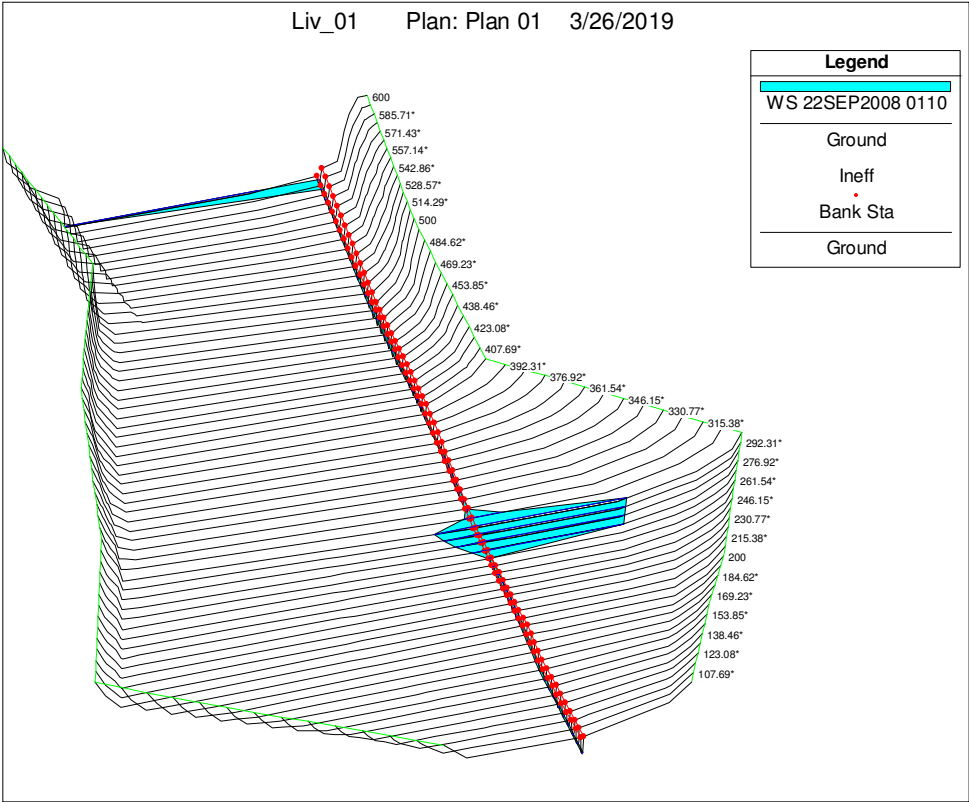


Figura 3.4 | Espraiamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 01h10min. (início da inundação)

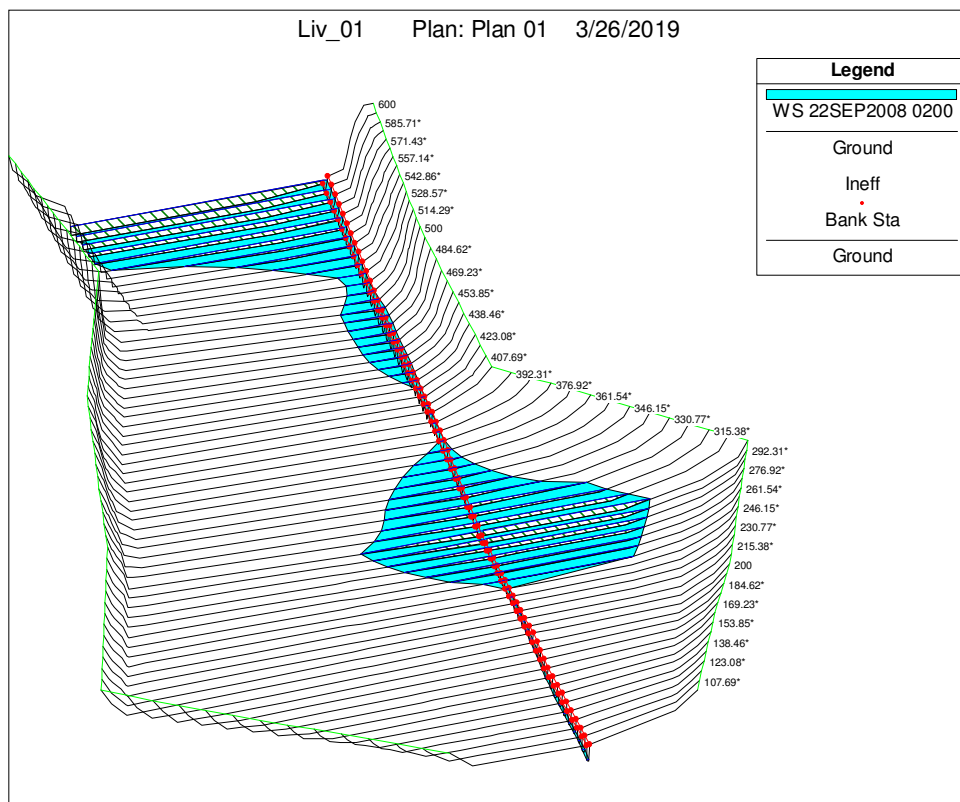


Figura 3.5 | Espraiamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 02h00min.

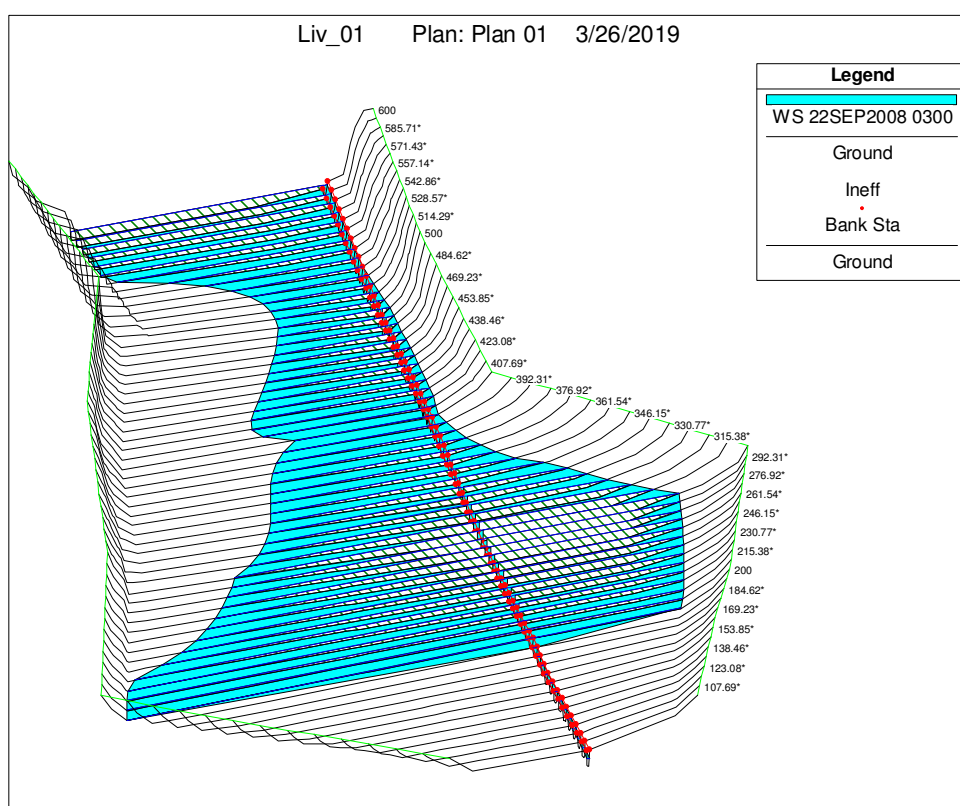


Figura 3.6 | Espraiamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 03h00min.

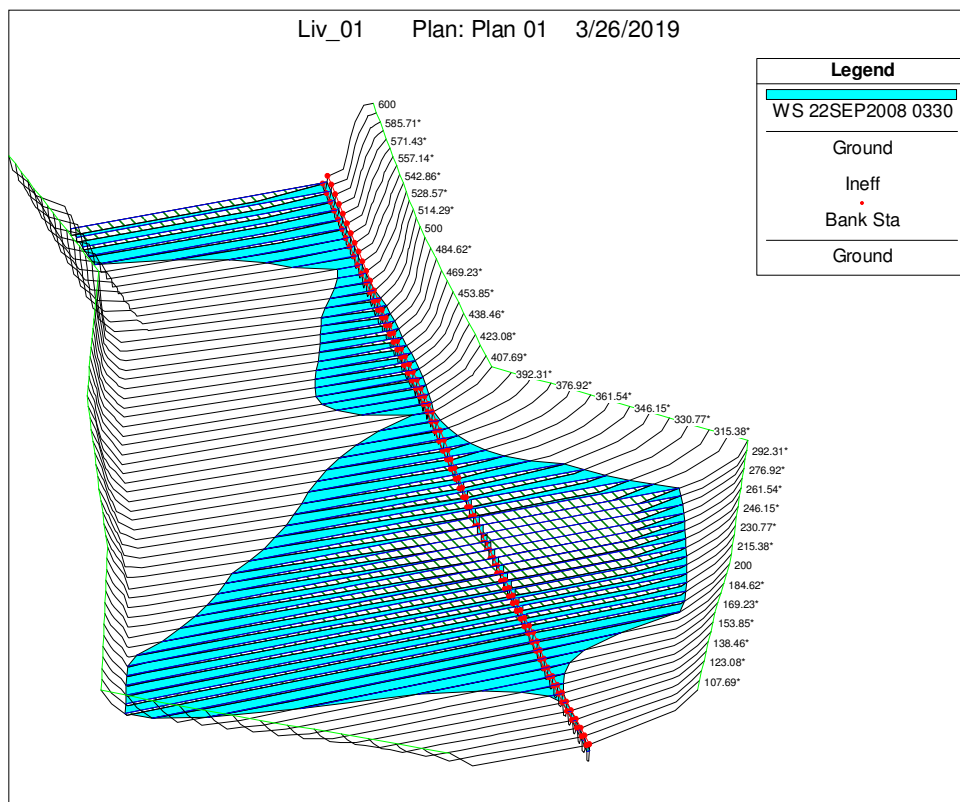


Figura 3.7 | Espreadimento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 03h30min.

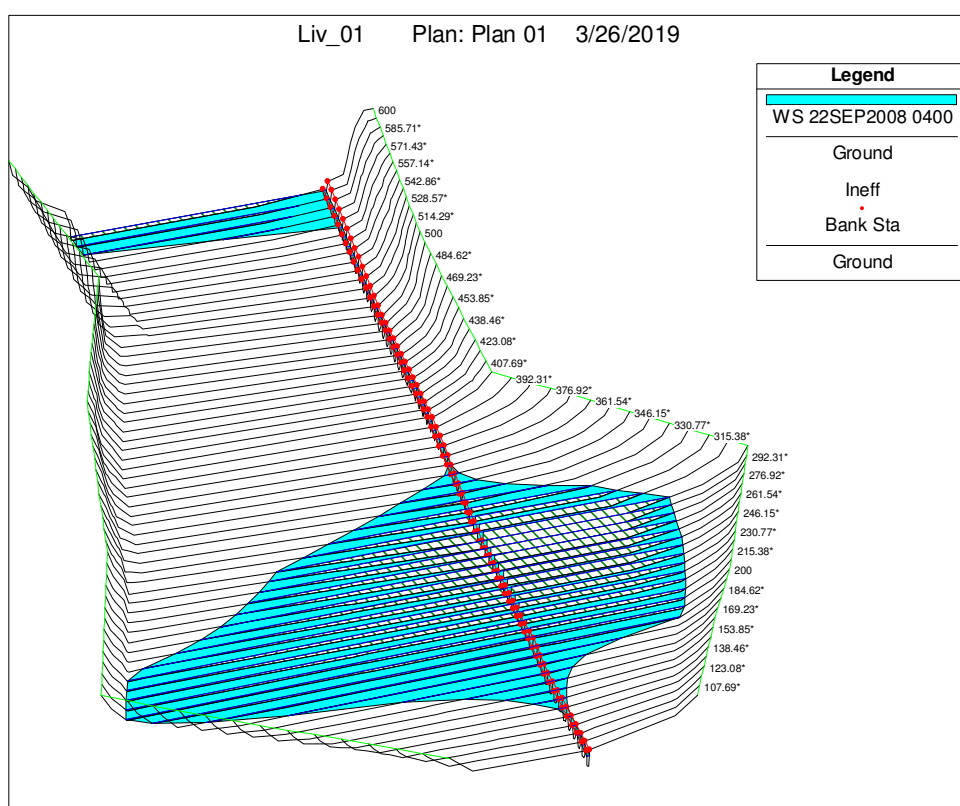


Figura 3.8 | Espreadimento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 04h00min.

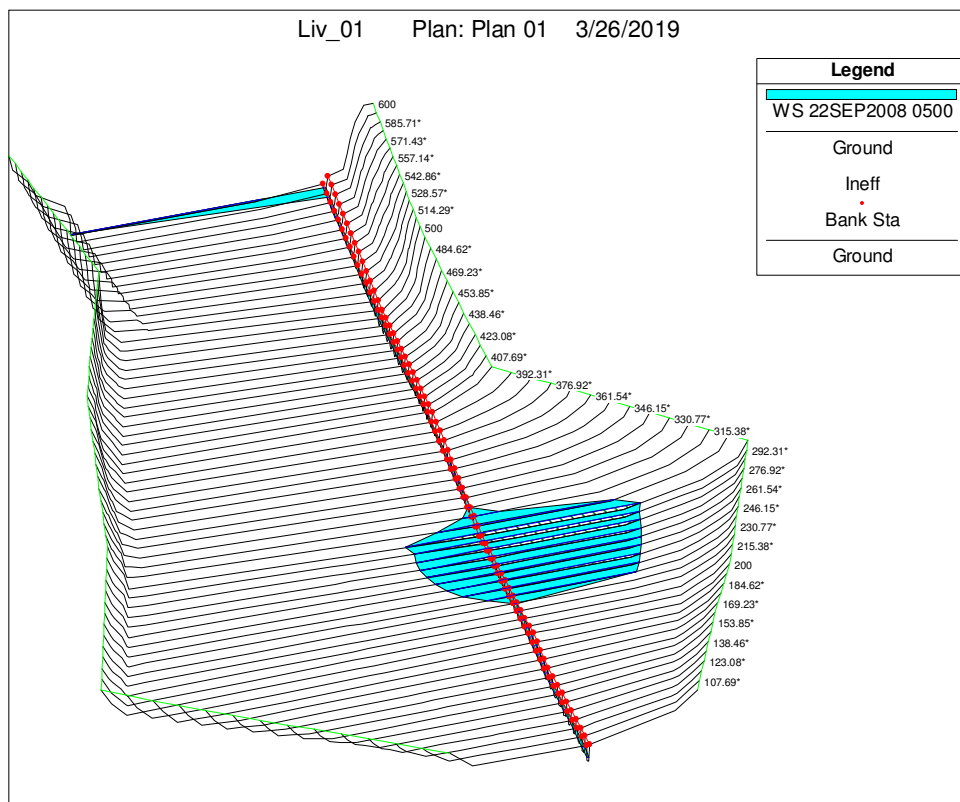


Figura 3.9 | Espraiamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 05h00min.

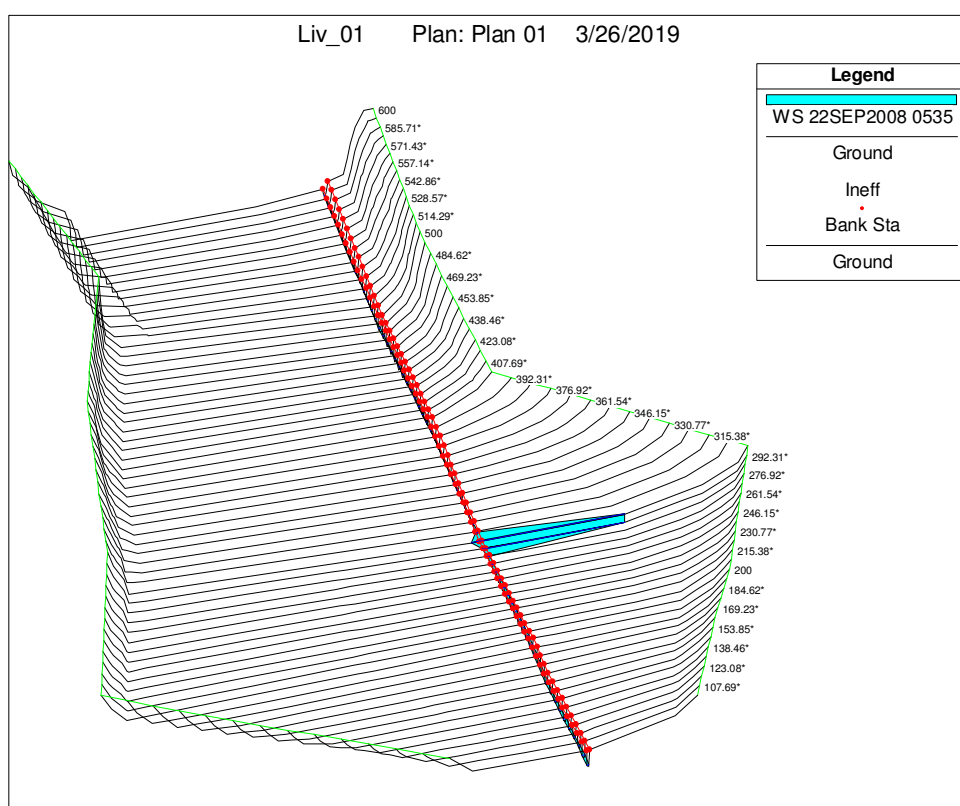


Figura 3.10 | Espraiamento da inundação na ribeira do Livramento. Resultado da simulação ao fim de 05h35min.

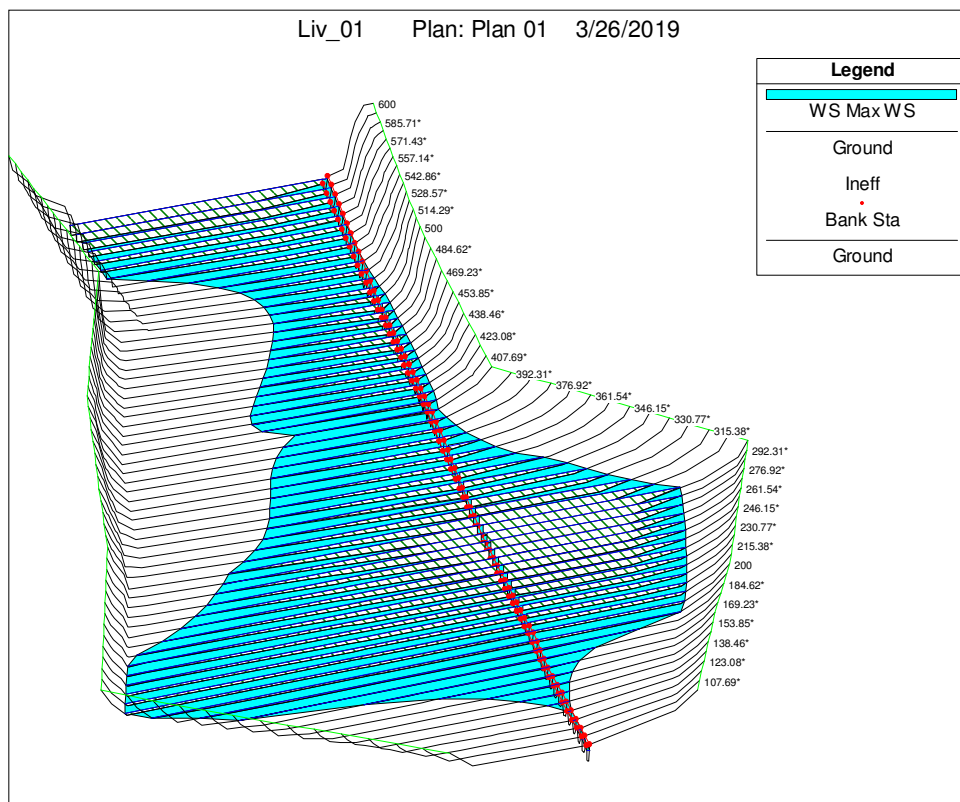


Figura 3.11 | Espreadimento máximo da inundação na ribeira do Livramento

Na Figura 3.12 apresenta-se uma vista de topo da mancha de inundação máxima. A área total inundada é de 279 905,11 m². A inundação ocorre ao longo de todo o troço da ribeira simulada, com maior extensão entre os perfis P3 e P2, para ambas as margens. A inundação tem uma duração de 04h25min, após os quais todo o caudal é escoado para jusante.

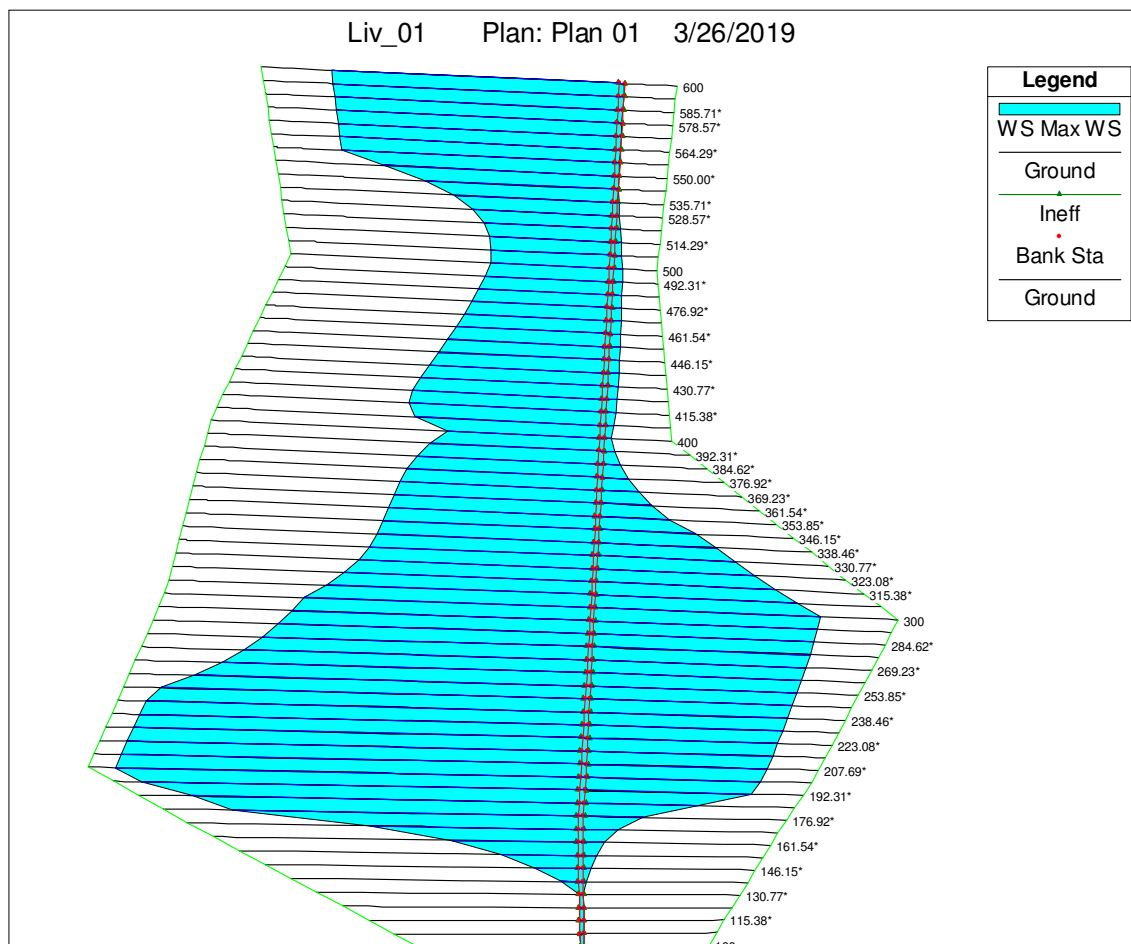


Figura 3.12 | Vista de topo do espraio máximo da inundação na ribeira do Livramento.

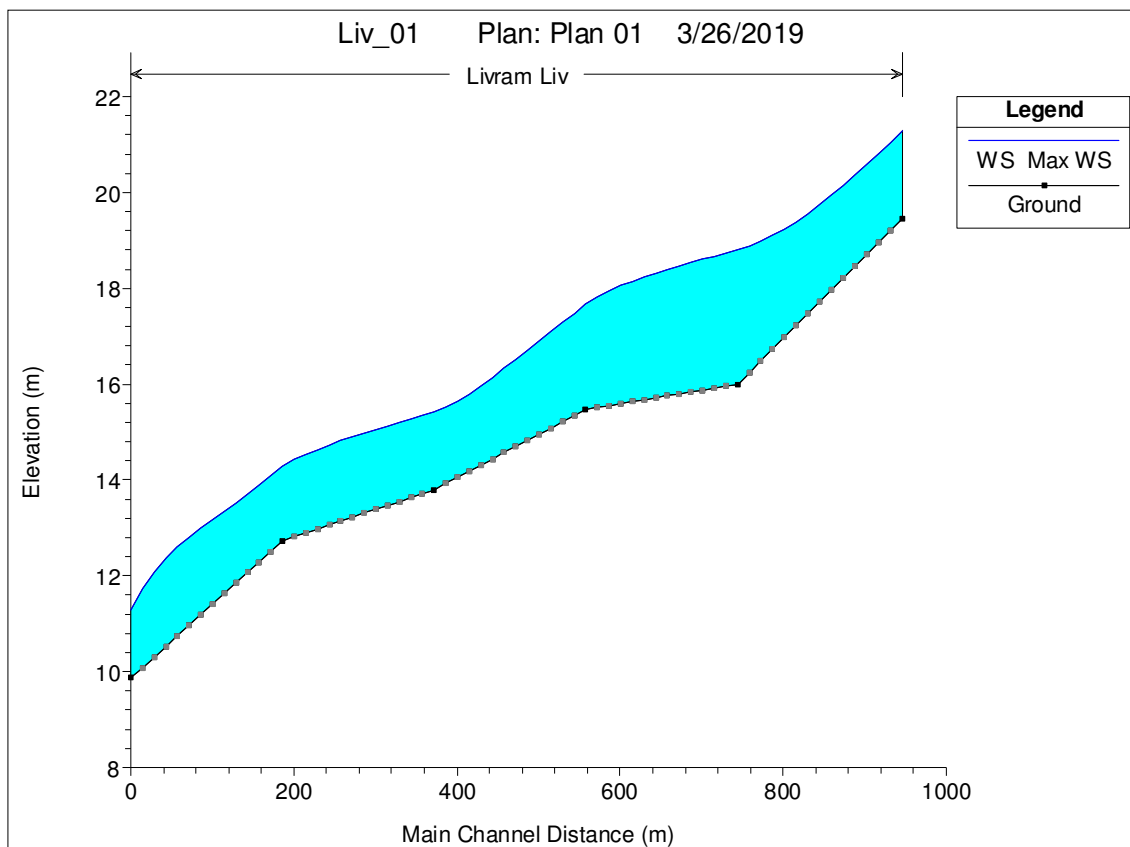


Figura 3.13 | Perfil longitudinal do leito da ribeira do Livramento e altura máxima do escoamento.

As velocidades máximas do escoamento situam-se entre os 4,55m/s e 10,33m/s, Figura 3.14, no canal e são geralmente inferiores a 3,5m/s nas margens.

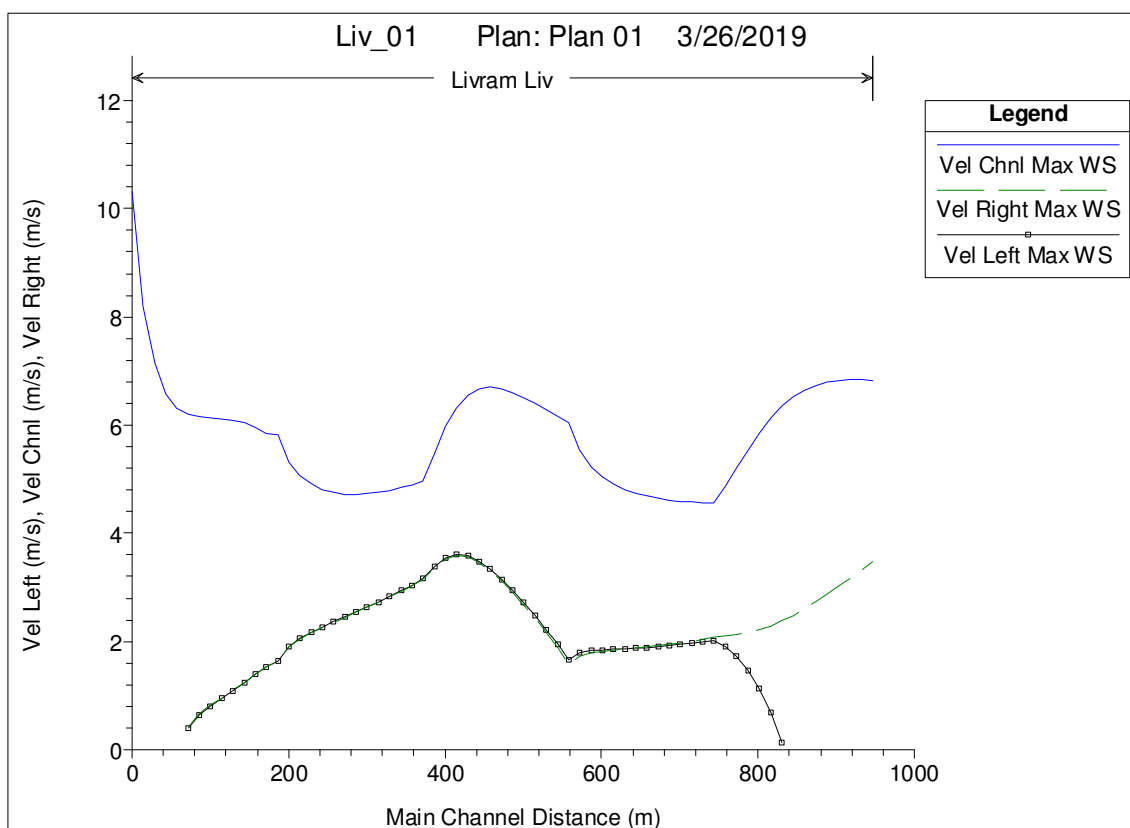


Figura 3.14 | Velocidades máximas do escoamento no leito da ribeira (azul) e nas margens esquerda (preto) e direita (verde), respetivamente.

No quadro 3.1 apresentam-se as cotas, as velocidades e as larguras máximas atingidas pelo escoamento em cada perfil de cálculo. A partir desta informação foram traçadas as manchas de inundação constantes do desenho nº4.

Quadro 3.1 | Resultados da simulação da cheia com $Tr=100$ anos. Cotas, velocidades e largura máximas atingidas pelo escoamento.

Perfil	distancia ao perfil P6	Cota de inundação	Velocidade de escoamento na ribeira	Largura da inundação
	(m)	(m)	(m/s)	(m)
P6	0.0	21.28	6.81	292.33
	14.5	21.04	6.84	289.92
	29.0	20.82	6.84	287.49
	43.5	20.59	6.82	285.06
	58.0	20.37	6.79	282.61
	72.5	20.15	6.73	280.13
	87.0	19.94	6.65	277.62
	101.5	19.74	6.52	235.55
	116.0	19.56	6.36	192.98
	130.5	19.38	6.13	164.83
	145.0	19.23	5.86	146.81
	159.5	19.1	5.54	136.32
	174.0	18.98	5.21	131.4
	188.5	18.89	4.87	130.42
	203.0	18.81	4.55	131.91
	217.3	18.74	4.56	137.26
P5	231.6	18.67	4.57	143.15
	245.9	18.6	4.59	149.62
	260.2	18.53	4.62	156.63
	274.5	18.46	4.65	164.06
	288.8	18.39	4.69	172.08
	303.1	18.31	4.74	180.61
	317.4	18.23	4.81	189.01
	331.7	18.15	4.91	197.24
	346.0	18.06	5.04	204.08
	360.3	17.95	5.23	206.45
	374.6	17.83	5.53	198.46
	389.0	17.67	6.04	163.34
P4	403.3	17.48	6.16	184.93
	417.6	17.29	6.28	203.66
	431.9	17.1	6.39	221.16
	446.2	16.91	6.51	237.74
	460.5	16.71	6.6	256.84
	474.8	16.52	6.67	280.19
	489.1	16.32	6.7	311.1
	503.4	16.13	6.67	339.34
	517.7	15.96	6.55	365.05
	532.0	15.79	6.32	394.55
	546.3	15.64	5.97	428.75
	560.6	15.52	5.5	468.89
P3	574.9	15.43	4.97	515.58
	589.2	15.36	4.9	523.86
	603.5	15.28	4.84	533.79

Perfil	distancia ao perfil P6	Cota de inundação	Velocidade de escoamento na ribeira	Largura da inundação
	(m)	(m)	(m/s)	(m)
	617.8	15.21	4.79	545.65
	632.1	15.13	4.76	559.97
	646.4	15.06	4.73	577.63
	660.7	14.98	4.72	599.89
	675.1	14.9	4.72	629.27
	689.4	14.82	4.75	639.7
	703.7	14.73	4.81	641.14
	718.0	14.64	4.91	642.21
	732.3	14.54	5.07	642.74
	746.6	14.42	5.32	642.92
P2	760.9	14.27	5.82	642.23
	775.2	14.09	5.85	607.47
	789.5	13.9	5.95	504.06
	803.8	13.71	6.04	409.23
	818.1	13.52	6.09	247.33
	832.4	13.34	6.12	152.16
	846.7	13.17	6.13	95.4
	861.0	12.99	6.15	56.34
	875.3	12.8	6.2	26.21
	889.6	12.61	6.31	4.24
	903.9	12.38	6.57	4.06
	918.2	12.09	7.14	3.84
	932.5	11.73	8.2	3.58
P1	946.8	11.28	10.33	3.26

3.2 Ribeira da Figueira

3.2.1 Simulações

A caracterização da ribeira da Figueira foi efetuada com a extração de sete perfis transversais à ribeira distanciados de aproximadamente 107m. Após a introdução dos perfis no software HEC-RAS estes são interpolados linearmente para que a distância entre dois perfis seja sempre inferior a 15m, Figura 3.15.

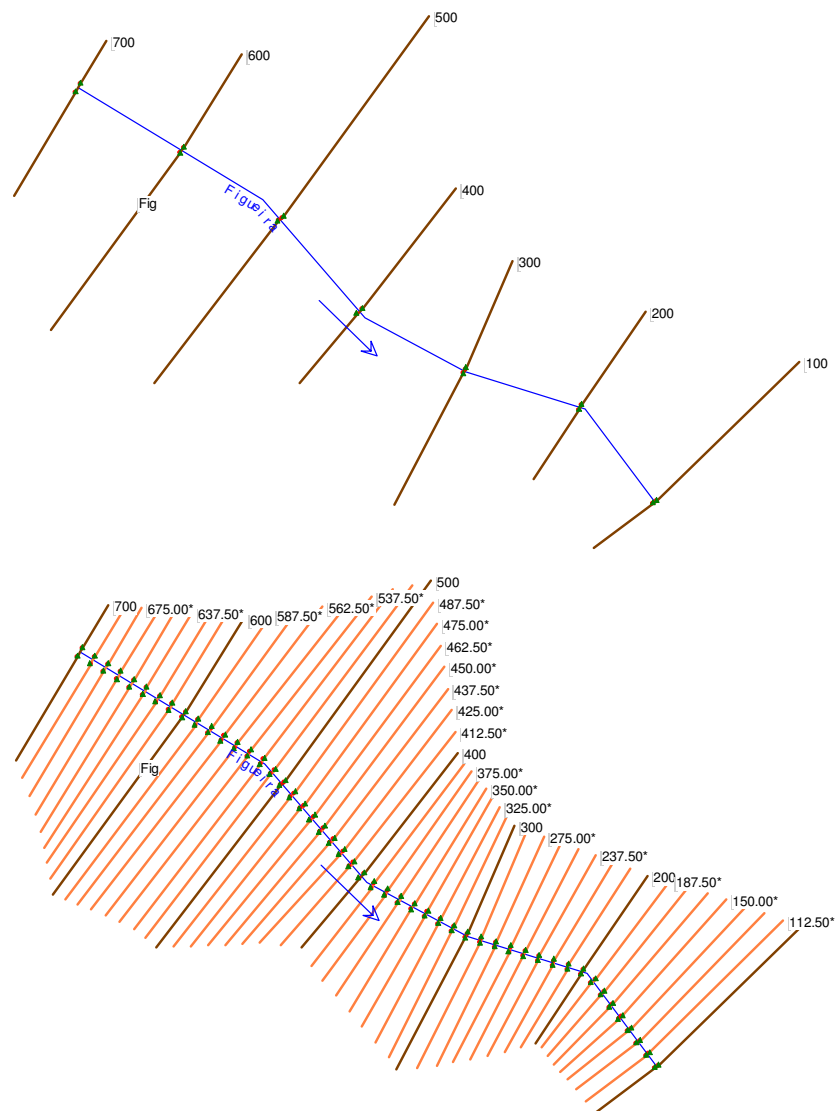


Figura 3.15 | Ribeira da Figueira e localização dos perfis transversais. Esq.: Perfis extraídos da carta topográfica. Dir.: Perfis interpolados.

Na Figura 3.16 apresentam-se os perfis utilizados, a localização do canal de escoamento e das margens laterais. O coeficiente de rugosidade de Manning utilizado no leito da ribeira foi de 0.02 e nas margens 0.03.

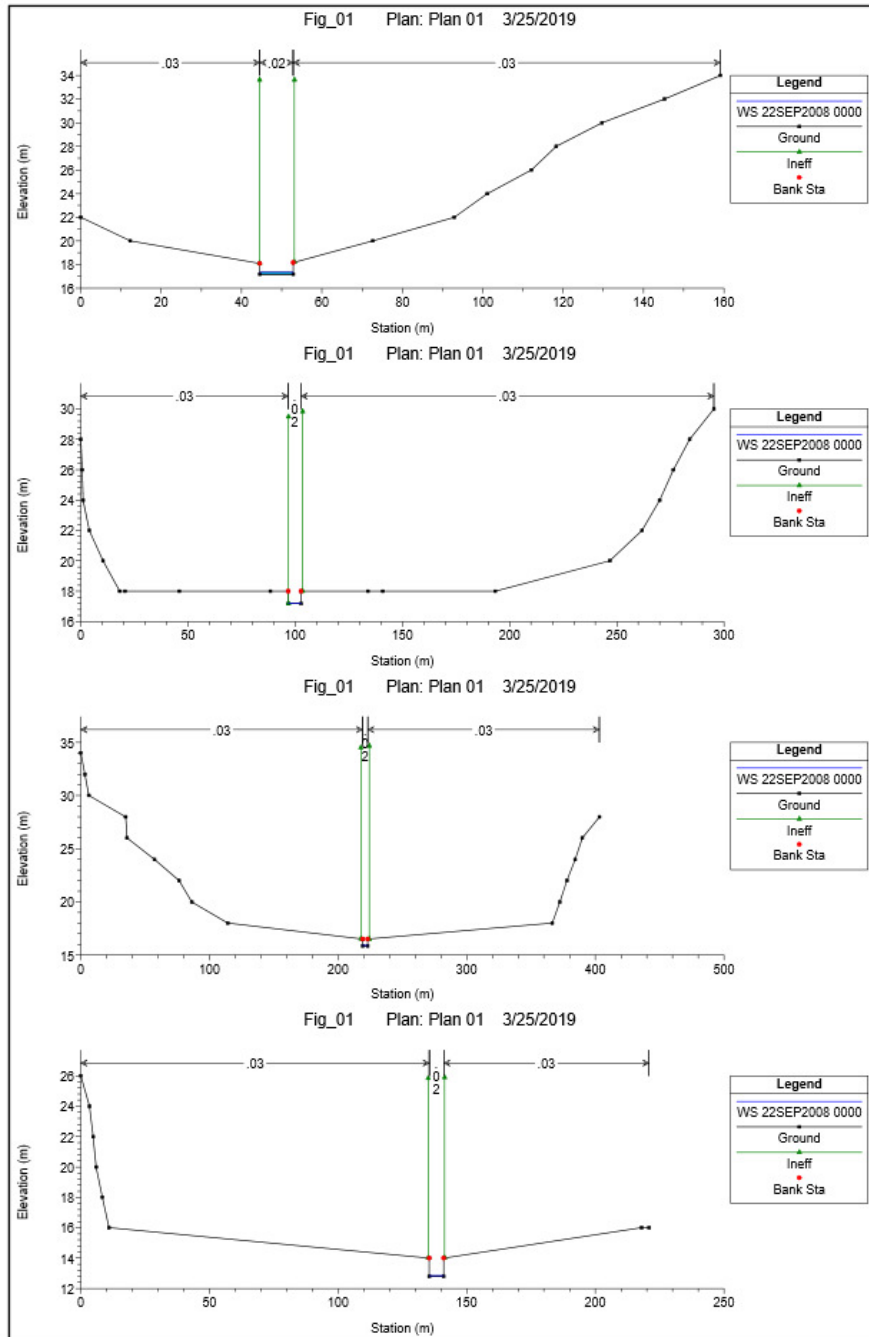


Figura 3.16 | Perfis P7 a P4.

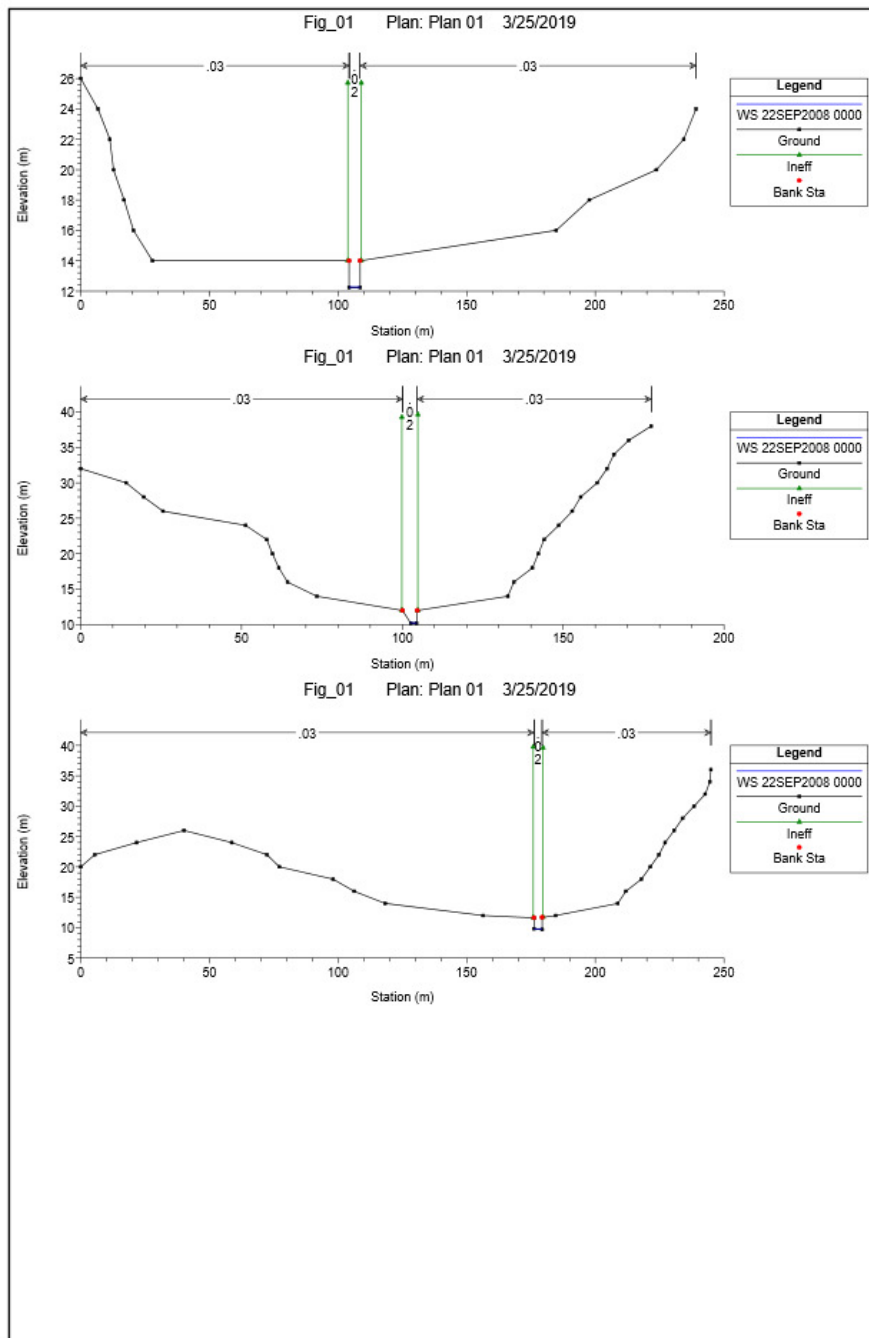


Figura 3.17 | Perfis P3 a P1.

3.2.2 Resultados

Nas Figura 3.18 a Figura 3.19 apresentam-se alguns instantes representativos do desenvolvimento da inundação.

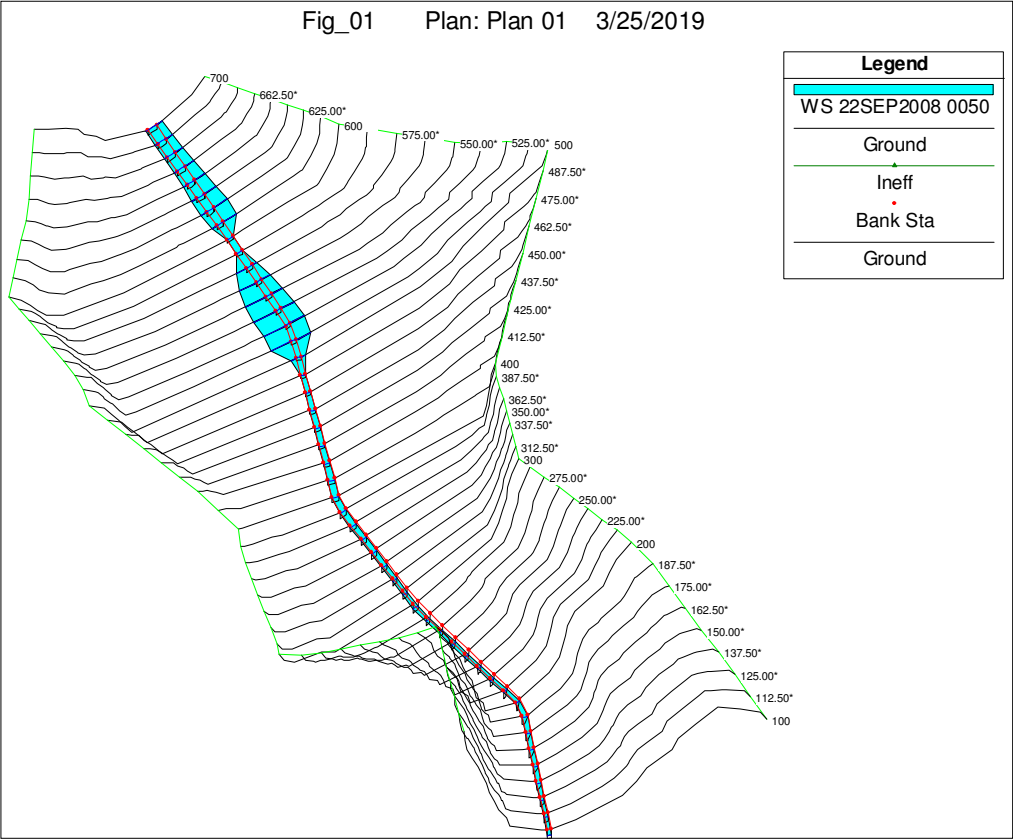


Figura 3.18 | Espreadimento da inundação na ribeira da Figueira. Resultado da simulação ao fim de 00h50min.

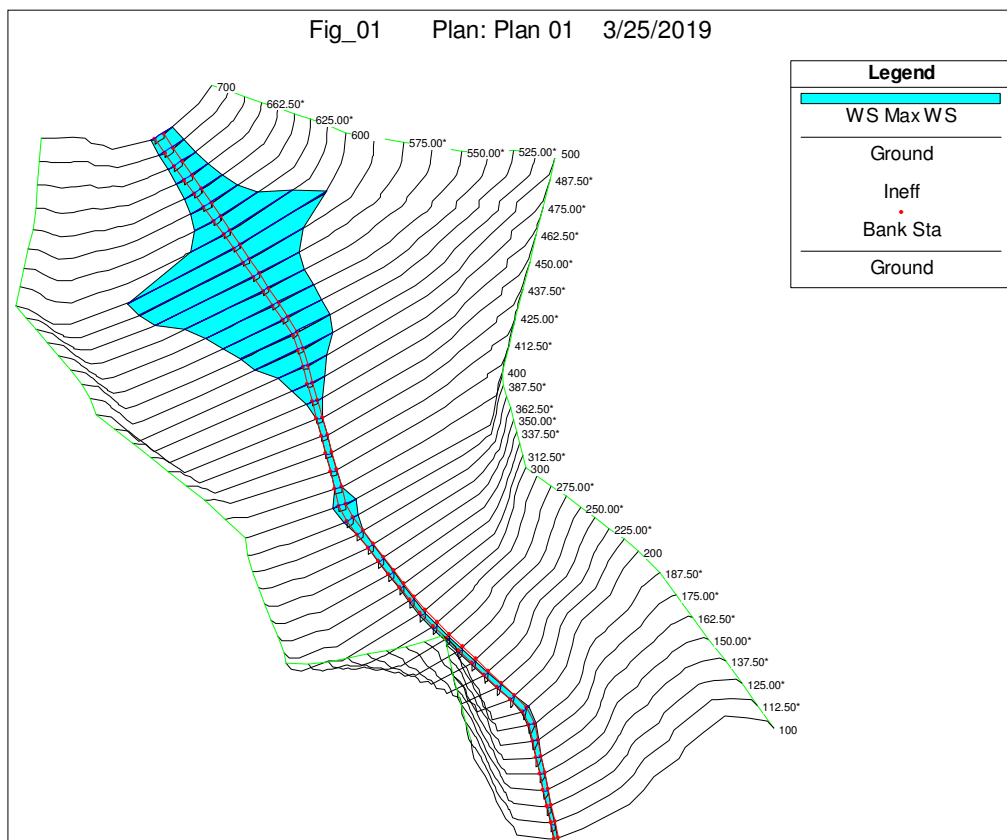


Figura 3.19 | Espreadimento da inundação na ribeira da Figueira. Resultado da simulação ao fim de 01h10min. (inundação máxima)

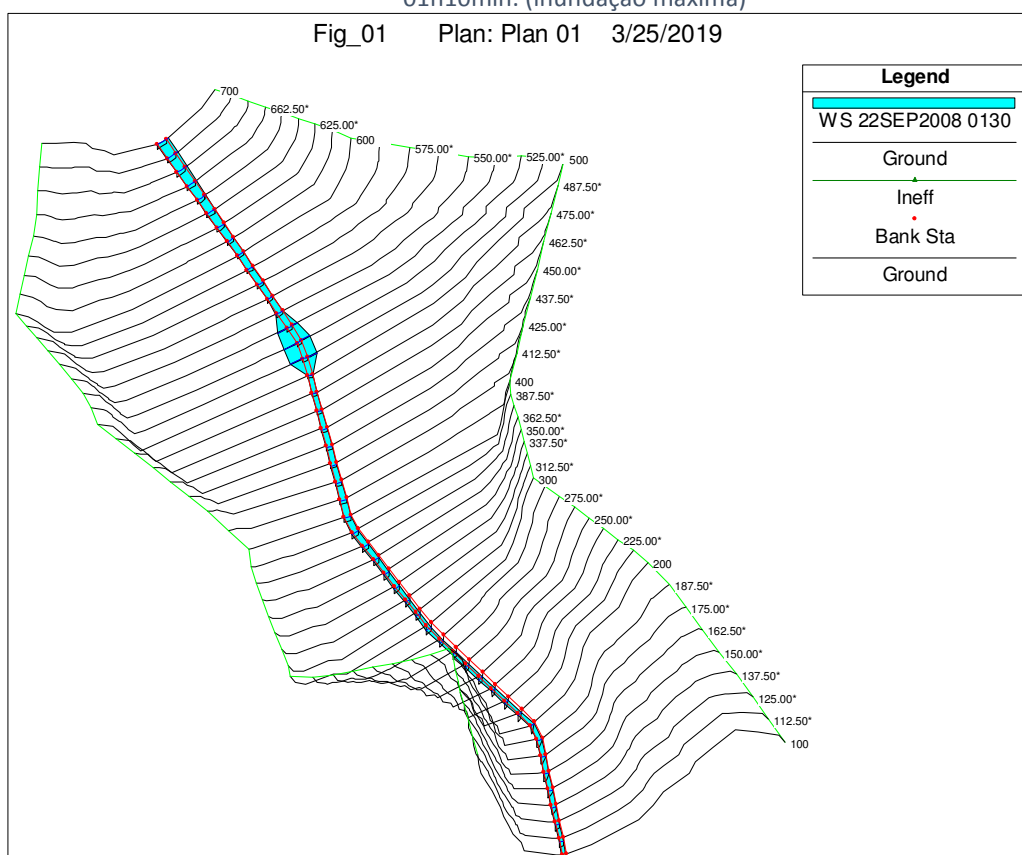


Figura 3.20 | Espreadimento da inundação na ribeira da Figueira. Resultado da simulação ao fim de 01h30min.

Na Figura 3.21 apresenta-se uma vista de topo da mancha de inundação máxima. A área total inundada é de 18 847.8 m². A inundação ocorre na zona mais alta, entre os perfis P6 e P5, para ambas as margens. A inundação tem uma duração de 00h40min, após os quais todo o caudal é escoado para jusante.

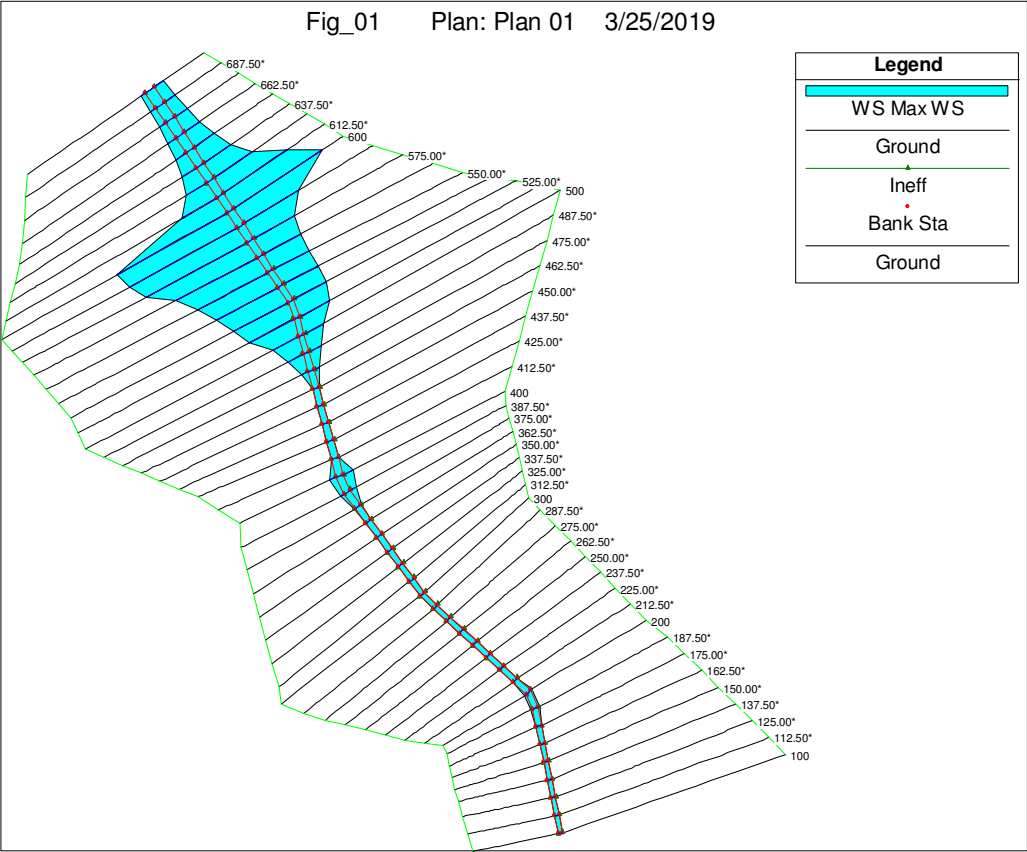


Figura 3.21 | Vista de topo do espraio máximo da inundação na ribeira da Figueira.

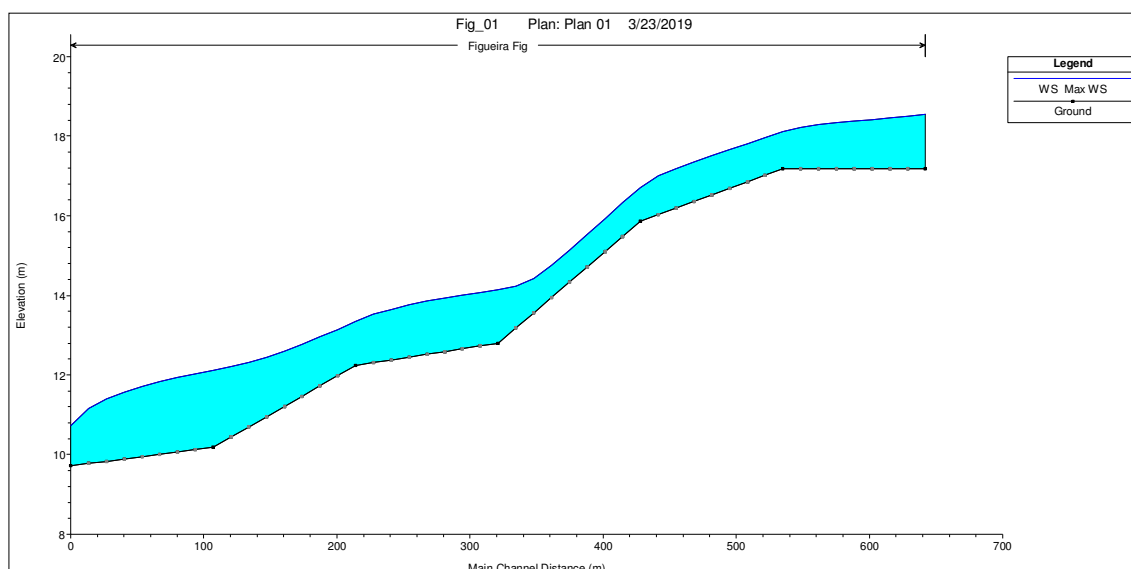


Figura 3.22 | Perfil longitudinal do leito da ribeira da Figueira e altura máxima do escoamento.

As velocidades máximas do escoamento situam-se entre os 2,1m/s e 7,67m/s, Figura 3.23, no canal e são geralmente inferiores a 2m/s nas margens.

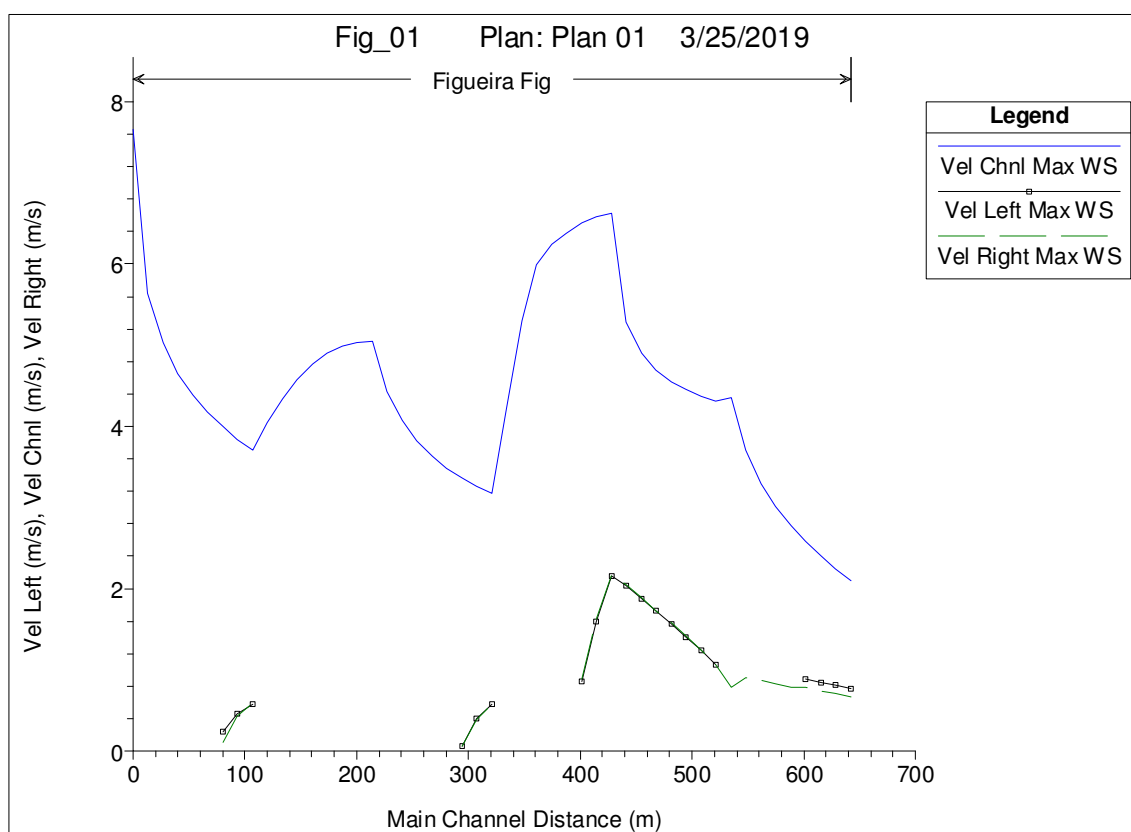


Figura 3.23 | Velocidades máximas do escoamento no leito da ribeira (azul) e nas margens esquerda (preto) e direita (verde), respetivamente.

No quadro 3.2 apresentam-se as cotas, as velocidades e as larguras máximas atingidas pelo escoamento em cada perfil de cálculo. A partir desta informação foram traçadas as manchas de inundação constantes do desenho nº4.

Quadro 3.2 | Resultados da simulação da cheia com Tr=100 anos. Cotas, velocidades e largura máximas atingidas pelo escoamento.

Perfil	distancia ao perfil P7	Cota de inundação	Velocidade de escoamento na ribeira	Largura da inundação
	(m)	(m)	(m/s)	(m)
P7	0.0	18.54	2.1	19.97
	13.4	18.5	2.25	22.53
	26.8	18.46	2.41	25.59
	40.1	18.42	2.59	29.92
	53.5	18.38	2.78	36.59
	66.9	18.34	3.02	46.4
	80.3	18.29	3.32	63.03
	93.6	18.22	3.74	101.32
P6	107.0	18.11	4.42	178.43
	120.4	17.97	4.36	146.99
	133.8	17.82	4.43	118.07
	147.1	17.67	4.5	97.02
	160.5	17.51	4.58	85.6
	173.9	17.36	4.68	77.57
	187.3	17.19	4.83	70.46
	200.6	17	5.12	61.97
P5	214.0	16.71	6.5	38.69
	227.4	16.33	6.56	25.8
	240.8	15.93	6.56	12.85
	254.1	15.53	6.41	4.5
	267.5	15.13	6.25	4.71
	280.9	14.75	6	4.92
	294.3	14.43	5.3	5.13
	307.6	14.23	4.21	5.35
P4	321.0	14.14	3.17	19.26
	334.4	14.07	3.26	13.42
	347.8	14.01	3.36	6.12
	361.1	13.93	3.48	5.06
	374.5	13.85	3.63	4.89
	387.9	13.76	3.82	4.73
	401.3	13.65	4.07	4.56
	414.6	13.52	4.43	4.4
P3	428.0	13.35	5.05	4.23
	441.4	13.14	5.04	4.16
	454.8	12.95	4.99	4.11
	468.1	12.77	4.9	4.09
	481.5	12.6	4.77	4.11
	494.9	12.45	4.58	4.17
	508.3	12.32	4.34	4.3
	521.6	12.21	4.05	4.5
P2	535.0	12.12	3.71	7.79
	548.4	12.03	3.85	6.65

Perfil	distancia ao perfil P7	Cota de inundação	Velocidade de escoamento na ribeira	Largura da inundação
	(m)	(m)	(m/s)	(m)
	561.8	11.94	4	4.99
	575.1	11.83	4.17	4.07
	588.5	11.71	4.39	3.9
	601.9	11.57	4.66	3.72
	615.3	11.4	5.04	3.55
	628.6	11.17	5.64	3.37
P1	642.0	10.73	7.67	3.21

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo definiu a área inundável das bacias drenantes do Livramento e da Figueira, a primeira referenciada ao limite do Concelho de Setúbal, permitindo delimitar a área contígua às margens das ribeiras que se estende até à linha alcançada pela cheia centenária. Este estudo veio, portanto, complementar a **definição da ZAC em zona urbana** definida no estudo *Delimitação das Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) na zona urbana da Baixa de Setúbal após implementação de obras de controlo de cheias, ADUSADO engenharia, Lda., março de 2019*, para posterior delimitação da REN.

As principais conclusões das simulações são:

A área total inundada na ribeira do Livramento é de 279 905,11 m². A inundação ocorre ao longo de todo o troço da ribeira simulada, com maior extensão entre os perfis P3 e P2, para ambas as margens. A inundação tem uma duração de 04h25min, após os quais todo o caudal é escoado para jusante.

A área total inundada na ribeira da Figueira é de 18 847.8 m². A inundação ocorre na zona mais alta, entre os perfis P6 e P5, para ambas as margens. A inundação tem uma duração de 00h40min, após os quais todo o caudal é escoado para jusante.

Para que a área inundada ao redor das linhas de água não tenha uma dimensão tão elevada, recomenda-se que se proceda à regularização de ambos os troços das ribeiras do Livramento e Figueira em estudo, por recurso à adequação dos caudais de cheia a escoar, em particular garantindo capacidade de transporte para os caudais com menores períodos de retorno (por exemplo até 20 anos). Assim conseguir-se-á promover a redução da magnitude dos potenciais impactes das cheias nas respetivas ZAC não urbanas, nomeadamente através da redução destes impactes

Recomendam-se operações de limpeza periódicas às linhas de água e respetivas passagens hidráulicas existentes nos mesmos, por forma a garantir a manutenção das capacidades de transporte das mesmas.

Ressalva-se que as zonas que foram objeto deste estudo são zonas semi-rurais, portanto espaços fundamentalmente naturais constituídos por áreas florestais e agrícolas. Assim, considera-se importante a implementação de medidas de controle efetivo das ações e intervenções, que garantam a manutenção da cobertura vegetal (vegetação existente quer nos vales quer nas zonas de encosta), em particular, sempre que estas possam romper o equilíbrio destas áreas. Note-se que a não preservação da cobertura vegetal, poderá induzir a uma maior produção de sedimentos nas áreas de maior declive e de cabeceira das bacias hidrográficas em análise, podendo vir a contribuir para a colmatção prematura dos sumidouros, dos coletores e das caixas de visita dos sistemas de drenagem pluvial da zona urbana de Setúbal.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] SOIL CONSERVATION SERVICE (1973) – “A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds”. U.S. Department of Agriculture, Washington DC
- [2] TEMEZ, J.R. (1978) – “Calculo hidrometeorologico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales.” Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, n. 12
- [3] CHOW, V.T. (1981) – “Open-channel hydraulics”. International student edition, McGraw-Hill International Book Company, pp. 120-123
- [4] “Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água de Portugal (1981)” DGRAH. Ministério da Habitação e Obras Públicas, Lisboa
- [5] CORREIA, F.N. (1984a) – “Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas”. ITH6, LNEC, Lisboa, Portugal
- [6] LNEC (1986) Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias na Cidade de Setúbal; 2ºRelatório- “Estudo Hidráulico e Conclusões”, de novembro de 1986 (Relatório 246/86 - NHHF)
- [7] LNEC (1986) Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias na Cidade de Setúbal; 1ºRelatório - “Caracterização das Bacias Hidrográficas e Estudo Hidrológico”, outubro de 1986 (Relatório 245/86- NHHF)
- [8] DECRETO REGULAMENTAR Nº 23/95 DE 23 DE AGOSTO. Ministério das Obras Públicas
- [9] LENCASTRE, A. (1991) – “Hidráulica geral”. Edição do Autor, 2ª edição, Luso-Brasileira, Lisboa. Portugal
- [10] HIDROQUATRO (1992) - MARN (Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais) (1992) – Bacia de Retenção de Cheias da Ribeira do Livramento. Projeto de Execução. Vol.1 – Memória Descritiva e Justificativa. Lisboa
- [11] LNEC (1995) – “Curso sobre drenagem de águas superficiais em vias de comunicação.” Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 16 e 17 de fevereiro, 1995
- [12] ANTÃO DA SILVA, P., BANA E COSTA, C., NUNES CORREIA, F. (1998) – “Avaliação multicritério das incidências ambientais de medidas de controlo de cheias: o caso da Ribeira do Livramento”. 4º Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. – Lisboa (APRH)
- [13] BRANDÃO, C., RODRIGUES, R. e PINTO DA COSTA, J. (2001) – “Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental”. Direção dos Serviços de Recursos Hídricos, Instituto da Água, dezembro

- [14] PROCESL (2001) – “Regularização da ribeira do Livramento. Proteção contra Cheias na Cidade de Setúbal. Projeto de Execução” CMS – Câmara Municipal de Setúbal
- [15] USACE (2002) – “HEC-RAS River Analysis System – User’s manual”. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (HEC)
- [16] ATKINS (2009) “Defesa contra cheias na cidade de Setúbal. Estudo Prévio”. INAG
- [17] APONTAMENTOS DE HIDRAULICA APLICADA (2010) – Instituto superior de Engenharia de Lisboa
- [18] PROCESL (2011) Rede hidrográfica delimitada no âmbito do Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal à escala 1:10 000; (“Relatório Final”), PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda
- [19] PROCESL (2011) Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de retorno de 100 anos, Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal (“Relatório Final”), PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda. (2011) à escala 1:10 000
- [20] ADUSADO (2016) – “Defesa contra cheias na cidade de Setúbal. Ribeira do Livramento – Regularização do troço final da ribeira do Livramento, bacia de amortecimento e compatibilização com as infraestruturas existentes”, ADUSADO Engenharia, Lda., abril de 2016
- [21] ADUSADO (2016) – “Defesa contra cheias na cidade de Setúbal. Ribeira da Figueira – Regularização do troço final da ribeira da Figueira, passagem hidráulica do arco e bacia de retenção, ADUSADO Engenharia, Lda., dezembro de 2016
- [22] GAPRES (2017) Reabilitação do troço canalizado da Ribeira do Livramento. Setúbal. Relatório Técnico – Avaliação estrutural. GAPRES, Gabinete de Projetos, Engenharia e Serviços, S.A. setembro de 2017
- [23] ADUSADO (2019) Delimitação das Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) na zona urbana da Baixa de Setúbal após implementação de obras de controlo de cheias. ADUSADO Engenharia, Lda., março de 2019