

Bruno Miguel Rodrigues Pires

CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO NO ALGARVE



junho de 2017

Bruno Miguel Rodrigues Pires

CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO NO ALGARVE

Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Construção
Dissertação

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Prof. Doutor Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro
e co-orientação de:
Eng.º Pedro Ricardo Pires Coelho



junho de 2017

CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO NO ALGARVE

Mestrado em Engenharia Civil

Declaração de Autoria do Trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluídas.

(Bruno Miguel Rodrigues Pires)

Direito de Cópia ou Copyright

© **Copyright:** Bruno Miguel Rodrigues Pires

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À Mariana e à Sofia, não por obrigação, mas sim por absoluta afeição.

Nada é mais suave ou flexível que a água, contudo, nada lhe consegue resistir.

Lao Tzu, Filósofo

Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco.

À medida que vamos adquirindo conhecimentos, instala-se a dúvida...”

Johann Wolfgang von Goethe [1749-1832]

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças ao contributo dos colegas da Divisão de Recursos Hídricos Interiores da Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Destaco a colaboração do Eng.º Pedro Coelho e do Eng.º Paulo Cruz, desde logo pelo desafio lançado quanto ao tema da dissertação, mas também pela disponibilidade sempre demonstrada nos esclarecimentos necessários. Muito embora a constante pressão das urgências que praticamente todos os dias tomam de assalto a Divisão de Recursos Hídricos Interiores dificultem a reflexão sobre temas como aquele que é aqui tratado, houve sempre um esforço para que o trabalho chegasse ao fim com sucesso. Realço também a colaboração de todo o pessoal do secretariado, sem o qual não seria possível navegar com acerto no imenso mar de processos. Por último, não posso deixar de agradecer ao Eng.º Marques Afonso, pela orientação e ensinamentos prestados, permitindo-me tirar proveito do seu vasto conhecimento técnico.

RESUMO

A presente dissertação teve como âmbito de trabalho as bacias de retenção existentes na região do Algarve. Estas bacias são importantes estruturas para a mitigação dos efeitos das cheias, tendo como propósito a gestão do escoamento de origem pluvial, reduzindo os valores de ponta causados nomeadamente pelas alterações nas condições de ocupação das bacias de drenagem, e evitando assim a degradação do meio receptor a jusante. As cheias são um fenómeno natural que não pode ser evitado, e que pode pôr em causa a segurança de pessoas e bens. Porém, é possível e desejável reduzir a sua perigosidade e consequências que lhes estão associadas.

A existência de cadastro contendo as características das bacias de retenção em operação possibilita, através da posterior monitorização do funcionamento das mesmas, aferir do seu real desempenho hidrológico e hidráulico, permitindo estabelecer ou definir critérios de dimensionamento, construção e manutenção mais adequados no futuro. Os dados recolhidos possibilitam também desenvolver análises custo-benefício mais rigorosas para que se considerem, ou não, as bacias de retenção como medida de remediação válida em cenários de alteração do tecido urbano.

Na realização deste trabalho analisaram-se todos os processos de autorização e licenciamento entre 2005 e 2015 que potencialmente pudessem exigir a construção de bacias de retenção no Algarve. A não existência de uma figura de licenciamento específica para as bacias de retenção implicou a análise sumária de um vasto número de casos, concretamente, 403. No final desse trabalho, triaram-se 28 situações que contemplavam efetivamente bacias de retenção. A recolha de informação sobre estas bacias fez-se segundo os moldes de uma matriz multicritério elaborada para o efeito, que procurou caracterizar o essencial da informação de projeto e obra destas estruturas.

A dissertação teve assim por objetivo o estudo e caracterização das bacias de retenção existentes na região do Algarve. Quantas são, de que tipo, qual o rigor no seu dimensionamento e execução, quais as suas funcionalidades, o porquê de apesar de previstas em projeto ou em sede de licenciamento não terem sido executadas, quais os materiais e processos construtivos utilizados, entre outras, são questões para as quais se procurou dar resposta.

Da recolha de informação é claro um predomínio das bacias secas a céu aberto em termos de tipologia, sendo que na maioria dos casos os processos construtivos são relativamente simples, onde a mobilização de terras para modelação do terreno representa a maior parte dos trabalhos. O método mais comum em projeto para determinar o caudal de ponta é a Fórmula Racional. Em 35% dos casos o dimensionamento do volume das bacias de retenção não é descrito. Quando a informação existe, nota-se um peso significativo da utilização da fórmula que consta no Decreto Regulamentar n.º 23/95 para determinação do volume (29%). Somente em situações pontuais foram utilizados modelos de simulação hidrológica. A opção sobre o tipo de descarga recaiu quase sempre em descarregadores de soleira espessa (43%) ou orifícios (36%). Como a maioria das bacias sujeitas a licenciamento não foi construída, as conclusões que se poderiam retirar em relação à adequação do tipo de bacia ou forma de cálculo da mesma ficaram limitadas.

PALAVRAS-CHAVE: Bacias de retenção, cheias, cadastro de infraestruturas, Algarve.

ABSTRACT

Retention basins are important structures to mitigate flood effects, having as main goal the management of stormwater by reducing its peak values, namely caused by changes in the basin's land use and, therefore, avoiding the degradation of the downstream environment. Floods are a natural disaster which cannot be avoided, having the potential for menacing the safety and wellbeing of people and their belongings. Nevertheless, it's possible and desirable to reduce its dangerousness and related consequences.

The existence of records characterizing the specifications of retention basins allows to assess their hydraulic and hydrologic performance (after monitoring), hence leading to a better definition of maintenance procedures, construction solutions and design criteria. These records also allow for the development of more rigorous benefit-cost analysis helping to decide if the use of retention basins is an effective mitigation tool in future urbanization scenarios.

Since there is not a specific permit procedure for retention basins, in order to analyse the permit requests which could potentially imply the construction of retention basins in the Algarve, in the period between 2005 and 2015, a vast number of files had to be reviewed (403). From these, the 28 cases with retention basins were selected. Data was then collected by using a multi-criteria matrix specifically created for this purpose, and the most important features regarding design and construction of these structures were summarized.

This thesis aimed to study and characterize the retention basins in the Algarve region. How many, of what kind, how rigorous was its design and construction procedure, what's their purpose, what's the reason for not being constructed despite of having being licensed, which were the construction techniques and materials used were the questions, among others, for which an answer was looked for.

The information gathered showed a predominance of dried retention basins typology. In most cases, the building techniques were quite simple, as the biggest part of the work done was digging and landfill. The rational formula was the most common methodology to estimate the peak flow. In 35% of the cases, there was no description of how the retention basin volume was found. However, when this information was provided, the volume calculation formula presented in the DR n.º 23/95 (Portuguese Legislation) was the most widely used (29%). Only a few retention basins were designed from peak flows obtained by hydrologic simulation models. In the majority of cases broad-crested weirs (43%) and holes (36%) were the design solution for the spillway. Considering that many of the permitted retention basins weren't built, it's difficult to evaluate if the design methodology selected was adequate for each situation or type of retention basin.

KEYWORDS: Retention basins, floods, infrastructure records, Algarve.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 <i>Enquadramento</i>	1
1.2 <i>Objetivos e Metodologia</i>	2
1.3 <i>Estrutura da Dissertação</i>	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 <i>Gestão Sustentável de Águas Pluviais Urbanas</i>	5
2.1.1 Controlo na Origem de Águas Pluviais.....	6
2.1.2 Estratégias de Gestão de Drenagem de Águas Pluviais. Alguns exemplos europeus.	9
3 OCORRÊNCIA DE CHEIAS	13
3.1 <i>Fatores Condicionantes das Cheias</i>	13
3.2 <i>Controlo de Cheias</i>	13
3.2.1 Cheias urbanas	14
3.3 <i>As Cheias como Catástrofe Natural</i>	15
3.4 <i>As Cheias e as Alterações Climáticas</i>	15
3.4.1 Alterações Climáticas e Impactes no Sistema de Drenagem	16
3.5 <i>Cheias em Portugal</i>	16
3.5.1 Registos Históricos no Algarve.....	20
3.6 <i>Risco de Cheia</i>	27
3.6.1 Medidas de Controlo	28
3.7 <i>Instrumentos de Planeamento, Gestão e Regulação</i>	29
3.7.1 Legislação Nacional.....	32
4 METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO.....	35
5 CLASSIFICAÇÃO, ENQUADRAMENTO LEGAL E CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO	37
5.1 <i>Bacias de Retenção</i>	37
5.1.1 Classificação das Soluções	38
5.1.1.1 Bacias a Céu Aberto	41
5.1.1.2 Bacias Enterradas.....	42
5.1.1.3 Bacias com Volume de Água Permanente	43
5.1.1.4 Bacias Secas	44
5.1.1.5 Bacias com Plantas Aquáticas (Macrófitas).....	45
5.1.1.6 Bacias em Série e em Paralelo	46
5.1.1.7 Bacias com Controlo Dinâmico	47
5.1.2 Disposições Construtivas das Bacias de Retenção.....	47
5.1.2.1 Disposições Gerais	47
5.1.2.2 Implantação	47
5.1.3 Projeto de Bacias de Retenção	49

5.1.3.1	Fases de Projeto de uma Bacia de Retenção	49
5.1.3.2	Cálculo dos Caudais de Projeto	50
5.1.3.3	Período de Retorno	50
5.1.4	Metodologias para Dimensionamento.....	51
5.1.4.1	Pré-dimensionamento.....	51
5.1.4.2	Dimensionamento – Método de Puls (<i>Level Pool Routing</i>)	52
5.1.4.3	Métodos Expeditos.....	53
5.1.4.4	Dimensionamento em Portugal, o exemplo da empresa Águas de Coimbra	54
5.1.5	Soluções Técnicas Construtivas.....	55
5.1.6	Manutenção	56
5.2	<i>Análise de Processos de Licenciamento de Recursos Hídricos</i>	58
5.2.1	Atribuição dos Títulos de Utilização	58
5.2.2	Emissão da Licença.....	60
5.2.3	Caducidade.....	60
5.2.4	Situações Existentes Não Tituladas	60
5.3	<i>TURH a Aplicar às Bacias de Retenção</i>	60
5.4	<i>Análise dos Casos de Estudo</i>	63
5.4.1	Resultados da Análise aos Casos de Estudo	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
6.1	<i>Conclusões</i>	67
6.2	<i>Desenvolvimentos Futuros</i>	69
7	BIBLIOGRAFIA	71
	ANEXOS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aspeto interior de uma das bacias de retenção subterrâneas existentes em Barcelona.	9
Figura 2: Diminuição da secção de vazão por construção de um passeio ou cais com reflexos na subida do nível de cheia para um mesmo período de retorno.	15
Figura 3: Efeitos da urbanização na diminuição da infiltração de água no solo e consequente aumento do escoamento superficial.	17
Figura 4: Distribuição espacial das principais cheias em Portugal no período 1865 – 2010 de acordo com a região hidrográfica (a) e a precipitação média anual (b) (series de dados de 1931 a 1960).	18
Figura 5: Distribuição temporal de eventos de cheia e deslizamento de terras, ocorridos em Portugal no período 1865-2010.	18
Figura 6: Imagens das cheias de 26/10/1997 em Monchique.	22
Figura 7: Inundação da Praça dos Pescadores a 01/11/2015, Albufeira.	24
Figura 8: Cheia de 01/11/2015 na Avenida 25 de Abril, Albufeira.	24
Figura 9: Troço de estrada da Avenida da Liberdade destruído pela enxurrada de 01/11/2015, Albufeira.	25
Figura 10: Baixa de Albufeira inundada a 01/11/2015.	25
Figura 11: Zonas identificadas na região hidrográfica 8 com riscos potenciais significativos de cheia.	31
Figura 12: Fluxograma de caracterização de bacias de retenção.	35
Figura 13: Hidrogramas: Natural; Após construção da urbanização; Após medidas corretivas.	38
Figura 14: Diferentes leitos de um curso de água.	39
Figura 15: Classificação das bacias de retenção quanto à sua implantação em relação à superfície do solo, comportamento hidráulico e posicionamento em relação à drenagem principal.	40
Figura 16: Bacia de retenção enterrada construída com blocos de polímero sintético.	42
Figura 17: Campo desportivo sobrejacente a uma bacia de retenção enterrada – Almancil, Faro.	42
Figura 18: Caminho de circulação pedonal e automóvel e respetiva margem ajardinada, sobrejacentes a uma bacia de retenção enterrada – Almancil, Faro.	43
Figura 19: Perfil tipo de uma bacia com volume de água permanente.	44
Figura 20: Bacia de retenção com canal revestido para escoamento de pequenos caudais (Faro).	44
Figura 21: Perfil tipo de uma bacia seca.	45
Figura 22: Hidrograma do escoamento afluente e efluente de uma bacia em série.	46
Figura 23: Hidrograma do escoamento afluente e efluente de uma bacia em paralelo.	46
Figura 24: Planta tipo de uma bacia de retenção.	48
Figura 25: Corte tipo de uma bacia de retenção.	48
Figura 26: Fases de projeto de uma bacia de retenção.	49
Figura 27: Período de retorno ótimo em função do custo de investimento e dos prejuízos.	51

Figura 28: Evolução do volume armazenado na bacia de retenção em função da duração da precipitação de acordo como o método holandês.	52
Figura 29: Exemplo ilustrativo da lógica de aplicação do Método de Puls (<i>Level Pool Routing</i>).	53
Figura 30: Mapa com a localização das bacias de retenção descritas.	64

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Usos múltiplos oferecidos pelas soluções de controlo na origem.....	7
Quadro 2: Número de habitantes afetados por zona crítica e período de retorno estudado.	19
Quadro 3: Regime dos rios portugueses.....	20
Quadro 4: Máximos históricos de precipitação (mm) registados nos períodos de 1, 6 e 24 horas em estações meteorológicas do Algarve.	23
Quadro 5: Dados de Precipitação da estação meteorológica de Faro (Aeroporto) do IPMA.	23
Quadro 6: Alguns registos históricos de cheias no Algarve.	26
Quadro 7: Alguns registos históricos de cheias no Algarve (continuação).	27
Quadro 8: Perigosidade em função de características hidrodinâmicas.	28
Quadro 9: Esquema de manutenção tipo.....	57
Quadro 10: Síntese das principais características das bacias de retenção descritas.	66

1 INTRODUÇÃO

A distribuição da população mundial segue uma tendência de cada vez maior aglomeração e concentração no meio urbano, ou seja, em termos absolutos e relativos há cada vez mais gente nas cidades e menos no espaço rural. As cidades, por sua vez, ocupam preferencialmente as zonas litorais, áreas em que, por via das alterações climáticas (IPCC, 2014) estarão sujeitas a maior frequência de fenómenos meteorológicos extremos, nomeadamente cheias. Face a esta conjuntura, necessitamos de mecanismos que confirmem maior resiliência perante a ocorrência deste tipo de fenómeno, sendo esse um dos papéis a desempenhar por estruturas do tipo bacia de retenção.

Este trabalho recolhe informação sobre as bacias de retenção no Algarve à data de dezembro de 2014, descontado apenas dessa situação o caso das bacias de retenção do empreendimento comercial da cadeia IKEA cujo acompanhamento se fez até novembro de 2016. Somente estruturas projetadas com o propósito principal de regularização dos caudais pluviais foram consideradas, ou seja, aquelas que tem como intenção primordial, por exemplo, a despoluição de águas pluviais não foram assim apreciadas.

1.1 ENQUADRAMENTO

As cheias, pela sua natureza, devem-se à ocorrência de vários fatores, nomeadamente meteorológicos. No entanto, o uso e ocupação pelo Homem das bacias hidrográficas, também tem forte impacto na severidade e consequências desses acontecimentos.

Para permitir a regulação dos escoamentos e/ou o controlo de cheias, é necessária uma adequada gestão dos recursos hídricos, desenvolvida de forma integrada a nível local, regional e nacional. Por outro lado, as regras e procedimentos de defesa de cheias devem ser harmonizados dentro de cada bacia hidrográfica.

O sucesso da gestão de zonas de cheia depende da seleção de medidas adequadas, baseadas na consideração das características da cheia, nas características físicas e morfológicas das zonas de risco, nas condições económicas e sociais da região, nas preocupações e condicionamentos políticos e ambientais da comunidade e, finalmente, na existência ou planeamento das obras de controlo de cheia.

A urbanização do território leva à impermeabilização dos solos por via da construção de edificações, estradas e outros equipamentos. Esta transformação do terreno implica o aumento do escoamento superficial, provocando, muitas vezes, o aparecimento das designadas cheias urbanas.

Nas últimas décadas, o crescimento e a expansão das zonas urbanas caracterizou-se pela ocupação e densificação dos centros das cidades e periferias, originando significativas alterações no ciclo hidrológico natural, que acarretam riscos elevados e desequilíbrios para a vida do Homem.

A região do Algarve apresenta uma elevada vulnerabilidade a cheias, devido às características pluviométricas onde imperam as chuvadas intensas de curta duração e às

características geomorfológicas do território, como a morfologia dos principais cursos de água e a natureza litológica do substrato rochoso. Estes fatores condicionam o escoamento das águas da chuva, determinando o regime torrencial e intermitente da maior parte dos cursos de água, cuja capacidade de vazão se revela insuficiente, por ocasião de precipitação intensa.

Quando se torna impossível intervir no leito e margens do curso de água principal, torna-se necessária a implementação de outro tipo de medidas, que diminuam os riscos de cheia, protegendo assim as populações. A tendência de controlo da drenagem urbana, durante muito tempo, era de que esta se fizesse de forma cada vez mais artificializada. Este tipo de solução, adota a visão particular de uma secção da bacia, sem se ter em conta as consequências para a área restante. Acabando-se assim, apenas por transferir a cheia de um lugar para outro (de montante para jusante). Contudo, esta filosofia, tem vindo a ser alterada por uma outra que cujas soluções se aproximam mais dos sistemas naturais, com abordagens do tipo “controlo na origem”.

Tendo em atenção que a generalidade das cidades têm a sua origem nos pontos baixos das bacias hidrográficas, e frequentemente junto a uma linha de água ou em área costeira, a impermeabilização do solo nas zonas periféricas, tende a aumentar os caudais das águas pluviais. Consequentemente, as redes de saneamento das águas pluviais, localizadas nas zonas antigas e centrais das cidades, passam a ficar subdimensionadas. Uma das alternativas à substituição de malhas inteiras de tubagens nesses locais pode ser a previsão de bacias de retenção, estruturas que têm por objetivo a regularização dos caudais pluviais afluentes, na interface das áreas urbanas recentes e antigas. Este armazenamento, com posterior restituição a jusante de caudais compatíveis com a capacidade das redes instaladas, pode constituir, em determinadas situações, uma hipótese válida para lidar com este problema. Estas estruturas permitem evitar obras de remodelação, ou de reforço da rede de drenagem de águas pluviais, com custos económicos e sociais demasiado elevados, em zonas onde esta se encontre subdimensionada.

1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

A presente dissertação teve como objetivo estruturar a metodologia para estudar e caracterizar bacias de retenção, aplicando depois essa metodologia à região do Algarve. Quantas são, de que tipo, qual o rigor no seu dimensionamento e execução, quais as suas funcionalidades, o porquê de apesar de previstas em projeto ou em sede de licenciamento não terem sido executadas, quais os materiais e processos construtivos utilizados, entre outras, são questões para as quais se procurará dar resposta com este trabalho.

O ponto de partida para a elaboração desta metodologia, será a análise de processos de licenciamento existentes na Agência Portuguesa do Ambiente – Administração da Região Hidrográfica do Algarve (APA - ARH Algarve), e a descrição dos vários tipos de bacias de retenção existentes, as suas multifuncionalidades e aplicações. A caracterização dos processos construtivos e materiais envolvidos, assim como as metodologias de dimensionamento, serão também alvo de estudo.

A metodologia seguida neste estudo contribuirá para compreender os motivos para o sucesso ou insucesso dos casos existentes no Algarve, constituindo assim um instrumento de apoio à decisão no licenciamento e gestão deste tipo de estruturas.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Neste Capítulo 1 é feita uma introdução ao tema da dissertação fazendo o seu enquadramento, apontando os objetivos a atingir e descrevendo a metodologia para os alcançar.

A revisão bibliográfica de que consta o Capítulo 2 faz um enfoque na gestão sustentável de águas pluviais urbanas, sendo dado a conhecer alguns exemplos europeus nesta matéria, contextualizando assim dessa forma as bacias de retenção como solução de controlo na origem.

O Capítulo 3 é dedicado às cheias, são abordados os fatores que as condicionam, as estratégias para o seu controlo e o impacto das alterações climáticas nos sistemas de drenagem, sendo feita uma caracterização do problema que tem nas bacias de retenção uma possível medida de mitigação. É depois referido o caso das cheias em Portugal, e em particular no Algarve. O risco de cheia, os instrumentos de planeamento, gestão e regulação e a legislação nacional finalizam este capítulo.

O Capítulo 4 descreve a metodologia de análise estabelecida para estruturar o estudo e caracterização de bacias de retenção, aplicando para o caso essa metodologia ao Algarve. São identificadas as principais etapas dessa metodologia de caracterização e a sua sequência.

No Capítulo 5, juntamente com os anexos, é feita a aplicação da metodologia e a apresentação dos resultados, assim como a classificação, o enquadramento legal e caracterização de bacias de retenção. Neste capítulo são explicadas as diferentes tipologias de bacias que existem, as suas disposições construtivas, o projeto destas e metodologias de dimensionamento. Descreve-se de seguida a análise de processos de licenciamento de recursos hídricos; a figura do título de utilização de recursos hídricos (TURH) é explanada, sendo referidos aspetos que vão desde os requisitos e condições de utilização até à sua caducidade. O tipo de título a atribuir às bacias de retenção é alvo de reflexão e discussão. Por último, é feita a caracterização das bacias de retenção identificadas no Algarve, cuja descrição atendendo à sua extensão está remetida para anexo.

O Capítulo 6 é dedicado às considerações finais e conclusões, sendo também apontados possíveis desenvolvimentos deste trabalho para o futuro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Existe uma grande heterogeneidade quanto ao grau de desenvolvimento das infraestruturas de saneamento em áreas urbanizadas por todo o mundo. Isto torna-se evidente ao analisar a falta de estudos sobre águas pluviais urbanas, em alguns países asiáticos ou africanos, onde as preocupações nesta área se encontram ainda a um nível bastante básico (Chow *et al.*, 2011). Historicamente falando, muitas cidades mais antigas, são drenadas por sistemas de esgotos unitários, tanto na Europa como nos EUA. Nestes casos, a ocorrência de episódios de precipitação intensa, pode dar origem a sérios impactos sobre o meio recetor, quando a capacidade das instalações de tratamento é ultrapassada (Gasperi *et al.*, 2010). Por outro lado, sabe-se que no passado, a construção de sistemas de drenagem de águas residuais separativos, não era baseada nas diferenças de caudal e/ou de qualidade, mas principalmente em fatores económicos (German *et al.*, 2005).

As modificações de uso do solo associadas ao processo de urbanização, com a remoção de vegetação e substituição de áreas permeáveis por superfícies impermeáveis, resultam em alterações nas características do hidrograma de escoamento superficial, com o aumento dos volumes de escoamento e dos valores de caudal de ponta (Goonetilleke *et al.*, 2005). A velocidade de escoamento também aumenta, obrigando, por conseguinte, a que o curso de água se adapte geomorfologicamente a esta nova realidade (Tillinghast *et al.*, 2011). Uma forma de minimizar os efeitos da alteração da permeabilidade dos solos, será o de atuar ao nível do escoamento superficial, tentando diminuí-lo e/ou diferi-lo no tempo.

A impermeabilização decorrente da construção de edifícios, pavimentos, estradas e outras áreas pavimentadas reduz a quantidade de água infiltrada e aumenta o escoamento superficial. Numerosos fatores influenciam a dimensão do escoamento superficial, ainda assim, a bibliografia indica valores de caudal de ponta 30% a 100% superiores em bacias hidrográficas urbanizadas em comparação com as situações de pré-urbanização (Jacobson, 2011). Outra consequência da impermeabilização é o aumento da velocidade do escoamento que acarreta uma maior capacidade erosiva em virtude do incremento de energia cinética. A atividade humana nas áreas urbanas também gera acumulação de resíduos e poluentes na superfície dos pavimentos, podendo estes ser lavados durante eventos de forte precipitação, conduzindo-os por fim em direção às massas de água.

Existem diferentes abordagens que podem ser adotadas quanto às águas pluviais resultantes de eventos de precipitação intensa, podendo ser baseadas no controlo na origem ou em medidas de fim de linha. Nas últimas décadas, o controlo na origem tem sido privilegiado em relação à simples descarga em sistemas de drenagem convencionais, quer sejam unitários ou separativos (Martin *et al.*, 2007). As cidades contemporâneas baseiam-se em princípios que potenciam a gestão avançada dos sistemas, associando soluções estruturais, como o reforço e reabilitação de coletores e de estruturas de armazenamento, a soluções descentralizadas de controlo na origem, que procuram promover a retenção e infiltração a montante da rede física de coletores. De acordo com o foco e país onde foram inicialmente desenvolvidos, os novos conceitos para soluções descentralizadas assumem

diferentes designações. A título de exemplo, refiram-se: “Melhores Práticas de Gestão”, do inglês (*Best Management Practices*) (Consultants Geosyntec, 2010); “Desenvolvimento de Baixo Impacto”, do inglês (*Low Impact Development*) (Elliott & Trowsdale, 2007); “Desenvolvimento Urbano Sensível à Água”, do inglês (*Water Sensitive Urban Design*); “Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana”, do inglês (*Sustainable Urban Drainage Systems*).

As “Melhores Práticas de Gestão”, abordagem que lida com a drenagem de águas pluviais, tendo em conta tanto as necessidades futuras como a proteção dos recursos naturais, pode revestir-se de um carácter estrutural, com a construção de sistemas de retenção de água da chuva, ou não estrutural, como a redução da incidência de carga poluente ou limpeza de ruas, só para apresentar dois exemplos (Martin *et al.*, 2007).

As características geofísicas (clima, hidrologia, ocupação do solo, tipo de solo e topografia) da área de estudo são determinantes para as opções a fazer em termos de gestão, pois afetam a quantidade e qualidade da água drenada. As alterações climáticas colocam desafios crescentes na gestão de águas pluviais e subsequente aumento da frequência de eventos de cheia. Os resultados de investigações levadas a cabo com base em dados de seguradoras, mostram que os custos dos danos causados pelas inundações têm vindo a aumentar durante as últimas duas décadas (Ntelekos *et al.*, 2010).

2.1.1 CONTROLO NA ORIGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Por “controlo na origem de águas pluviais”, entende-se um conjunto diversificado de técnicas de controlo local, a montante da rede, que permite a redução dos caudais de ponta e dos volumes de águas pluviais afluentes aos coletores, essencialmente, através de processos de retenção, de infiltração ou da combinação de ambos. Estas técnicas, começaram a ganhar expressão, especialmente a partir do início da década de 80, em países da Europa Central, mas também nos Estados Unidos da América, no Canadá, na Austrália e no Japão (Matos, 1999).

De entre as técnicas em questão merecem destaque as bacias de retenção, os pavimentos “com estrutura reservatório”, os poços absorventes, as trincheiras de infiltração e as valas revestidas com coberto vegetal. Com aplicação claramente mais restrita podem referir-se as técnicas de armazenamento temporário, por exemplo em coberturas de edificações.

O controlo na origem apresenta importantes vantagens relativamente às soluções tradicionais de rede de coletores enterrados, no quadro de uma gestão integrada das águas pluviais, mas exige, em contrapartida, uma nova abordagem em termos de conceção, uma nova atitude em termos de diálogo e articulação com outros agentes da intervenção urbana, um conhecimento claro das suas limitações e, conseqüentemente, dos respetivos domínios de aplicação e de exclusão (Matos, 1999). As soluções de controlo na origem têm também como característica a descentralização, isto é, a estratégia base não é a descarga unidirecional num local ou em número muito limitado de locais, mas sim o envolvimento de várias áreas ou locais de disposição final.

No plano técnico, estas práticas podem ser potencialmente mais eficazes, em termos de controlo de cheias, do que a solução clássica de rede enterrada, mas exigem uma nova postura em termos de conceção e implementação, marcada pela necessidade de intervenção de especialistas em hidrologia e hidráulica urbana, ao nível dos estudos de

planeamento e do desenho urbano de pormenor. Sendo forçosamente necessário maior diálogo e envolvimento das equipas de trabalho, e uma verdadeira articulação disciplinar (Matos, 2003). Daí que em termos práticos, a melhor solução, provavelmente, encontra-se a meio caminho entre as opções mais tradicionais e as práticas mais recentes.

Na visão tradicional e clássica, os projetos de infraestruturas de drenagem pluvial são realizados, em geral, na sequência da execução dos projetos de urbanização. Esta ordem de intervenção temporal não é naturalmente desejável no quadro da opção por técnicas de controlo na origem, na medida em que a predefinição da ocupação do solo pode induzir a eliminação ou a perda de técnicas potencialmente possíveis de aplicar.

No plano social, as vantagens associadas às técnicas de controlo na origem (Quadro 1), resultam essencialmente da sua contribuição para a valorização dos espaços em que se inserem, permitindo compatibilizar objetivos técnicos com funções, por exemplo, de lazer e desporto.

Quadro 1: Usos múltiplos oferecidos pelas soluções de controlo na origem. (Adaptado de Azzout *et al.*, 1994)

Técnica	Contribuição		Utilizações e funções complementares
	Recarga de aquíferos e/ou rega	Paisagística	
Trincheira de Infiltração	Contribuição para o equilíbrio do ecossistema	Não aplicável	Não aplicável
Trincheira de Retenção	Não	Não aplicável	Não aplicável
Pavimentos de Infiltração com estrutura reservatório	Contribuição para o equilíbrio do ecossistema	Não aplicável	Diminuição da projeção, lençóis de água, aquaplanagem e ruídos de rolamento (para velocidades até 50 km/h), melhoria da visibilidade das marcas horizontais
Pavimentos de Retenção com estrutura reservatório	Não	Não aplicável	
Bacia de Infiltração	Contribuição para o equilíbrio do ecossistema	Possível zona de lazer e recreio	
Bacia de Retenção seca	Não	Possível zona de lazer e recreio	Possibilidade de reutilização dos materiais de escavação
Bacia de Retenção com volume de água permanente	Contribuição para o equilíbrio do ecossistema	Possível zona de passeio	
Bacia de Retenção enterrada	Contribuição para o equilíbrio do ecossistema	Não aplicável	

As bacias de retenção, quando inseridas em sistemas de drenagem unitários, podem também ser usadas como órgãos de controlo da qualidade da água, no sentido em que minimizam a descarga de efluentes não tratados diretamente para o ambiente. Este efeito será potenciado caso se faça uso, por exemplo, de plantas macrófitas (ver 5.1.1.5), promovendo dessa forma uma melhoria da qualidade da água logo à saída da bacia. Isto é, as bacias de retenção podem servir como reservas locais de acumulação da água, durante os períodos em que os sistemas de tratamento não tenham capacidade para fazer face aos caudais afluentes. Nos períodos de menor caudal, baixa o nível da água nesses reservatórios, sendo o efluente conduzido para uma ETAR.

A qualidade das águas superficiais e subterrâneas sofre a influência dos poluentes, que são arrastados pelo escoamento superficial e conduzidos aos sistemas de drenagem pluvial. Metais pesados, como o zinco, cobre e cádmio, hidrocarbonetos aromáticos e sais altamente solúveis, contribuem para a deterioração da qualidade da água (Göbel *et al.*, 2007; Laurenson *et al.*, 2013).

No caso das águas ou escorrências pluviais drenarem para sistemas unitários, a carga poluente então arrastada no interior da massa líquida pode ser muito superior à que seria de esperar num sistema separativo pluvial. Efetivamente, por ocasião de precipitações significativas, as “ondas de cheia” originam velocidades e tensões de arrastamento tais, que são em regra suficientes para ressuspender e arrastar, para jusante, uma fração significativa das partículas em acumuladas durante os períodos secos na soleira dos coletores. Estas situações ocorrem pelo facto de, durante os períodos estivais, com caudais muito inferiores, as tensões de arrastamento não serem suficientes para garantirem condições de autolimpeza (Matos, 2000).

A criação de reservatórios ou volumes de reserva, tão comuns em França, Alemanha ou Holanda, podem constituir soluções apropriadas para a redução dos riscos de inundações em áreas críticas da cidade, atenuando os valores de caudal de ponta e evitando a descarga para o meio recetor, de águas “unitárias” poluídas e contaminadas por ocasião de precipitações intensas.

Estes reservatórios são concebidos, em regra, para armazenar caudais pluviais correspondentes a hidrogramas de projeto com períodos de retorno (intervalo de tempo que decorre, em média, para que um determinado evento seja igualado ou excedido) da ordem de 10 anos e apresentam, frequentemente, capacidade de várias dezenas de milhares de m³. Em Barcelona, por exemplo, existem nove reservatórios enterrados (Figura 1) dispostos de inclinação de soleira e equipamentos que permitem a sua limpeza automática após os eventos de precipitação, com capacidade total instalada de cerca de 500 000 m³ (Matos *et al.*, 2007).



Figura 1: Aspeto interior de uma das bacias de retenção subterrâneas existentes em Barcelona. (Retirado de: <http://www.clabsa.es/ESP/home.asp>)

Fletcher *et al.* (2007), atribuem aos sistemas de retenção de águas pluviais (e.g. bacias de retenção) a capacidade para reduzir significativamente os volumes de escoamento anuais para valores da ordem de grandeza aos verificados antes do processo de urbanização ter lugar. Jayasuriya *et al.* (2007), demonstraram a aptidão dos pavimentos permeáveis para reduzir os caudais de ponta e melhorar a qualidade da água em eventos de precipitação extremos, permitindo que esta se aproxime das exigências impostas em termos de qualidade pela Diretiva Quadro da Água. Nascimento *et al.* (1999), apresentaram um caso de estudo recorrendo a uma bacia de retenção e uma bacia de infiltração como forma de controlar as cheias. Por sua vez, Zhou *et al.* (2013), descreveram um caso de estudo envolvendo bacias de infiltração e bacias de retenção de forma a mitigar o risco de cheia agravado pelas alterações climáticas. No artigo em questão, reconheceu-se o grande potencial para as bacias de retenção atenuarem o escoamento originado por eventos de precipitação extremos, assim como para proporcionarem áreas de lazer com fins múltiplos. Já Bergman *et al.* (2011), estudaram a performance de duas bacias de infiltração instaladas no final dos anos 90 na zona central de Copenhaga, chegando à conclusão que o tempo necessário para que estas ficassem colmatadas era muito mais curto do que o inicialmente previsto. Ashley *et al.* (2007), defendem que a redução do volume de água, proveniente de eventos de precipitação extremos, através da utilização de bacias de retenção, é muito sensível às condições locais, tais como, duração e intensidade do evento em causa, tipo de solo e sua composição granulométrica. Sugerindo que a utilização de bacias terá de ser sempre acompanhada do reforço da rede de drenagem (e.g. aumento do diâmetro da tubagem).

2.1.2 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS. ALGUNS EXEMPLOS EUROPEUS.

Suécia

De modo a promover a utilização de técnicas baseadas no controlo na origem por parte dos proprietários de terrenos, em Estocolmo é cobrada uma taxa por m² de área impermeabilizada. Caso o proprietário em questão implemente técnicas de controlo na origem, o valor dessa taxa será menor (Chouli *et al.*, 2007).

Alemanha

A promoção da infiltração de águas pluviais, a sua utilização para a rega de jardins e lavagem de espaços ao ar livre, são práticas comuns na Alemanha (Chouli *et al.*, 2007). Atualmente, não existe legislação federal que descreva os requisitos necessários ao modo como deverá ser conduzido o escoamento superficial após processos de urbanização. Porém, o Ministério do Ambiente e a Agência Federal do Ambiente solicitaram a elaboração de novos guias de boas práticas quanto ao tratamento de águas pluviais (Dierkes *et al.*, 2015). Estas entidades prestam orientação técnica aos municípios no que respeita à gestão das águas pluviais. O município, em coordenação com a entidade responsável pelo abastecimento e saneamento da água, é o ator principal na implementação de técnicas de controlo na origem em terrenos públicos, procurando igualmente influenciar a esfera de atuação do sector privado.

Em alguns Estados, como é o caso da Renânia do Norte-Vestefália, existem regulamentos exigentes e com especificações detalhadas, obrigando, para o caso, que se preveja a infiltração de toda a água decorrente de novas áreas impermeabilizadas. É igualmente conferido apoio financeiro à investigação feita neste âmbito, assim como à elaboração de Planos de Gestão do Risco de Inundação e implementação de técnicas de controlo na origem (Dierkes *et al.*, 2015).

Na cidade de Dresden, a companhia das águas, cobra um imposto em função da área impermeabilizada, tanto a entidades privadas como públicas.

França

Algumas das entidades responsáveis pela gestão de águas pluviais, só autorizam novas construções, caso sejam postas em prática técnicas de controlo na origem. O critério difere um pouco consoante a entidade em causa, assim, poderão, por exemplo, ser impostas mediadas em função da área a urbanizar ou do incremento de caudal provocado pela artificialização. O Departamento (divisão administrativa) de Seine St. Denis, após mais de 25 anos de experiência, optou por recomendar a implementação de bacias de retenção ao ar livre, pois têm custos de construção inferiores, adequam-se a utilizações de lazer diversas (e.g. campos de jogos ou jardins) e em caso de deficiência do seu funcionamento, possibilitam a fácil identificação das falhas (Chouli *et al.*, 2007).

Reino Unido

De acordo com a legislação, nas novas zonas a urbanizar, é exigido que os caudais de ponta após a construção sejam semelhantes aos existentes anteriormente. Assim sendo, para alcançar esse objetivo, é necessário garantir o armazenamento temporário do escoamento ou então optar por promover a infiltração da água na origem.

Todas as bacias de retenção no Reino Unido são equipadas com um descarregador de cheia. Para bacias com um volume inferior a 25 000 m³ o descarregador deverá ser dimensionado para um tempo de retorno de 150 anos. Bacias com capacidades de encaixe maiores que 25 000 m³ são obrigatoriamente sujeitas a uma vistoria que poderá determinar a necessidade de dimensionamento do descarregador para tempos de retorno superiores. É prática corrente que este tipo de estrutura seja alvo de um “estudo de impacte ambiental” e

que além das funções chave hidrológicas e hidráulicas, deverão ser consideradas sempre que possível outras funções ambientais secundárias (Nascimento *et al.*, 1999).

3 OCORRÊNCIA DE CHEIAS

3.1 FATORES CONDICIONANTES DAS CHEIAS

As cheias são um fenómeno natural que não pode ser evitado, e que pode pôr em causa a segurança de pessoas, de bens e do ambiente, podendo provocar desalojados e a perda de vidas humanas e ser responsável por impactos socioeconómicos relevantes. É, no entanto, possível e desejável reduzir o risco e as consequências prejudiciais que lhes estão associadas, especialmente para a saúde e vida humanas, para o ambiente, para o património cultural, para as atividades económicas e infraestruturas.

As cheias podem ser devidas a várias causas. Em Portugal, a causa mais importante como fator que desencadeia deste fenómeno está relacionada com a meteorologia, sendo as cheias quase todas devidas a (Ramos, 2013):

- Cheias lentas dos grandes rios;
- Cheias rápidas dos rios e ribeiras de pequenas e médias bacias hidrográficas;
- Subida das águas subterrâneas em locais topograficamente deprimidos;
- Cheias devidas à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais nos meios urbanos;
- Cheias costeiras devidas a galgamentos oceânicos.

Dentro das causas meteorológicas, e à exceção dos galgamentos oceânicos, a pluviosidade é a principal causa das cheias. A precipitação pode apresentar-se de modo diverso, por exemplo, sob a forma contínua e prolongada, podendo até não atingir grande intensidade (originando neste caso cheias lentas e a subida do nível freático, com inundação de áreas deprimidas), ou concentrada no tempo e no espaço, mas com grande intensidade, dando origem às chamadas cheias rápidas (*flash floods*), que são particularmente perigosas, sendo uma das catástrofes naturais que maior prejuízo económico e perda de vidas humanas provoca nos países da zona ocidental do Mediterrâneo (Liberato *et al.*, 2013).

As cheias lentas ocorrem nas grandes bacias, onde é necessária a passagem de várias frentes que originam a precipitação de grandes quantidades de água. Os valores de ponta do hidrograma são atingidos ao fim de dias de subida dos valores de caudal, podendo estes manter-se elevados por vários dias, ou até semanas.

3.2 CONTROLO DE CHEIAS

Durante muito tempo, a resposta ao risco das situações de cheia foi a construção de grandes projetos de controlo de cheia (reservatórios, barragens, diques, *etc.*), as designadas soluções estruturais, visando a redução das características intrínsecas dos escoamentos (caudal máximo, níveis de água, *etc.*); daí resultou a ocupação progressivamente mais intensa das zonas de cheia, o que, conseqüentemente exigiu cada vez maior grau de proteção face aos riscos de cheia, implicando investimentos cada vez maiores, numa crescente espiral de proteção de cheia / desenvolvimento (NRC, 1995). Os efeitos económicos, sociais e comportamentais das cheias na atividade humana conduziram assim

às designadas soluções não-estruturais (medidas de emergência, sistemas de previsão e aviso de cheias, e medidas de gestão de zonas de cheia).

Um programa de gestão de defesa de cheias adequadamente desenvolvido deverá, provavelmente, vir a assegurar que as pessoas que se localizam em zonas de risco suportem na medida do possível os custos dessa decisão, pagando uma parte das obras de proteção, aceitando restrições ao desenvolvimento em zonas sujeitas à possibilidade de cheias e/ou pagando prémios de seguro correspondentes (Maia & Ribeiro, 1998).

A experiência do programa europeu de gestão dos riscos de cheias (EU, 2015), mostra que uma abordagem eficaz no sentido de reduzir este risco assenta essencialmente nos seguintes elementos:

- Prevenção dos riscos de danos das cheias - evitando a construção em zonas de risco e promovendo um uso do solo apropriado;
- Proteção - tomando medidas estruturais e não estruturais para reduzir a probabilidade da ocorrência de cheias e o impacte das cheias em localizações específicas;
- Preparação - informando a população dos riscos de cheia e o que fazer em caso desta ocorrência;
- Resposta a emergência - desenvolvendo planos de resposta a emergências no caso de cheias.

3.2.1 CHEIAS URBANAS

O desenvolvimento urbano interfere com o ciclo natural da água. Entre outros aspetos, pela redução da infiltração de água no solo e pela diminuição da rugosidade natural do terreno, o que leva ao aumento do volume de água escoada superficialmente e à diminuição do tempo de concentração. Consequentemente, o aumento do escoamento superficial vai implicar que os sistemas de drenagem pública deixem de suportar caudais para os quais não foram dimensionados.

O escoamento superficial com origem na precipitação pode produzir impactes nas áreas urbanas devido a dois processos, que podem ocorrer isoladamente ou combinados (Debo *et al.*, 1995):

- Cheias das zonas ribeirinhas: as linhas de água possuem, geralmente, dois leitos, o leito menor onde a água escoia na maioria do tempo e o leito maior (leito de cheia). Quando o leito maior é inexistente ou foi ocupado, podem ocorrer cheias, um fenómeno perfeitamente natural mas que se revela bastante preocupante devido às perdas materiais e de vidas humanas envolvidas;
- Cheias devidas à urbanização: as cheias aumentam a sua frequência e a sua amplitude em consequência da impermeabilização causada pela ocupação do solo mas também devido à construção nos vales. O desenvolvimento urbano pode, ainda, constituir obstáculo ao escoamento, através da construção de aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções diversas (Figura 2).

Quando se torna impossível intervir no próprio leito do rio devido à ocupação excessiva, torna-se necessária a implementação de outro tipo de medidas que diminuam os riscos de cheia e protejam as populações.

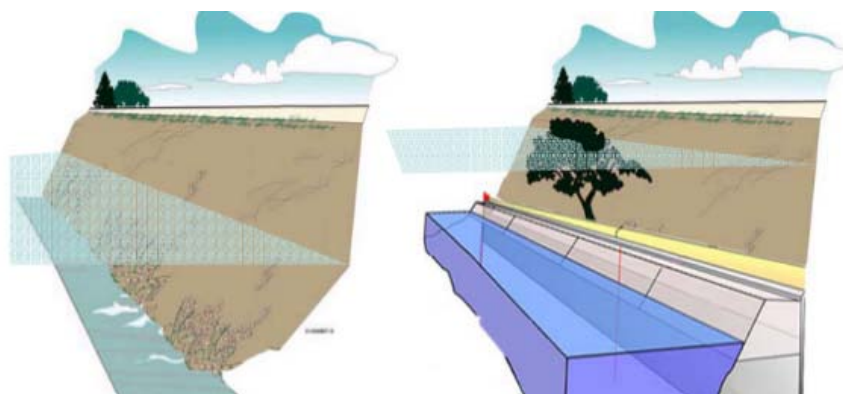


Figura 2: Diminuição da seção de vazão por construção de um passeio ou cais com reflexos na subida do nível de cheia para um mesmo período de retorno. (Retirado de Rodrigues *et al.*, 2003)

3.3 AS CHEIAS COMO CATÁSTROFE NATURAL

De acordo com a *Internacional Disaster Database* (EM-DAT), um fenómeno ou processo natural pode redundar em catástrofe se provocar uma das seguintes situações: (i) 10 ou mais pessoas mortas, (ii) 100 ou mais pessoas afetadas (no imediato), (iii) pedido de ajuda internacional ou (iv) declaração do estado de emergência. Seguindo este critério, verifica-se que em Portugal (continente e ilhas), nos últimos 30 anos (1986 a 2015), as cheias, a par com as tempestades, foram as catástrofes mais frequentes, com 28% do total de eventos ocorridos; e foram a segunda que mais pessoas afetou (a seguir aos incêndios florestais) e a segunda mais mortífera (a seguir às ondas de calor). Note-se, no entanto, que a grande maioria das vítimas das ondas de calor são “indiretas”, ou seja, tratam-se de pessoas com algum tipo de fragilidade que perante um fenómeno deste tipo acabam por sucumbir ao acumular de problemas.

Se nos reportamos a todo o século XX, Ramos & Reis (2011) afirmam que as cheias foram o desastre natural mais mortífero em Portugal, seguidas pelos sismos. Por cada óbito devido aos sismos, registaram-se sete óbitos causados por cheias. O projeto DISASTER, consistindo numa base de dados construída a partir da recolha em vários jornais, de informação relativa a eventos de cheia e deslizamentos de terra em Portugal continental, abrangendo o período 1865-2010, identificou um número total de 1 621 cheias que implicaram em 1 012 vítimas mortais e mais de 40 000 desalojados (Figura 4). Segundo Zêzere *et al.* (2014), no período entre 1865 e 2010 a maioria das mortes e desaparecimentos devido às cheias ocorreram na bacia hidrográfica do Tejo (67% do total). Este resultado é fortemente influenciado por um evento único de cheia rápida, ocorrido na região de Lisboa a 25-26 de novembro de 1967, que veio a provocar 522 mortes, demonstrado o potencial destruidor deste tipo de acontecimento.

3.4 AS CHEIAS E AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

De acordo com o relatório de 2007 do *Intergovernmental Panel on Climate Change* das Nações Unidas (IPCC, 2007), as alterações climáticas manifestam-se de forma diferente consoante as regiões. No sul da Europa são esperadas temperaturas mais elevadas e situações de seca, com a redução da disponibilidade de água, tendo assim consequências

para a capacidade hidroelétrica, o turismo de verão e a produtividade agrícola. São esperados também os seguintes efeitos:

- Aumento de ocorrência de inundações e conseqüentemente do seu poder erosivo nas áreas interiores e zonas costeiras;
- Elevação do nível médio das águas do mar (e aumento das inundações que tal pode provocar);
- Aumento do risco de secas, ondas de calor e fogos de grandes proporções;
- Redução do escoamento e da recarga dos aquíferos, sobretudo onde estes já estão neste momento mais debilitados.

O relatório de 2014 (IPCC, 2014) destaca o aumento da probabilidade da ocorrência destes efeitos em zonas urbanas, existindo riscos acrescidos para pessoas e bens em zonas sem serviços de qualidade e infraestruturas adequadas.

3.4.1 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E IMPACTES NO SISTEMA DE DRENAGEM

Os impactes das alterações climáticas no sistema de drenagem estão, sobretudo, associados à subida do nível médio das águas do mar e ao possível aumento da frequência e magnitude dos fenómenos extremos de precipitação com curta duração. Acresce o impacto do aumento da variabilidade do regime de precipitação, com o provável aumento da duração dos períodos secos que, associado ao aumento da temperatura do ar, condicionará as condições de autolimpeza dos coletores e proporcionará a ocorrência de odores, seticidade, toxicidade e corrosão. A capacidade de diluição dos esgotos domésticos poderá também ser afetada.

O aumento da variabilidade do regime de precipitação poderá conduzir a um aumento da frequência e magnitude dos valores extremos de precipitação e, por consequência, ao aumento das solicitações dos sistemas de drenagem de águas pluviais. A eventual incapacidade de escoar os caudais gerados deverá dar origem a situações de inundação urbanas mais frequentes e de maiores dimensões (Mendes & Oliveira, 2012).

3.5 CHEIAS EM PORTUGAL

As cheias locais, associadas na maior parte dos casos a fenómenos de intensa precipitação em pequenas bacias, podem ser particularmente perigosas, como as que ocorreram perto de Lisboa em novembro e dezembro de 1983, nos invernos de 1995/1996 e 1998, no sotavento algarvio em 1989 e no Alentejo e Algarve em 1997. Porém, a de maior impacto social ocorreu em Lisboa em 1967, devido ao elevado número de vítimas mortais, na ordem das várias centenas. Poder-se-á afirmar que foi o primeiro choque entre uma descuidada ocupação do solo e a ocorrência do fenómeno natural cheia e de um outro fenómeno a ele associado, o deslizamento de terras (Trigo *et al.*, 2015).

Em valor absoluto, a maior cheia observada em Portugal foi no rio Douro, estimada em 18 000 m³/s, em dezembro de 1739. Este rio apresenta uma das maiores cheias em toda a Europa. A cheia estimada para o período de retorno de 1000 anos é de 26 000 m³/s. Cheias da ordem dos 10000 m³/s podem ocorrer com uma frequência média de 10 anos. A maior cheia no rio Tejo, em dezembro de 1876, foi estimada em 16 000 m³/s. Cheias da ordem dos

10 000 m³/s podem ocorrer com uma frequência média de 20 anos. Nos mesmos dias do ano de 1876, ocorreu uma grande cheia no rio Guadiana, com um máximo estimado de 11 000 m³/s (Rocha, 1998).

Nas bacias intermédias dos rios Vouga, Mondego e Sado, poderão ocorrer cheias com máximos da ordem dos 5000 m³/s. Nas pequenas bacias, mas relativamente mais perigosas, poderão ocorrer cheias com algumas centenas de m³/s, podendo atingir os 1000 m³/s no rio Trancão (Rocha, 1998).

Os efeitos da urbanização na alteração do regime de escoamento superficial (Figura 3) exacerbados pela ocupação de zonas sujeitas a inundação, ganhou visibilidade com as cheias de 1983, que afetou principalmente a área de Lisboa, bem como com as de 1989, que afetaram as zonas urbanas do Algarve, com destaque para a cidade de Tavira.

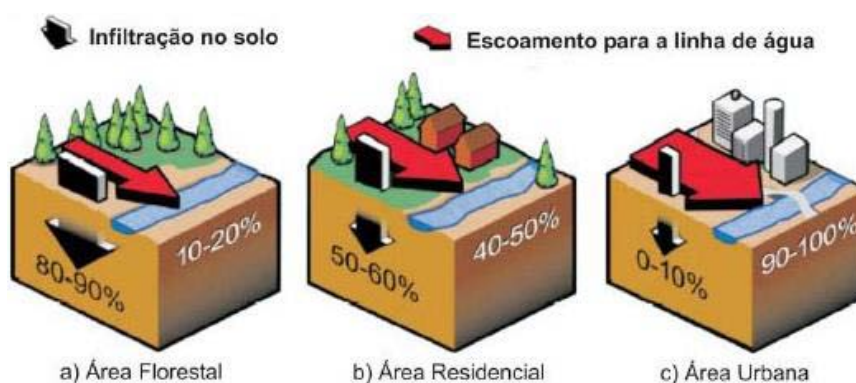


Figura 3: Efeitos da urbanização na diminuição da infiltração de água no solo e consequente aumento do escoamento superficial. (Retirado de: Mata-Lima *et al.*, 2007)

Nas pequenas bacias de drenagem com regime natural (sem influência das barragens), existe uma clara intensificação da importância das cheias durante os meses de outono, durante as últimas décadas, em contraste com uma acentuada diminuição nos meses de inverno e primavera. Estas modificações seguem de perto a variação de comportamento da distribuição temporal da precipitação, registada nas últimas décadas para a área mediterrânea (Ramos & Reis, 2001).

Esta tendência não deixa de ser preocupante: por um lado, a concentração de precipitação num menor número de meses diminui a disponibilidade de água nos restantes e exige uma maior necessidade de armazenamento; por outro lado, esta concentração traduz-se na maior intensidade da precipitação no período outonal, com o consequente agravamento do número e intensidade das cheias e aumento da perda de solo.

Se é verdade que a intensidade e concentração das chuvas são a causa próxima das cheias rápidas, também é verdade que muitas vezes os prejuízos e vítimas mortais resultantes se devem a uma ação humana irresponsável. A destruição da vegetação nas áreas de maiores declives, com o consequente aumento da capacidade erosiva das águas de escorrência, a impermeabilização generalizada dos terrenos, a insuficiência ou inadequação dos coletores pluviais (a que se juntam, muitas vezes, as descargas de águas residuais), a criação de estrangulamentos artificiais que constituem obstáculos ao escoamento (canalização coberta

de troços das ribeiras, muros e aterros transversais às linhas de água, construção nos leitos de cheia ou nas margens dos leitos menores, entulhamento dos leitos das ribeiras), foram as causas que contribuíram para o agravamento deste tipo de cheias (Ramos & Reis, 2001).

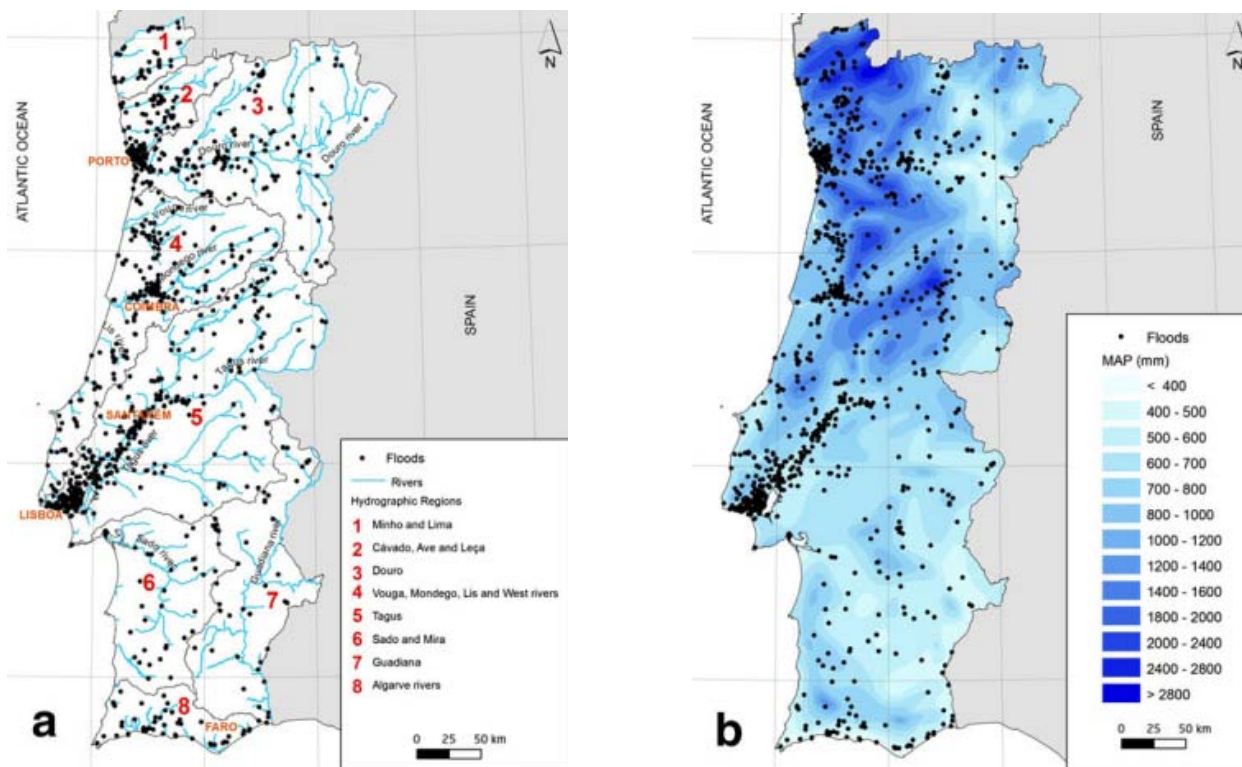


Figura 4: Distribuição espacial das principais cheias em Portugal no período 1865 – 2010 de acordo com a região hidrográfica (a) e a precipitação média anual (b) (series de dados de 1931 a 1960). (Adaptado de: Zêzere *et al.*, 2014)

A distribuição das cheias e deslizamentos de terras com consequências sociais no período 1865-2010 está representada na Figura 5. As linhas azuis e vermelhas representam, respetivamente, os valores acumulados em % das cheias e deslizamentos de terras.

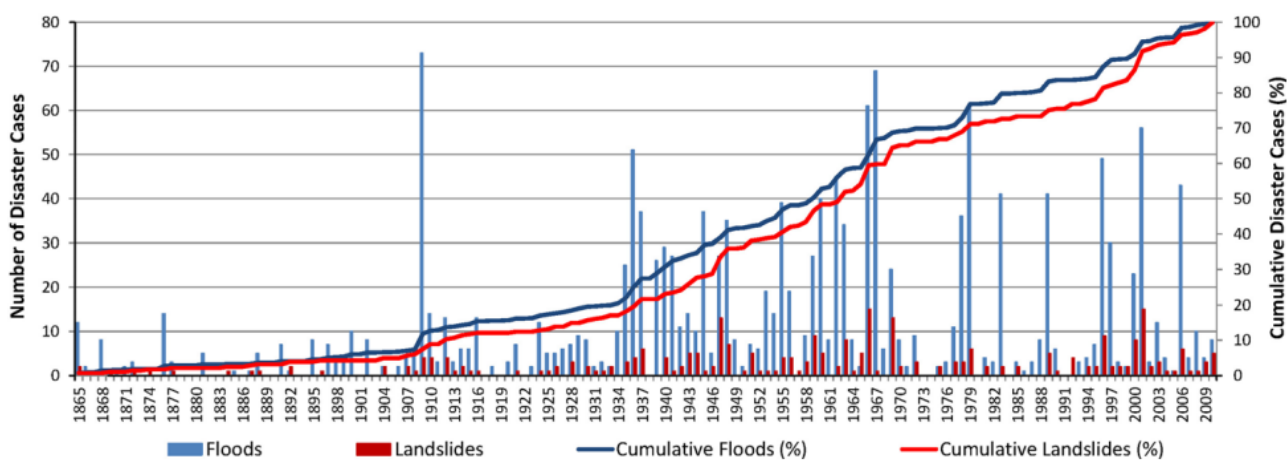


Figura 5: Distribuição temporal de eventos de cheia e deslizamento de terras, ocorridos em Portugal no período 1865-2010. (Retirado de: Zêzere *et al.*, 2014)

No decurso dos trabalhos de transposição da Diretiva 2007/60/CE, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, foi elaborado um estudo (APA, 2014) com o objetivo de elaborar cartografia específica sobre risco de inundação, com base em modelação hidrológica e hidráulica das cheias, para 22 zonas críticas em Portugal Continental.

A elaboração de cartografia de risco de inundação pressupôs, além da delimitação das zonas de inundação, a avaliação das potenciais consequências da mesma, no que diz respeito aos danos humanos, ao património, à atividade económica e ao ambiente.

No Quadro 2, apresenta-se o número de habitantes afetados por zona crítica e para cada período de retorno em estudo.

Quadro 2: Número de habitantes afetados por zona crítica e período de retorno estudado. (Retirado de: APA, 2014)

Zona Crítica	N.º residentes permanentes			N.º residentes temporários			N.º de indivíduos afetados			
	T=	T=	T=	T=	T=	T=	T=	T=	T=	
	20	100	1000	20	100	1000	20	100	1000	
ARH Norte	Chaves	2400	2900	3150	20	20	20	2420	2920	3170
	Esposende	1900	2600	4000	125	125	150	2025	2725	4150
	Ponte de Lima	380	530	610	0	0	60	380	530	670
	Ponte da Barca	260	310	330	0	0	0	260	310	330
	Porto e Vila Nova de Gaia	1750	2300	2900	150	150	300	1900	2450	3200
ARH Centro	Régua	2100	2350	2800	125	125	125	2225	2475	2925
	Águeda	580	610	630	0	0	0	580	610	630
	Pombal	650	950	1500	0	0	0	650	950	1500
	Coimbra	380	550	1600	100	100	100	480	650	1700
	Estuário do Mondego	120	150	230	0	0	0	120	150	230
ARH Tejo	Ria de Aveiro	7100	7800	10000	70	70	70	7170	7870	10070
	Loures e Odivelas	8700	9800	10600	0	0	0	8700	9800	10600
	Abrantes, Santarém e Vila Franca de Xira	3800	6850	9250	20	20	20	3820	6870	9270
	Tomar	2350	2800	3500	175	175	175	2525	2975	3675
ARH Alentejo	Torres Vedras	1900	2550	4600	750	750	750	2650	3300	5350
	Alcácer do Sal	430	600	920	0	0	15	430	600	935
	Santiago do Cacém	5	10	30	0	0	0	5	10	30
ARH Algarve	Setúbal	8100	9600	11200	200	200	250	8300	9800	11450
	Aljezur	30	40	50	0	0	0	30	40	50
	Faro	100	180	270	0	0	0	100	180	270
	Monchique	50	55	60	0	0	0	50	55	60
	Silves	380	440	490	175	175	175	555	615	665
Tavira	950	1150	1300	175	175	175	1125	1325	1475	

Do regime hidrológico de muitos dos nossos rios (Quadro 3), em particular dos seus afluentes, pode dizer-se que é torrencial, ou seja, que neles se assiste a grandes cheias na época das chuvas e caudal diminuto na época seca. Por este motivo, e muito por força dos efeitos catastróficos de alguns eventos ocorridos na região de Lisboa no final dos anos 60 e anos 70 do século passado, a problemática da delimitação de leitos de cheia assume relevo no nosso ordenamento jurídico e na gestão dos recursos hídricos (APA, 2015).

Os rios do Sul de Portugal possuem escoamentos específicos anuais 6 a 7 vezes inferiores aos do Noroeste, assim como, uma maior irregularidade (o caudal nos anos mais chuvosos pode ultrapassar 100 a 240 vezes o dos anos mais secos) e uma estiagem mais prolongada (6 meses) (Ramos, 1994).

Quadro 3: Regime dos rios portugueses. (Retirado de: Ramos & Reis, 2001)
(Séries temporais de 1960/61 a 1989/90 e áreas de drenagem > 300 km², exceto as séries das áreas cársicas – 1980/1981 a 1989/90 e áreas de drenagem > 100 km²)

Rios	Caudal específico (l/s/km ²)	Irregularidade (Qmax/Qmin)	Estiagem (meses ≤ 25% de Q)	Cheias (Qmi/Q)
Noroeste e Cordilheira Central	20 - 35	6 - 9	3	50 - 60
Nordeste	6 - 12	10 - 40	4	60 - 90
Sul	3 - 5	100 - 240	6	200 - 300
Áreas cársicas centrais	15 - 40	4 - 5	3 - 5	25 - 40

Q – Caudal médio anual; Qmi – Caudal máximo instantâneo; Qmax e Qmin – Caudais dos anos, respetivamente, com maior e com menor escoamento.

O carácter intermitente dos pequenos cursos de água, que podem permanecer secos por vários anos, cria uma falta de perceção do risco de cheia pela população e, em muitos casos, pelas entidades oficiais.

O desordenamento do território constitui assim a principal causa das mortes causadas pelas cheias. A grande maioria das vítimas foi encurralada nas suas próprias casas, construídas nos leitos de cheia, muitas vezes ilegalmente (Ramos & Reis, 2001).

3.5.1 REGISTOS HISTÓRICOS NO ALGARVE

A região do Algarve apresenta uma elevada vulnerabilidade a cheias, devido às condições meteorológicas adversas que por vezes ocorrem e devido às características geomorfológicas do território, como sejam a morfologia dos principais cursos de água e a natureza litológica do substrato rochoso. Estes fatores condicionam o escoamento das águas de precipitação, determinando o regime torrencial e perene da maior parte dos cursos de água, cuja capacidade de vazão se revela insuficiente por ocasião de precipitação intensa. Das características dos perfis longitudinais dos cursos de água, sobressai o declive

relativamente acentuado das ribeiras do sistema lagunar de Alvor, respetivamente, Odiáxere, Arão, Farelo e Torre, e das ribeiras de Boina e de Aljezur, todas elas com nascentes na Serra de Monchique e com declive médio entre 2% e 3,5%. Tratam-se de cursos de água onde ocorrem cheias com alguma frequência, sempre que se verificam precipitações intensas na Serra de Monchique. Tal facto deve-se ao acentuado declive do trecho montanhoso destas ribeiras, ao substrato rochoso que é pouco permeável e à extensão do trecho final, que é plano. Acresce ainda, o facto das cabeceiras se encontrarem expostas a Sudoeste, de onde provêm os principais temporais que atingem a região (ARH Algarve, 2012). A influência da maré vem agravar as consequências das cheias, uma vez que situações de preia-mar, condicionam em muitas das localidades do litoral a capacidade de vazão dos sistemas de drenagem, ou seja, sistemas que sem esta interferência seriam desde logo incapazes para fazer face ao escoamento provocado por determinado episódio de precipitação, veem essa incapacidade exacerbada nos períodos de preia-mar.

As cheias e inundações na região do Algarve, têm a particularidade de refletir a organização da rede hidrográfica, a qual mantém uma individualidade característica da região, com numerosos cursos de água de reduzida dimensão, quer em extensão quer em área da bacia hidrográfica correspondente. Por outro lado, excetuando os principais cursos de água da região, como o rio Arade, as ribeiras de Odelouca, Algibre, Quarteira, Alportel e Aljezur, que têm alguns afluentes relevantes, a maior parte deles são pouco hierarquizados, escoando diretamente para o mar.

Assim, quando a região é afetada por temporais com passagens de superfícies frontais, podem verificar-se cheias e inundações em várias bacias hidrográficas, dada a sua reduzida dimensão. Por outro lado, quando a precipitação é desencadeada por mecanismos associados a depressões muito “cavadas” e localizadas, as cheias e inundações ficam confinadas a áreas pequenas e, conseqüentemente, a pequenos conjuntos de bacias hidrográficas (ARH Algarve, 2012).

As ribeiras do Sul de Portugal Continental apresentam o escoamento mais elevado durante o mês de dezembro, coincidindo com o máximo absoluto da precipitação. A partir de maio ou junho, o caudal reduz-se drasticamente, tornando-se frequentemente nulo. Esta situação prolonga-se até ao mês de setembro e, frequentemente, até outubro, durante as estiagens mais prolongadas, que se podem estender por 5 ou 6 meses. As primeiras chuvas outonais, quer ocorram durante setembro ou outubro, vão alimentar o solo exsiccado durante o verão, e não se traduzem normalmente em escoamento fluvial. No entanto, o regime dos cursos de água de Portugal, e em especial da região Sul, não se caracteriza apenas pelos enormes contrastes sazonais, mas também pela sua enorme irregularidade interanual, tanto no que diz respeito aos valores médios anuais como aos valores médios mensais (Ramos & Reis, 2001).

Uma das características peculiares das cheias ocorridas neste tipo de bacias relaciona-se com a grande importância das cheias rápidas e sua influência nas atividades humanas. De facto, são frequentes as subidas repentinas do caudal, resultantes da rápida resposta das ribeiras às chuvas intensas e concentradas, bastante vulgares no Sul de Portugal (Ramos & Reis, 2001).

As cheias rápidas são especialmente problemáticas em pequenas bacias-vertente, com tempos de concentração reduzidos, e sujeitas a uma urbanização caótica.

Os meses de outubro e novembro de 1997, foram particularmente difíceis para Portugal, pois sucederam-se cheias rápidas e deslizamentos de terras em várias regiões do sul do Continente e nas ilhas dos Açores e da Madeira. A 26 de outubro, um evento de precipitação extrema abateu-se sobre a Serra de Monchique, onde a grande inclinação dos cursos de água originou uma rápida propagação da onda de cheia. As enxurradas transportaram várias toneladas de blocos de sienito das mais variadas dimensões, areia e lama, bem como troncos de árvores, destruindo pontes e estradas e (Ramos & Reis, 2001).

A precipitação registada em Monchique entre as 0 e as 6 horas da madrugada do dia 26 atingiu 274 mm, o que constitui o dobro da precipitação média do mês (138 mm) e 1/5 da precipitação média anual, correspondendo a um período de retorno de 1000 anos (Rodrigues *et al.*, 1998). A intensidade da precipitação atingiu 164 mm/h, entre as 3:00 e as 3:05 horas. A ribeira da Garganta, com um tempo de concentração de 35 minutos drenou durante cerca de 7 horas, 319 000 m³, com um caudal específico de 11 m³/s/km² (Ramos & Reis, 2001).

Mais uma vez, a ação humana contribuiu para o agravamento dos prejuízos causados pelas cheias. Parte da vila de Monchique assenta sobre a ribeira da Garganta, que foi coberta e canalizada. As casas foram implantadas transversalmente ao vale. Estas casas serviram de barreira ao livre escoamento das águas, da lama e dos blocos. Como consequência, a ribeira rebentou com parte do coletor por onde corria, galgou as ruas levantando a calçada e entrou pelas casas submergindo os pisos térreos com blocos e lama (Figura 6). Mais a jusante, em Caldas de Monchique verificou-se situação idêntica (Ramos & Reis, 2001).



Figura 6: Imagens das cheias de 26/10/1997 em Monchique. (Retirado de: http://monscicus.blogspot.pt/2007/10/as-grandes-cheias-em-monchique-no-ano_24.html)

A 1 de novembro de 2015, um temporal assolou o Algarve, provocando cheias em diversos locais da região Este foi um evento caracterizado não propriamente pela intensidade de

precipitação (os valores horários estiveram dentro de períodos de retorno de 2 a 5 anos), mas mais pela duração de valores elevados de precipitação, que persistiram durante cerca de 9 horas, cujos acumulados relegam para períodos de retorno superiores a 100 anos (Quadro 4).

Efetuada a análise hidrológica com recurso à estação meteorológica do aeroporto de Faro, do conjunto de blocos horários entre as 5 e as 14 horas (Quadro 5) verificou-se que na verdade se trataram de 2 subeventos sucessivos, em que o segundo, além de mais gravoso, aproveitou o caudal de base do primeiro. Ou seja, o volume de precipitação registado entre as 5:00 e as 8:00 apresenta uma distribuição normal e logo de seguida, entre as 9:00 e as 14:00, verifica-se novo evento de precipitação com igual distribuição, mas com valores mais elevados, isto, quando os caudais de escoamento derivados do 1º evento ainda não haviam sido completamente dissipados pela rede de drenagem.

Quadro 4: Máximos históricos de precipitação (mm) registados nos períodos de 1, 6 e 24 horas em estações meteorológicas do Algarve. (Adaptado de: www.ipma.pt/)

Local	1 hora	Data	6 horas	Data	24 horas	Data
Faro (desde 1961)	67,8	1989/10/13	113,7	1989/10/13	157,9	1989/10/13
	57,7	1989/10/17				
Portimão (1997)	33,9	2007/12/19	98,5	2003/11/24	121,4	2003/11/24
Sagres (1980)	54,2	1988/11/23	131,6	1988/11/23	175,4	1988/11/23

Quadro 5: Dados de Precipitação da estação meteorológica de Faro (Aeroporto) do IPMA.

Data/hora	Precipitação* (mm)
2015-11-01 05h	3,6
2015-11-01 06h	9,4
2015-11-01 07h	18,8
2015-11-01 08h	4,6
2015-11-01 09h	4
2015-11-01 10h	14,1
2015-11-01 11h	11,9
2015-11-01 12h	19,9
2015-11-01 13h	2,7
2015-11-01 14h	11,4
Total	100,4

* Valor acumulado para cada hora.

Note-se, que em 2009, a quando das obras de requalificação da EN 395 e da Ribeira de Albufeira, procedeu-se à artificialização de um troço com cerca de 1000 m da ribeira (sendo

o limite jusante definido pela Avenida dos Descobrimentos). Os estudos hidrológicos da altura, concluíram que a capacidade hidráulica ficaria reduzida com a esta intervenção, agravando significativamente o risco de cheia. Tendo em vista minorar essa redução da capacidade de encaixe, estabeleceu-se para o efeito a construção de 3 bacias de retenção.

No entanto, nenhuma destas 3 estruturas foi até ao presente executada, o que terá contribuído para o agravar o episódio de cheia de 1 de novembro.



Figura 7: Inundação da Praça dos Pescadores a 01/11/2015, Albufeira.



Figura 8: Cheia de 01/11/2015 na Avenida 25 de Abril, Albufeira.



Figura 9: Troço de estrada da Avenida da Liberdade destruído pela enxurrada de 01/11/2015, Albufeira.



Figura 10: Baixa de Albufeira inundada a 01/11/2015.

Quadro 6: Alguns registos históricos de cheias no Algarve. (Adaptado de: APA, não publicado)

Concelho	Data	Causa	Fonte	Observações
Albufeira	01/11/2015	Fluvial	C.Social	Parque de campismo afetado. Zona da baixa completamente inundada. Graves prejuízos materiais em edifícios, estradas, espaços públicos e viaturas.
	27/09/2008	Pluvial	ARH	
	15/01/1956	Fluvial		1 morto
	30/11/1949	Fluvial	ARH	Zonas afetadas: Rua Cândido Reis, Avenida 25 de Abril e Praça dos Pescadores; Pelo menos 1 habitação; Pelo menos 10 espaços comerciais; Infraestruturas rodoviárias; Pelo menos 1 zona agrícola afetada.
	23/12/1948	Fluvial	C.Social	Inundação da zona da baixa. Destruição de embarcações e de casas.
	25/10/1948	Fluvial	C.Social	
Aljezur	14/02/2010	Fluvial	C.Social	Corte de estradas
	26/10/1997	Fluvial	ARH	Zonas afetadas: Rua do Rio e Rua do Rossio com pelo menos 4 habitações inundadas
Castro Marim	01/12/2000	Fluvial	ARH	Afetação da linha ferroviária do Algarve ao km 389 transbordo da linha de água que aí atravessa o caminho-de-ferro.
	26/10/1997	Fluvial	ARH	Afetação da linha ferroviária do Algarve ao km 389 transbordo da linha de água que aí atravessa o caminho-de-ferro.
Faro	18/05/2011	Pluvial	ARH	
	03/03/2010	Marítima	C. Social	A ponte de acesso à Praia de Faro foi encerrada (duas vezes) e várias habitações estiveram em risco.
	29/12/2009	Pluvial	C. Social	O aeroporto de Faro inundou.
	outubro e dezembro de 1989	Fluvial	ARH	(Vários eventos de precipitação intensa). Foram afetadas zonas agrícolas. A linha ferroviária do Algarve foi afetada entre os km 343 e 344, por transbordo das ribeiras das Lavadeiras e Rio Seco, tendo ocorrido a interrupção da via-férrea.
Lagos	25/12/2010	Fluvial	ARH	Transbordo da Ribeira de Bensafrim e Ribeira de Almadena.
	06/11/2006	Fluvial	ARH	Transbordo da Ribeira de Bensafrim. Necessidade de resgate aéreo de 5 residentes. EN 125 interrompida.
Loulé	08/11/2012		C.social	Em Quarteira a água atingiu mais de meio metro de altura nalguns pontos das ruas e inundou por completo lojas e caves.
	27/09/2008	Pluvial	C.Social	Quarteira, Inundação da zona baixa.
Monchique	26/10/1997	Fluvial	ARH	Zonas afetadas: Várias instalações agrícolas; Infraestruturas rodoviárias
Olhão	03/03/2010	Marítima	C.Social	Afetação da ilha da Fuseta, destruição de 38 casas e afetação do único restaurante.
	27/09/2008	Pluvial		12 famílias afetadas.
	01/01/1995	Fluvial	ARH	Foi afetado o Sítio de Belmonte de Baixo, com pelo menos 2 habitações inundadas; Zonas agrícolas.
	outubro e dezembro de 1989	Fluvial	ARH	(Vários eventos de precipitação intensa) Zonas afetadas: Sítio de Belmonte de Baixo, com pelo menos 2 habitações inundadas e zonas agrícolas.

Quadro 7: Alguns registos históricos de cheias no Algarve (continuação). (Adaptado de: APA, não publicado)

Concelho	Data	Causa	Fonte	Observações
Portimão	03/03/2010	Marítima	ARH	As ondas taparam quase por completo os molhes da praia e danificaram três apoios de praia. No rio Arade a água galgou os muros da marina sem causar danos nas lojas.
	19/12/2007	Fluvial	ARH	Foi afetada a Baixa de Portimão.
Silves	01/04/2014	Fluvial	ARH	Transbordo da Ribeira do Enxerim
	06/11/2006	Fluvial	C. Social	Cerca de 2,2 milhões de € de prejuízos em estradas e pontes. 18 pontes danificadas e várias estradas destruídas.
	20-22/01/1985	Fluvial	C. Social	Inundação da baixa de Silves. Corte da EN 124.
Tavira	03/03/2010	Marítima	C.Social	A Baixa de Tavira foi inundada.
	04/01/2010	Fluvial	C.Social	Cortada ao trânsito a Estrada Nacional 397, que liga a Ponte de São Domingos a Tavira.
	03/12/1989	Fluvial	DGRN	Algarve é zona de calamidade pública. Inundações em Tavira.

3.6 RISCO DE CHEIA

As cheias são um fenómeno hidrológico que não é possível evitar, e que podem ser potencialmente perigosas, dependendo da magnitude atingida (altura da água, caudais), da velocidade com que progridem e da frequência com que ocorrem. Contudo, só provocam situações de risco se houver elementos a elas expostos (população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades económicas), ou seja, localizados em áreas inundáveis, que possam ser destruídos ou gravemente danificados (Ramos, 2013).

O risco de cheia corresponde, de acordo com o Decreto-Lei n.º 115/2010, que transpõe para a ordem jurídica interna a diretiva 2007/60/CE, à combinação da probabilidade de ocorrência de cheias e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas, sendo as suas consequências prejudiciais avaliadas através da identificação do número e tipo de atividades afetadas.

Assim, o risco de cheia de determinada zona pode ser caracterizado por (APA, 2014):

$$\text{Risco} = f(\text{Perigosidade} \times \text{Consequência}) \quad (1)$$

A perigosidade caracteriza a probabilidade de um determinado evento de cheia com uma determinada magnitude associada (em função do período de retorno) se fazer sentir numa dada zona. A consequência decorre da identificação e classificação dos potenciais danos para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas devidos aos eventos da cheia, sendo por sua vez uma função da exposição e da vulnerabilidade.

APA (2014) define a perigosidade em função de características hidrodinâmicas:

$$P = d(v + 0,5) \quad (2)$$

Onde:

d – profundidade (m)

v – velocidade de escoamento (ms^{-1})

A perigosidade foi posteriormente classificada em cinco classes, conforme exposto no Quadro 8.

Quadro 8: Perigosidade em função de características hidrodinâmicas. (Adaptado de. APA, 2014)

P = d (v + 0,5)	Perigosidade	Descrição do Risco (Considerando apenas a população)
< 0,75	Inexistente	–
0,75 – 1,25	Baixa	Cautela
1,25 – 2,50	Média	Perigo para alguns
2,5 – 7	Alta	Perigo para a maior parte das pessoas
>7	Muito Alta	Perigo para toda a população

Se alguma coisa pode ser dita com segurança sobre as cheias no futuro é que elas continuarão a ocorrer com magnitudes variáveis, por vezes, catastróficas. Isto pode parecer um lugar-comum, mas não se torna sequer necessário agitar o espectro das alterações climáticas para qualquer sensibilização; esta “fatalidade” decorre da análise estatística dos tempos de recorrência de cheias do passado, e é válida, principalmente, se admitidos como invariantes os processos envolvidos na génese das cheias (Rodrigues *et al.*, 2003). A falsa percepção de menor risco que advém da menor frequência com que as cheias medianas ocorrem, conjugada com a pressão e atração da ocupação das margens, faz com que se aumentem exponencialmente os prejuízos nas situações de ocorrência de cheia.

Todavia, este cenário futuro poderá ter contornos mais otimistas, caso a opção por soluções baseadas na integração e renaturalização dos leitos de cheia, principalmente para as cheias de maior frequência, se torne predominante. Tal implicará a desocupação de habitações e de serviços onde isso se justifique. Na Áustria, no seguimento das cheias do verão de 2002, foi decidido relocalizar entre 100 a 160 famílias, retirando-as permanentemente das áreas de cheia. A adoção deste tipo de opção requer coragem política e concertação com as seguradoras e particulares, mas segundo Rodrigues *et al.* (2003) é indiscutivelmente a abordagem mais integrada dentro do ordenamento do território.

3.6.1 MEDIDAS DE CONTROLO

Em áreas urbanizadas já consolidadas, onde alterações profundas das suas características não são viáveis, a solução a adotar será a de promover o armazenamento temporário das águas afluentes em locais previamente definidos para tal, criando ao nível do solo e aproveitando sempre que possível áreas em depressão, reservatórios ou bacias de retenção de águas pluviais.

A tendência natural da urbanização e, conseqüentemente, da expansão da rede de drenagem urbana, é a de ocorrer no sentido de jusante para montante, dadas as características do relevo e as práticas habituais de implantação urbana. Na generalidade dos casos, quando um loteamento é definido, os serviços técnico-municipais costumam exigir apenas que o sistema de drenagem pluvial seja eficiente no sentido de escoar a água que se precipita no próprio loteamento. A combinação do impacto de diferentes loteamentos e ocupações produz, muitas vezes, o aumento da frequência de cheias a jusante. Esse processo ocorre por sobrecarga da drenagem secundária (coletores) sobre a drenagem primária (cursos de água) que drena as áreas urbanas. Desse modo, se a capacidade de drenagem das linhas de água a jusante não é ampliada, a ocorrência das cheias aumentará, acarretando perdas sociais e económicas. As áreas mais afetadas devido à construção de novas habitações a montante são, normalmente, as áreas mais antigas localizadas a jusante.

Contrariamente à tendência atual que se verifica ainda em Portugal, a drenagem urbana deverá ser planeada de forma sustentável, pondo de parte o conceito até aqui adotado de “escoar a água precipitada o mais rápido possível”. Nesse sentido, os Planos de Gestão de Risco de Inundação (ver 3.7) têm por objetivo a redução das potenciais conseqüências prejudiciais das cheias, através de medidas infraestruturais e não infraestruturais, com a ênfase colocada nas segundas, pois existe a consciência de que as primeiras têm sempre impactos ambientais negativos.

Existem alguns procedimentos gerais que poderão ser adotados em sede de planeamento para evitar ou mitigar a ocorrência de cheias, nomeadamente:

- Intercalar zonas verdes no meio de zonas pavimentadas;
- Utilizar pavimentos porosos (e.g., blocos de betão furados);
- Utilizar câmaras e valas drenantes;
- Utilizar bacias de retenção;
- Utilizar depósitos domiciliários nas coberturas ou caves (e.g., uso posterior para combate a incêndios, irrigação);
- Reduzir, se possível, a extensão dos coletores, aumentando o percurso nas cabeceiras;
- Utilizar coberturas verdes.

3.7 INSTRUMENTOS DE PLANEAMENTO, GESTÃO E REGULAÇÃO

O Plano Nacional da Água (PNA) é o instrumento responsável pela definição da estratégia nacional para a gestão integrada da água. Estabelecendo as grandes opções da política nacional da água e os princípios e as regras de orientação dessa política, a aplicar pelos Planos de Gestão de Regiões Hidrográficas (PGRH) e por outros instrumentos de planeamento dos recursos hídricos.

Os objetivos estratégicos da política de gestão da água são proteger o ambiente aquático contra os danos causados pelas emissões poluentes, restaurar o funcionamento dos sistemas naturais e combater a perda de biodiversidade. Ao mesmo tempo, procura assegurar o fornecimento de água de qualidade para as populações e para as atividades económicas, protegendo-as dos fenómenos hidrológicos extremos, *i.e.*, de cheias e secas.

A Lei da Água (Lei n.º 58/2005) estabelece, em sede de medidas de proteção contra cheias e inundações, a obrigação de nos instrumentos de planeamento dos recursos hídricos e de gestão territorial serem demarcadas as zonas inundáveis ou ameaçadas pelas cheias — incluindo-se, nestas últimas, as zonas ameaçadas pelo mar —, as quais devem ainda ser classificadas nos termos da Lei nº 54/2005 (da titularidade dos recursos hídricos), ficando sujeitas às restrições prevista nesta Lei. Neste enquadramento, e por forma a garantir a eficácia das medidas de redução dos riscos de inundações previstas no Decreto-Lei n.º 115/2010 “devem as mesmas ser, tanto quanto possível, coordenadas à escala das bacias hidrográficas, e devidamente articuladas com os regimes legais em vigor, considerando os vários tipos de fenómenos de inundações”. “Encontrando-se atualmente em curso a revisão dos PGRHs, e tendo em vista a compatibilidade e concertação dos trabalhos a realizar, determina-se que a avaliação do risco de cheia a elaborar no âmbito destes planos deve, desde já, respeitar os critérios e objetivos do presente Decreto-Lei”. Adicionalmente, o referido diploma estabelece ainda que os Planos de Gestão de Risco de Inundação (PGRI) devem ter em conta aspetos relevantes como os objetivos ambientais estabelecidos no artigo 45.º da Lei da Água, e que os PGRI são, nos termos dos artigos 16.º e 17.º desse mesmo diploma, planos de recursos hídricos que promovem o planeamento das águas, constituindo planos específicos de gestão das mesmas. As orientações são no sentido de manter e justificar as soluções e medidas que a Diretiva de Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações e o Decreto-Lei n.º 115/2010, indicam como *win-win*, ou seja, soluções vistas como positivas tanto em sede de Planos de Gestão da Rede Hidrográfica como em Planos de Gestão de Risco de Inundação.

Os PGRI consideram medidas que envolvem a gestão natural de caudais com restauro de meios fluviais e requalificação dos sistemas naturais, o que contribui de forma positiva para o objetivo de “proteger e restaurar os ecossistemas naturais, por forma a garantir a conservação do capital natural e assegurar a provisão dos serviços dos ecossistemas aquáticos” e, conseqüentemente, para o de garantir o bom estado das massas de água.

Os trabalhos de elaboração dos PGRI desenvolvem-se em 4 fases: (i) identificação das zonas de risco potencial; (ii) identificação do dano ambiental e períodos de retorno das inundações; (iii) elaboração dos planos de gestão dos riscos de inundações, coordenados a nível da Região Hidrográfica e (iv) implementação das medidas e avaliação da sua eficácia.

Os PGRI devem ter em conta as características próprias das zonas a que se referem e prever soluções específicas para cada caso, bem como o disposto nos planos de emergência de proteção civil. Para tal, devem articular-se, integrar e salvaguardar diversos regimes de condicionantes, como o caso da Reserva Ecológica, e outros instrumentos de planeamento e gestão, nomeadamente, e de forma incontornável, os PGRH, de forma a manter uma coerência entre os diferentes instrumentos de planeamento.

Atualmente, encontram-se em desenvolvimento os PGRI para o território continental e para a Região Autónoma dos Açores e Região Autónoma da Madeira. No âmbito dos trabalhos em curso foram já elaboradas cartas de zonas inundáveis para áreas de risco e cartas de risco de inundações para algumas das áreas de risco, considerando diferentes tempos de retorno (20, 100 e 1000 anos). Foram identificadas 22 zonas no continente (5 das quais no Algarve, ver Figura 11), 5 zonas na Região Autónoma dos Açores e 27 zonas na Região Autónoma da Madeira (APA, 2014). A seleção das zonas a mapear foi efetuada tendo em consideração os estudos de base da década anterior à Diretiva 2007/60/CE, bem como a compilação da informação sobre a ocorrência de inundações e suas conseqüências,

recolhida por diferentes organismos. Nas áreas estudadas, foi possível identificar a extensão da zona alagada, a sua profundidade bem como a velocidade de escoamento. Esta delimitação recorreu a modelos hidrológicos e hidráulicos unidimensionais e bidimensionais, com validação no terreno. A cartografia de risco foi produzida considerando, para cada magnitude do fenómeno, a sua perigosidade e os elementos expostos, tendo sido determinados cinco níveis de risco: inexistente, baixo, médio, alto e muito alto.



Figura 11: Zonas identificadas na região hidrográfica 8 com riscos potenciais significativos de cheia. (Adaptado de: APA, 2014)

À escala local, existe a obrigatoriedade estabelecida pelo Decreto-Lei n.º 364/98, quanto à necessidade de elaborar a “carta de zonas inundáveis” no interior dos perímetros urbanos dos municípios onde se verificaram cheias, no mínimo, desde a década de 1960. Estas áreas sujeitas a risco de inundação, demarcadas a escala adequada, devem ser consideradas nos Planos Municipais de Ordenamento do Território (Plano Diretor Municipal, Plano de Urbanização e Plano de Pormenor), permitindo repor esta condicionante na definição do uso do solo, assegurando uma gestão de prevenção mais eficaz e formas de atuação em casos de emergência.

A nível municipal, refira-se o exemplo do Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação do Município de Coimbra (Regulamento n.º 255/2012), que exige que o pedido de licenciamento na fase de projeto de arquitetura ou a comunicação prévia de operações urbanísticas abrangendo área igual ou superior a 1 ha, integrem estudo hidrológico e/ou hidráulico, elaborado de acordo com o princípio do “impacte zero”. Entende-se por “impacte zero”, a não alteração das condições pré-existentes em termos de drenagem de água. O mesmo regulamento refere ainda que todos os prédios que venham a aumentar o grau de impermeabilização dos terrenos onde se implantam devem ser equipadas com dispositivos que atenuem o caudal de águas pluviais de modo a garantir “impacte zero” no sistema de drenagem pluvial.

3.7.1 LEGISLAÇÃO NACIONAL

Com o objetivo de enquadrar em termos legislativos a gestão da água, em particular no que respeita à questão das cheias, elaborou-se uma pequena resenha que se apresenta de seguida, dando a conhecer os aspetos fulcrais dos principais diplomas que regulam esta temática.

Lei n.º 54/2005 de 15 de novembro na sua atual redação

A Lei n.º 54/2005, que estabelece a titularidade dos recursos hídricos, entendendo-se por tal as águas e os respetivos leitos e margens, zonas adjacentes, zonas de infiltração máxima e zonas protegidas, define a forma como as zonas ameaçadas pelas cheias são classificadas e as consequências dessa classificação na proibição ou condicionamento de áreas edificadas.

Lei nº 58/2005 de 29 de dezembro na sua atual redação

A Lei nº 58/2005 (Lei da Água) (transposição da Diretiva nº 2000/60/CE – Diretiva Quadro da Água) estabelece o enquadramento para a gestão das águas superficiais, designadamente as águas interiores, de transição e costeiras, e das águas subterrâneas. Define, entre outros objetivos: Mitigar os efeitos das inundações e das secas.

Decreto-Lei n.º 364/98 de 21 de novembro na sua atual redação

O Decreto-Lei n.º 364/98 determina a obrigação dos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias num período de tempo que, pelo menos, incluisse o ano de 1967 e que ainda não se encontrassem abrangidos por zonas adjacentes, elaborarem cartas de zonas inundáveis abrangendo os perímetros urbanos, visando a adoção de restrições à edificação face ao risco de cheia. Porém, presentemente, a figura da zona adjacente, ainda encontra pouco uso no território, estando por delimitar e regulamentar a maioria destas potenciais zonas.

Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de agosto na sua atual redação

A Reserva Ecológica Nacional (REN), criada pelo Decreto-Lei n.º 321/83, cujo regime foi aprofundado pelo Decreto-Lei n.º 93/90, e posteriormente revisto pelo Decreto-Lei n.º 166/2008, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 239/2012, determina que as zonas ameaçadas pelas cheias, não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos, são áreas de prevenção de riscos naturais, integradas na REN. Nestas áreas, são interditas as operações de loteamento, obras de urbanização, construção e ampliação, vias de comunicação, escavações e aterros e a destruição do revestimento vegetal.

Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de outubro na sua atual redação

O Decreto-Lei n.º 115/2010 (transposição da Diretiva n.º 2007/60/CE – Diretiva de Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações) estabelece um quadro para a avaliação e gestão dos

riscos de inundações com o objetivo de reduzir as consequências associadas às inundações prejudiciais para a saúde humana, incluindo perdas humanas, o ambiente, o património cultural, as infraestruturas e as atividades económicas.

A fim de evitar e reduzir os impactos negativos das inundações nas zonas em causa, as Administrações das Regiões Hidrográficas devem elaborar planos de gestão dos riscos de inundações (PGRI), centrados na prevenção, proteção, preparação e previsão destes fenómenos, em estreita articulação com os planos de gestão das bacias hidrográficas. Os PGRI devem ter em conta as características próprias das zonas a que se referem e prever soluções específicas para cada caso, bem como o disposto nos planos de emergência de proteção civil.

Os planos de gestão dos riscos de inundações podem também incluir a promoção de práticas de utilização sustentável do solo, a melhoria da retenção da água e a inundação controlada de determinadas zonas em caso de cheia.

As tarefas associadas à implementação da Diretiva de Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações incluem ainda:

- Efetuar a avaliação preliminar de riscos de inundações;
- Propor as zonas de riscos potenciais significativos de inundações;
- Elaborar as cartas de zonas inundáveis para áreas de risco e as cartas de risco de inundações.

4 METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO

A metodologia de análise estabelecida nesta dissertação permite estruturar o estudo e caracterização de bacias de retenção, aplicando-a ao Algarve. A Figura 12 identifica a sequência e principais etapas da metodologia de caracterização a seguir descrita.

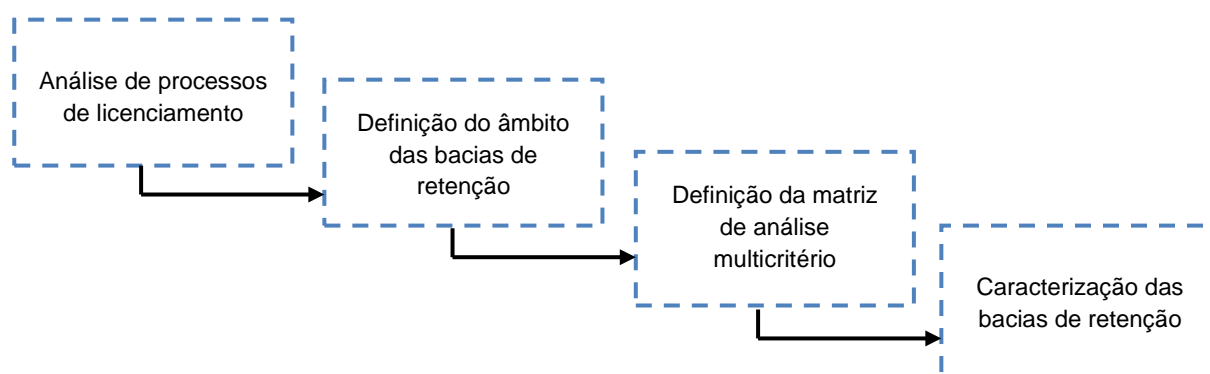


Figura 12: Fluxograma de caracterização de bacias de retenção.

O ponto de partida desta metodologia consistiu na análise dos processos de licenciamento existentes na Agência Portuguesa do Ambiente – Administração da Região Hidrográfica do Algarve (APA - ARH Algarve). Foi necessário conhecer e descrever a figura do título de utilização de recursos hídricos (TURH), e perceber que tipo de título se atribuiria às bacias de retenção. No caso da APA - ARH Algarve, constatou-se que o licenciamento não permitia identificar imediatamente as situações que envolviam a construção de bacias, uma vez que não existe uma figura de licenciamento específica para estas. Assim sendo, a análise inicial teve necessariamente de recair sobre um número muito mais vasto de processos, envolvendo todos eles intervenções nos recursos hídricos. A existência do TURH, como procedimento administrativo, é essencial, pois é por intermédio desta figura que se poderão impor, por exemplo, medidas de mitigação quanto aos efeitos da impermeabilização do solo advindos da implantação de loteamentos urbanos.

A metodologia prossegue com a caracterização do que são bacias de retenção, especificando o âmbito daquelas que serão alvo de análise, para o caso, todas aquelas que têm como propósito a gestão do escoamento de origem pluvial, reduzindo os valores de ponta causados pelas alterações nas condições de ocupação das bacias de drenagem, e evitando a degradação do meio recetor de jusante. A descrição dos vários tipos de bacias de retenção existentes, as suas multifuncionalidades e aplicações, os processos construtivos e materiais envolvidos, assim como as metodologias de dimensionamento, permitem depois a definição de uma matriz multicritério que transmita o essencial da informação de projeto e obra destas estruturas. Os campos eleitos para serem incluídos na matriz de análise foram: Localização; Descrição da obra que desencadeou o projeto da

bacia de retenção; Metodologia de dimensionamento; Descrição da bacia de retenção; Observações (que inclui sempre a fase de execução em que a bacia se encontrava). Este último campo permite discriminar informação relevante que não seja passível de padronização.

Chegando a esta fase, está-se em condições de iniciar a caracterização das bacias de retenção, além da aplicação da matriz multicritério definida anteriormente, é feito o enquadramento da bacia de retenção face à rede hidrográfica e localização relativamente à obra que implicou a necessidade de projeto da estrutura de retenção. Este enquadramento é feito recorrendo a ortofotomapas, fotografias aéreas e peças desenhadas do projeto. Sempre que a construção tenha efetivamente ocorrido, a descrição inclui fotografias da obra acabada, e idealmente, em diferentes fases de execução da mesma.

5 CLASSIFICAÇÃO, ENQUADRAMENTO LEGAL E CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS DE RETENÇÃO

5.1 BACIAS DE RETENÇÃO

Uma alternativa ao reforço dos coletores existentes em pleno tecido urbano, será a criação a jusante dos novos loteamentos, de bacias de retenção de águas pluviais, permitindo descarregar aí caudais que ultrapassem a capacidade de vazão da rede existente.

Uma bacia de retenção é uma estrutura hidráulica cujo objetivo principal é reduzir o valor de ponta do caudal máximo e retardar o escoamento (volume) durante um período de tempo especificado (em geral curto). Regulariza-se dessa forma o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o valor do caudal efluente com limites previamente fixados. O dispositivo de descarga da bacia não permite, em situações de forte pluviosidade, o escoamento da totalidade dos caudais afluentes. Com o tempo a cheia dissipa-se, e o caudal que sai da bacia passa a ser superior ao que entra, diminuindo o nível de água na mesma até que se atinja a situação de equilíbrio.

A dimensão destas bacias pode, na maioria dos casos, ser ampliada para acompanhar os efeitos decorrentes da impermeabilização crescente a montante da bacia de drenagem. Outras vezes, essa ampliação é justificada, tendo em vista reduzir os riscos associados à ocorrência de regolfos indesejáveis. A possibilidade de se fasearem os investimentos, de acordo com as necessidades construtivas e disponibilidades financeiras, torna este tipo de solução frequentemente atraente (Chocat, 1997).

Independentemente das considerações de ordem funcional e económica, as bacias de retenção podem ter interesses múltiplos, do ponto de vista social, estético e de proteção do meio ambiente. Quando bem concebidas e exploradas podem contribuir para a valorização do tecido urbano, concorrendo para a obtenção dos seguintes objetivos (Park *et al.*, 2012; Ravazanni *et al.*, 2014):

- Redução dos riscos de inundação;
- Criação de zonas de lazer apropriadas, e.g., para a prática de pesca e canoagem;
- Criação de reservas de água para fazer face a necessidades agrícolas e de espaços verdes, ocorrência de incêndios e atividades industriais e municipais, como limpeza de arruamentos e parques;
- Proteção do meio ambiente, aumentando a qualidade da água pluvial, nomeadamente do ponto de vista de redução da concentração de sólidos em suspensão e de matéria orgânica.

Quando situadas abaixo do nível do solo, podem estar subjacentes a áreas públicas, como parques de estacionamento, campos de jogos ou zonas ajardinadas (ver 5.1.1.2 Figura 17 e Figura 18). Nesse caso, implicam no entanto, muitas vezes, o recurso a sistemas de bombagem para esvaziamento da bacia após o período de chuvada.

Originalmente, as bacias de retenção eram usadas apenas para controlar o escoamento e a quantidade de água afluente. Atualmente, contribuem também, em maior ou menor grau, para a despoluição das águas pluviais. Em meio urbano, estas apresentam-se

contaminadas por metais pesados, hidrocarbonetos, sólidos em suspensão e matéria orgânica, sendo que as bacias de retenção com volume de água permanente melhoram a qualidade das águas pluviais, através de transformações de natureza física, química e microbiológica que ocorrem no seu interior, podendo assumir especial importância as seguintes (Chocat, 1997; UDFCD, 2010):

- Sedimentação dos sólidos em suspensão e conseqüente redução do grau de turvação da água;
- Variação da concentração de oxigénio dissolvido da massa líquida, devido aos efeitos conjugados da transferência de oxigénio da atmosfera, atividade fotossintética das espécies vegetais e consumo verificado no processo de oxidação, em condições aeróbias, da matéria orgânica existente;
- Variação da concentração de nutrientes; em águas em repouso e sem alimentação constante verifica-se, em regra, uma redução da concentração de nutrientes, especialmente se se retirarem, com frequência, as plantas que aí proliferam;
- Redução de microrganismos, nomeadamente bactérias patogénicas; o armazenamento de água ao ar livre contribui, em regra, para a redução de microrganismos devido à conjugação de um conjunto de circunstâncias (como a temperatura, a radiação solar, a competição biológica e a sedimentação) desfavoráveis ao seu desenvolvimento e multiplicação.

5.1.1 CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES

A ocupação urbana do solo, associada ao inadequado ordenamento do território e planeamento de sistemas de drenagem, conduz, em geral e à luz dos critérios de projeto tradicionais, a um aumento de caudal devido à maior impermeabilização, produzindo, como conseqüência, um aumento na frequência e na magnitude das inundações e das cheias. Este facto tem-se efetivamente verificado na maioria das zonas urbanas. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 13 um esboço dos hidrogramas correspondentes a uma bacia hidrográfica hipotética: o hidrograma antes da implantação de uma urbanização, após a urbanização e após a implementação de medidas corretivas conducentes à redução das cheias.

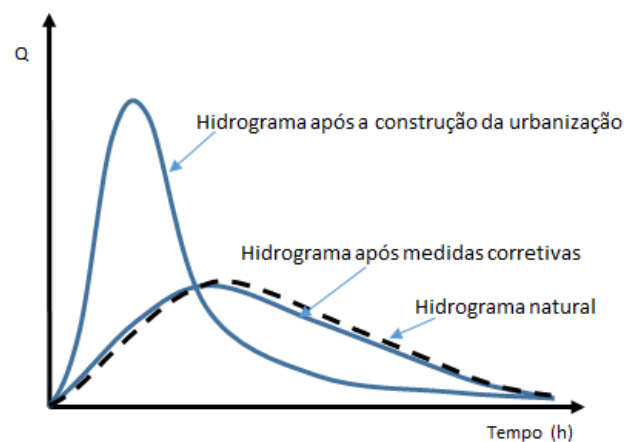


Figura 13: Hidrogramas: Natural; Após construção da urbanização; Após medidas corretivas. (Adaptado de: Mata-Lima *et al.*, 2013)

A impermeabilização do terreno impede que a água pluvial se infiltre no solo, verificando-se um aumento no volume escoado e no caudal de ponta de cheia, devido a uma maior velocidade de escoamento superficial, o que se traduz numa resposta mais rápida das bacias urbanas (Mata-Lima *et al.*, 2013). A urbanização do leito maior dos cursos de água (Figura 14) prejudica igualmente o desempenho hidráulico destes, uma vez que em situação de escoamentos associados a episódios de cheia, deixa de existir a folga que permite a expansão da secção de vazão para lá do que é o seu valor ordinário. A percentagem de áreas impermeáveis numa bacia urbana varia, em regra, entre 10% e 100%, sendo 10% a 30% em locais de baixa densidade residencial, entre 30% e 60% em zonas de densidade residencial elevada e entre 80% e 100%, em zonas centrais e comerciais de aglomerados urbanos (EPA & ASCE, 2005).

Quanto mais impermeabilizadas se apresentarem as bacias, maior será a velocidade de escoamento, e menor será o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento na secção final. Esta diminuição do tempo de concentração leva a que chuvadas mais curtas e estatisticamente suscetíveis de originar uma maior intensidade de precipitação induzam, por sua vez, um aumento do caudal afluente aos órgãos de drenagem ou às linhas de água. Note-se que, sendo menor o tempo de concentração da bacia, resultarão simultaneamente dois efeitos negativos nas redes de drenagem (EPA & ASCE, 2005):

- Caudais mais fortes por corresponderem a chuvadas de menor duração;
- Maior concentração de caudais pela sua mais rápida afluência causada pela elevada velocidade do escoamento.



Figura 14: Diferentes leitos de um curso de água. (Adaptado de: Coque, 1987)

A urbanização do leito de cheia agrava o fenómeno da cheia, quer pela impermeabilização do terreno quer pela diminuição da secção disponível para o escoamento de caudais. Contudo, a ocupação do solo a montante da zona urbana, em toda a área da bacia hidrográfica, pode ser determinante. De facto, o sistema de drenagem urbana que transfere os escoamentos para secções mais afastadas, sem qualquer preocupação com a retenção de volumes escoados e dos caudais majorados por essas zonas, pode transferir problemas para outras áreas urbanas localizadas a jusante. Um sistema de drenagem deve drenar as águas sem produzir impactos negativos no local de implementação do sistema e nas zonas

urbanas a jusante. Não deve igualmente eliminar ecossistemas aquáticos existentes, nem promover processos erosivos nas margens das linhas de água (de Lima *et al.*, 2013).

Com vista à redução dos caudais e ao controlo da qualidade das águas pluviais, deve privilegiar-se a integração de áreas permeáveis nas áreas impermeáveis, através de soluções de descontinuidade. Os objetivos, de acordo com Mata-Lima *et al.* (2013) serão:

- (i) Aumentar o volume de água pluvial infiltrada;
- (ii) Aumentar o volume de água pluvial interceptada nas árvores e arbustos;
- (iii) Aumentar o volume de água pluvial retida nas depressões do solo;
- (iv) Promover o armazenamento temporário da água pluvial em locais pré-selecionados.

A inclusão de bacias de retenção, em projetos de drenagem, tem a vantagem de permitir, devido a sua multifuncionalidade, reduzir o valor de ponta do escoamento, evitando perturbações a jusante (e.g., inundações e degradação de terrenos e habitações), reduzir a carga contaminante do escoamento, controlar a erosão, criar espaços recreativos e de lazer, recarregar aquíferos, entre outras (WSDOEWP, 1999).

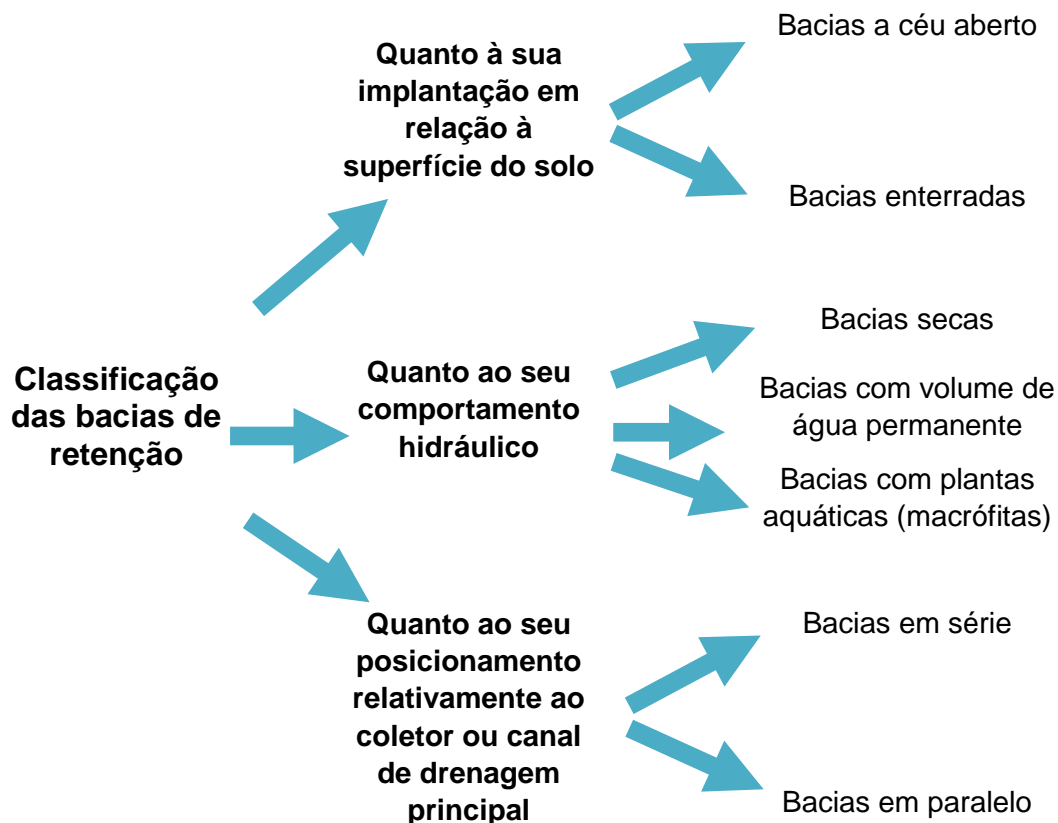


Figura 15: Classificação das bacias de retenção quanto à sua implantação em relação à superfície do solo, comportamento hidráulico e posicionamento em relação à drenagem principal.

Não obstante a multifuncionalidade das bacias de retenção (secas ou com volume de água permanente), neste trabalho, a atenção recairá apenas naquelas destinadas a:

- i. Gerir o escoamento, reduzindo o caudal de ponta causado pelas alterações (e.g., impermeabilização) nas condições de ocupação da bacia de drenagem;
- ii. Evitar a degradação (e.g., inundações ou erosão) do meio recetor de jusante.

5.1.1.1 Bacias a Céu Aberto

O que as distingue as bacias a céu aberto das enterradas é o facto de nas primeiras todo o espaço destinado à retenção de águas pluviais se encontrar visível, sendo apenas delimitado lateralmente por taludes. Nas do segundo tipo, este espaço é fechado superiormente, daí que não seja visível o local de retenção, sendo o acesso a esta zona efetuado através de dispositivos de fecho (Águas de Coimbra, 2014b). Do ponto de vista económico e de exploração, é mais adequada a utilização de sistemas a céu aberto, pelo que a sua utilização deve ser privilegiada em relação aos sistemas totalmente enterrados. Só em casos em que as soluções a céu aberto sejam manifestamente inadequadas se deverão utilizar sistemas enterrados (Águas de Coimbra, 2014a).

De acordo com Decreto Regulamentar n.º 23/95, artigo 180º, para o caso de bacias a céu aberto, exceto em casos devidamente justificados, devem ser satisfeitos os seguintes aspetos construtivos:

- 1) *Nas bacias de detenção, a inclinação do fundo não deve ser inferior a 1/20 para impedir a formação de zonas alagadas e as inclinações dos taludes das bermas não podem exceder 1/6 ou 1/2 V/H, consoante sejam ou não transitáveis¹;*
- 2) *Nas bacias de retenção é aconselhável existir, em tempo seco, uma lâmina líquida permanente de altura não inferior a 1,5 m a fim, de evitar o desenvolvimento excessivo de plantas aquáticas e possibilitar a vida piscícola (que é importante para a estabilidade do equilíbrio ecológico no ecossistema formado pela bacia);*
- 3) *Estando a bacia de retenção integrada em zona urbana, deve prever-se uma variação do nível de água de cerca de 0,5 m para a precipitação do período de retorno escolhido e assegurar-se o tratamento conveniente das bermas, considerando, nomeadamente:*
 - a) *Taludes relvados com inclinação não superior a 1/6;*
 - b) *Parâmetros verticais de 0,75 m de altura, ao longo dos quais se verificam as variações de nível da água;*
 - c) *Bermas de 2,0 m a 4,0 m de largura, no coroamento dos parâmetros verticais, por razões de segurança.*

Estas bacias são geralmente construídas em terra, com taludes reforçados ou diques de proteção lateral. Podem resultar da simples interceção de uma linha de água em local de fisiografia favorável, através de uma pequena barragem ou açude, ou de zonas em depressão natural com solos de características adequadas. Estão frequentemente ligadas a preocupações de integração paisagística e de valorização de áreas de lazer e tempos livres. Podem ser em série ou em paralelo. Este tipo de bacia constitui um elemento marcante na paisagem, sobretudo quando inseridas em meio urbano. A sua integração, dependendo das características físicas, em espaços de lazer ou infraestruturas de valorização do ambiente, pode apresentar-se muito difícil. Casos há em que as bacias transformam-se em elementos

¹ Nos casos de bacias extensas, ou de melhor adaptação à topografia do local, poderá a inclinação do fundo ir até ao mínimo de 1/100 (Águas de Coimbra, 2014a).

perturbadores do meio, sendo necessário prever estratégias que permitam a fluidez e continuidade do equilíbrio do tecido urbano.

5.1.1.2 Bacias Enterradas

As bacias enterradas são geralmente construídas em betão armado à semelhança de reservatórios de água. Mas também podem ser construídas, por exemplo, com base em blocos de polímero sintético (Figura 16). São especialmente indicadas em zonas urbanas densas, com limitações de disponibilidade de terreno, ou onde o custo deste for elevado. Podem ser construídas junto a áreas públicas, como parques de estacionamento ou zonas ajardinadas. São, em geral, bacias construídas em paralelo (Matos, 1999).

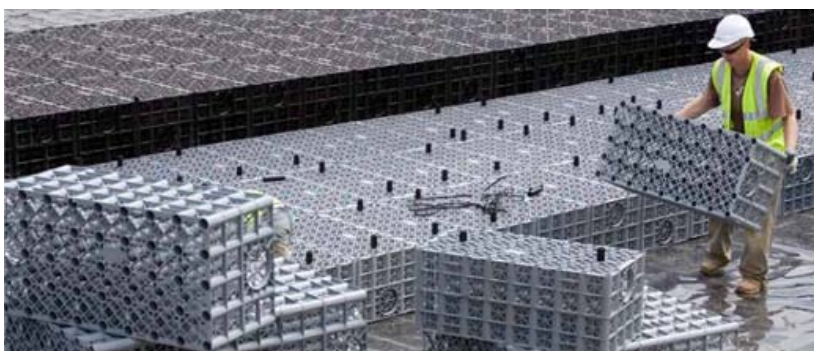


Figura 16: Bacia de retenção enterrada construída com blocos de polímero sintético. (Retirado de: <http://www.polypipe.com>)



Figura 17: Campo desportivo sobrejacente a uma bacia de retenção enterrada – Almancil, Faro.



Figura 18: Caminho de circulação pedonal e automóvel e respetiva margem ajardinada, sobrejacentes a uma bacia de retenção enterrada – Almancil, Faro.

5.1.1.3 Bacias com Volume de Água Permanente

As bacias com volume de água permanente são concebidas para terem água independentemente da ocorrência ou ausência de precipitação. Em regra, a escolha deste tipo de solução acarreta maiores investimentos e custos de exploração do que os correspondentes às bacias a seco, estando por vezes condicionada à alimentação de água por parte de um aquífero subjacente.

A opção pelo tipo de bacia de retenção depende fundamentalmente das características de permeabilidade do solo onde se pretende “*a priori*” a sua instalação, e das variações do nível freático local, para além de razões de segurança e/ou sanitárias. Sempre que não se pretenda mobilizar a infiltração, deverão o fundo e as paredes laterais ser protegidos por uma geomembrana (Águas de Coimbra, 2014a).

As bacias de retenção com volume de água permanente têm a vantagem de permitir uma deposição adicional e um tratamento biológico nos intervalos entre os eventos de precipitação. Contudo, nessa situação, o volume permanente de água deve ter uma profundidade determinada pelas condições locais, pelo tipo de solo utilizado e pelos requisitos ambientais como, por exemplo, a necessidade de assegurar uma profundidade que não suscite o desenvolvimento de condições anaeróbias (CGSD, 2000). Para este tipo de bacia é necessário realizar um estudo do balanço entre as afluências (escoamento pluvial afluente, alimentação do lençol freático) e efluências do escoamento (evaporação, infiltração, escoamento para jusante) de forma a garantir a existência de um nível de água satisfatório, sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo. O perfil tipo destas bacias encontra-se representado na Figura 19.

Na implantação de uma bacia com volume de água permanente, é necessário assegurar que a cota de fundo se situa em formação permeável e em condições hidrogeológicas tais, que o nível freático do aquífero, em tempo seco, atinja uma cota superior à cota de fundo da bacia, assegurando assim uma alimentação permanente ou, alternativamente, dispor de um fundo impermeável, do tipo natural ou artificial. Este tipo de bacias não deverá ser concebido sem se tomarem as devidas precauções, nomeadamente prevendo-se

dispositivos eficazes de proteção e, eventualmente, meios artificiais de arejamento ou mesmo alimentação em períodos secos (Bergue & Rupert, 2000).

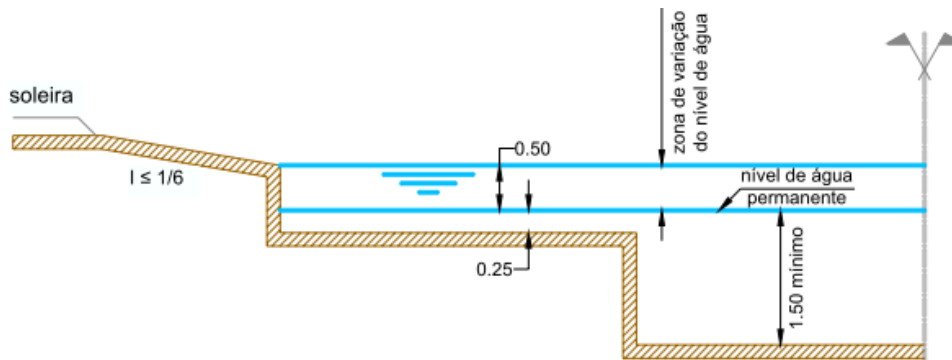


Figura 19: Perfil tipo de uma bacia com volume de água permanente. (Adaptado de: Matias, 2006)

5.1.1.4 Bacias Secas

Alguns autores utilizam a designação bacia de detenção para as bacias de retenção secas, ou seja, para aquelas que são projetadas para que se encontrem completamente vazias, depois de decorrido um determinado período de tempo após o fim da chuvada de projeto. Reservando o termo bacia de retenção, somente para aquelas com volume de água permanente. Neste trabalho, optou-se por utilizar indiscriminadamente a designação bacia de retenção para ambos os casos.

As bacias secas são as mais utilizadas, dado que em regra implicam menores investimentos e menores custos de exploração. Por vezes, constitui uma prática acertada implantar no corpo da bacia um pequeno canal revestido (Figura 20), para o escoamento dos caudais permanentes ou decorrentes de precipitação ocorrida no período estival, impedindo a formação de zonas de água estagnada. Na ocorrência de eventos de precipitação intensa, o escoamento extravasa os limites do canal inundando a restante bacia.



Figura 20: Bacia de retenção com canal revestido para escoamento de pequenos caudais (Faro).

Na implantação de uma bacia seca, é condicionante que o nível máximo atingido pela recarga dos aquíferos em períodos de precipitação fique abaixo da cota do fundo da bacia. Se este nível for atingido pelas águas, a capacidade de encaixe da bacia sofrerá uma

redução, além de que corre-se o risco da criação de zonas pantanosas com os inconvenientes que estas acarretam. Paralelamente, cria-se a necessidade de estimar os riscos da eventual degradação da qualidade daqueles aquíferos, originada por efeitos de poluição accidental. Neste caso torna-se necessário tomar as respetivas medidas de modo assegurar a sua qualidade e proteção (Bergue & Ruperd, 2000).

Para além das funções de armazenamento das águas pluviais as bacias secas, cujo perfil tipo está representado na Figura 21, podem ter outras funções, tais como áreas de jogos e práticas desportivas, parques de lazer e espaços verdes, que podem ser desfrutadas na altura em que a bacia está seca.

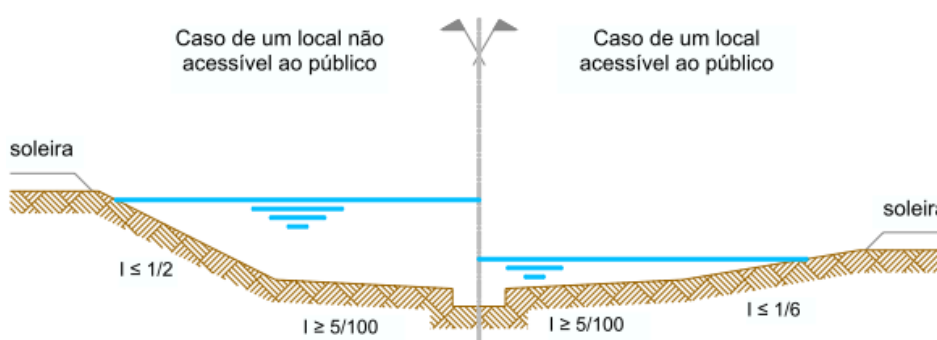


Figura 21: Perfil tipo de uma bacia seca. (Adaptado de: Matias, 2006)

Um caso particular de bacias secas são as designadas bacias de infiltração, cuja efluência ocorre, como o próprio nome indica, por infiltração através do fundo, das bermas ou dos taludes laterais da bacia. A implantação deste tipo específico de bacias é aconselhável em situações onde não exista meio recetor ou a sua capacidade for muito reduzida, e quando os solos apresentem grande permeabilidade. Na presença de aquíferos com potencialidades de exploração, ou em zonas de captação de água para consumo humano cuja qualidade deve ser preservada, é desaconselhável o uso deste tipo de bacias de forma a evitar a contaminação da mesma.

5.1.1.5 Bacias com Plantas Aquáticas (Macrófitas)

O uso de plantas aquáticas, para o caso, macrófitas, em bacias de retenção, permite que o tratamento das águas pluviais se faça como consequência natural da alimentação das plantas. Além disso, facilitam um amortecimento considerável do caudal. As águas pluviais retidas na bacia são absorvidas pelas raízes das macrófitas, que funcionam também como obstáculos ao escoamento da água, aumentando o tempo de permanência da água na bacia e permitindo uma maior evapotranspiração. Este facto é ampliado devido à geometria e funcionamento destas bacias, que são pensadas para que a água desde que entra na bacia até sair, tenha que percorrer um trajeto sinuoso. A manutenção das bacias de retenção com macrófitas é relativamente simples: uma limpeza adequada da bacia e atenção ao desenvolvimento da vegetação por pessoal especializado é suficiente para que esta tenha um bom desempenho (Dias, 2003). No entanto, a área necessária para este tipo de bacias armazenar um determinado volume, é superior ao de outras em que não está presente

vegetação. Existem diferentes tipos de bacias de retenção com macrófitas, de acordo com o tipo de espécies presente nas mesmas (Dias, 2003).

5.1.1.6 Bacias em Série e em Paralelo

Em função da sua posição relativamente à linha de água, as bacias de retenção podem ser classificadas como em série ou linha (*online*), ou em paralelo ou lateral (*offline*).

No caso das bacias em série, todo o caudal proveniente de montante afluí à bacia. No caso das bacias em paralelo, só se regista afluência de escoamento quando o valor do caudal ultrapassa determinado limiar considerado excedente. Na Figura 22 e na Figura 23, estão representados os hidrogramas de escoamento associados a uma e outra situação.

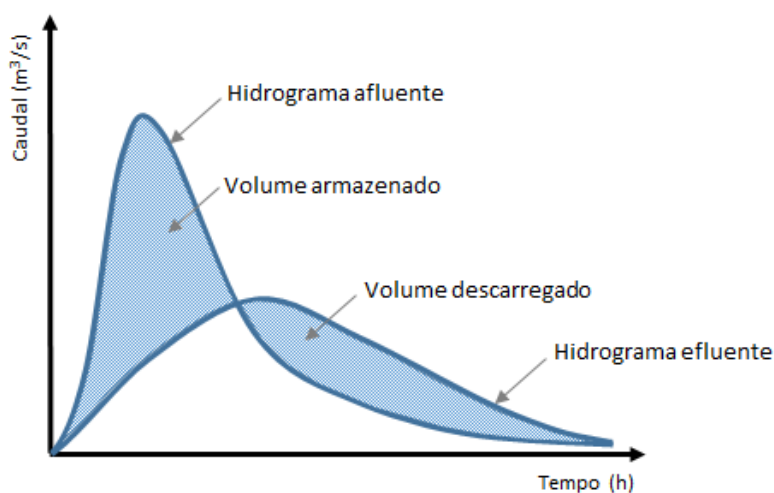


Figura 22: Hidrograma do escoamento afluente e efluente de uma bacia em série. (Adaptado de: JAE, 1998)

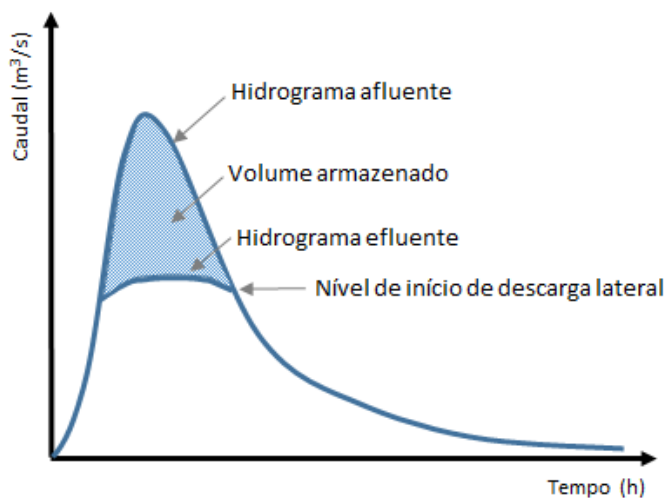


Figura 23: Hidrograma do escoamento afluente e efluente de uma bacia em paralelo. (Adaptado de: JAE, 1998)

5.1.1.7 Bacias com Controlo Dinâmico

Outra categoria de bacias de retenção a considerar, e que não está contemplada na Figura 15, são as bacias com controlo dinâmico. Estas são dotadas de mecanismos de controlo (comportas) que lhes permitem reduzir o impacto sobre os ecossistemas aquáticos. Ao serem equipadas com comportas, possibilitam que se prolongue ao máximo o tempo de retenção de modo a reduzir tanto quanto possível o caudal de ponta no meio recetor. Ao estender o tempo de permanência da água, potencia-se também a sedimentação de partículas, eventualmente poluentes. O desafio consiste em ajustar as comportas para que se intensifiquem os benefícios apontados, sem que ocorra o galgamento da estrutura assim que se dê a próxima chuvada (Muschalla *et al.*, 2014).

5.1.2 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS DAS BACIAS DE RETENÇÃO

5.1.2.1 Disposições Gerais

De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, artigo 178º, os elementos constituintes das bacias de retenção a céu aberto são:

- a) *Corpo, que inclui fundo e bermas e resulta do aproveitamento possível das condições topográficas locais;*
- b) *Dispositivos de funcionamento normal destinados a assegurar a regularização do caudal efluente e a manutenção de um nível mínimo a montante, no caso de bacias de água permanente;*
- c) *Dispositivos de segurança, descarregadores de superfície e eventualmente diques fusíveis, destinados a garantir o esgotamento das águas em condições excecionais;*
- d) *Descarga de fundo, com o objetivo de assegurar o esvaziamento da bacia de retenção em operações de limpeza e manutenção, podendo também funcionar como sistema de segurança.*

A Figura 24 e a Figura 25 representam a planta e corte tipo de uma bacia de retenção.

5.1.2.2 Implantação

As bacias localizadas em zonas urbanas situam-se num meio rígido e artificial, provocado pela presença de edificações e infraestruturas. Existem assim, outros fatores relevantes inerentes ao espaço da localização da bacia, como a presença e circulação de peões, a interação de diferentes utilizações (habitação, serviços e por vezes indústrias) e os custos do terreno. Todos estes fatores determinam o local assim como as condições a adotar na implantação da bacia em meio urbano.

A implantação das bacias de retenção em zonas urbanas apresenta, de um modo geral, as seguintes dificuldades (Mano, 2008):

- Necessidade de espaço, que normalmente escasseia em cidades já consolidadas, este fator é agravado pelo facto deste tipo de infraestrutura ocupar áreas consideráveis;
- Custo do terreno e especulação imobiliária;
- Exigência de manutenção mais frequente na cidade (dispositivos de limpeza);

- Tipos de vegetação;
- Dispositivos de vedação e segurança.

Grande parte destas dificuldades é anulada quando antes do processo de urbanização, se planeia uma bacia de retenção imediatamente a jusante da zona a edificar. É importante que as bacias sejam sempre objeto de estudo arquitetónico e paisagístico, de forma a encontrar as melhores soluções de enquadramento. Tomando o caso das bacias secas, estas são facilmente consideradas pelos cidadãos como zonas mortas, se não existir o cuidado de contextualizar devidamente o terreno, dotando-o por exemplo, de uma qualquer utilização secundária (e.g., campo de jogos).

A escolha do local de implantação da bacia de retenção deve basear-se nas condições geomorfológicas naturais do local, de modo a evitar grandes perturbações no meio (e.g., movimentações de terra, impermeabilização) e reduzir custos económicos. A decisão quanto ao volume da bacia de retenção resultará sempre do compromisso entre a sua viabilidade económica e capacidade de resposta (hidráulica). Quando não for possível recorrer a bacias a céu aberto, fundamentalmente, por indisponibilidade de terreno em áreas urbanas densamente ocupadas, ou onde o seu custo for elevado, deverá recorrer-se a bacias enterradas.

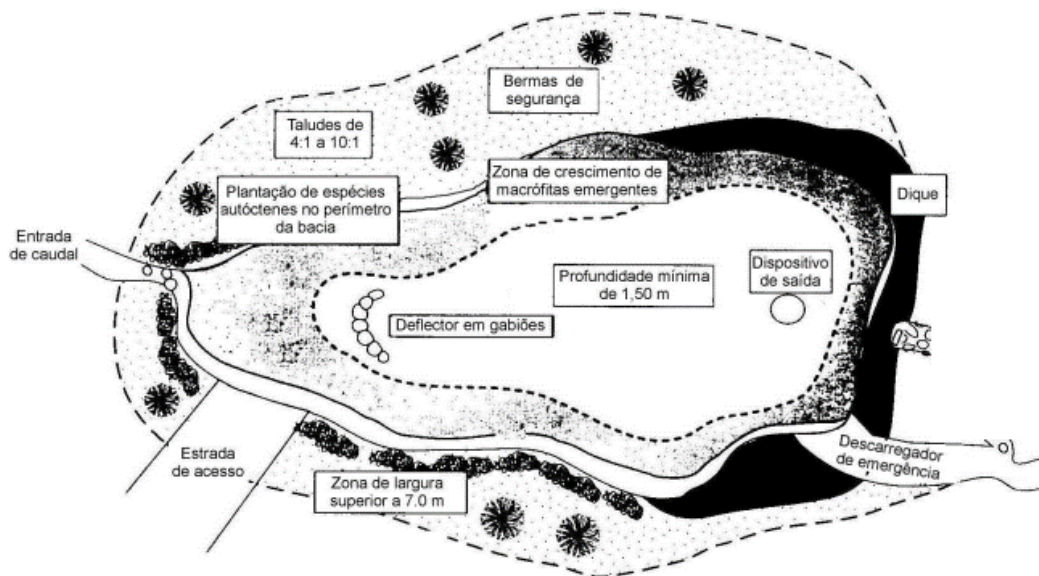


Figura 24: Planta tipo de uma bacia de retenção. (Retirado de: IST, 2011)

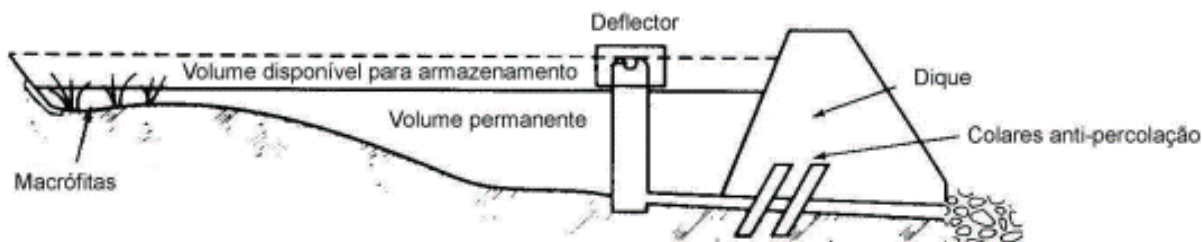


Figura 25: Corte tipo de uma bacia de retenção. (Retirado de: IST, 2011)

5.1.3 PROJETO DE BACIAS DE RETENÇÃO

5.1.3.1 Fases de Projeto de uma Bacia de Retenção

O dimensionamento e a implantação de uma bacia de retenção requer conhecimento da topografia, rede hidrográfica, clima (regime de precipitação), tipo do solo, tipo de ocupação da bacia de drenagem, sistema de drenagem existente e condições do meio recetor a jusante (e.g., capacidade do sistema de drenagem, tipo de ocupação do espaço) (Mata-Lima *et al.*, 2006a).

O projeto de uma bacia de retenção desenrola-se ao longo de várias fases, culminando na definição da forma e secção desta. A sequência e descrição resumida das diferentes etapas encontra-se representada na Figura 26.

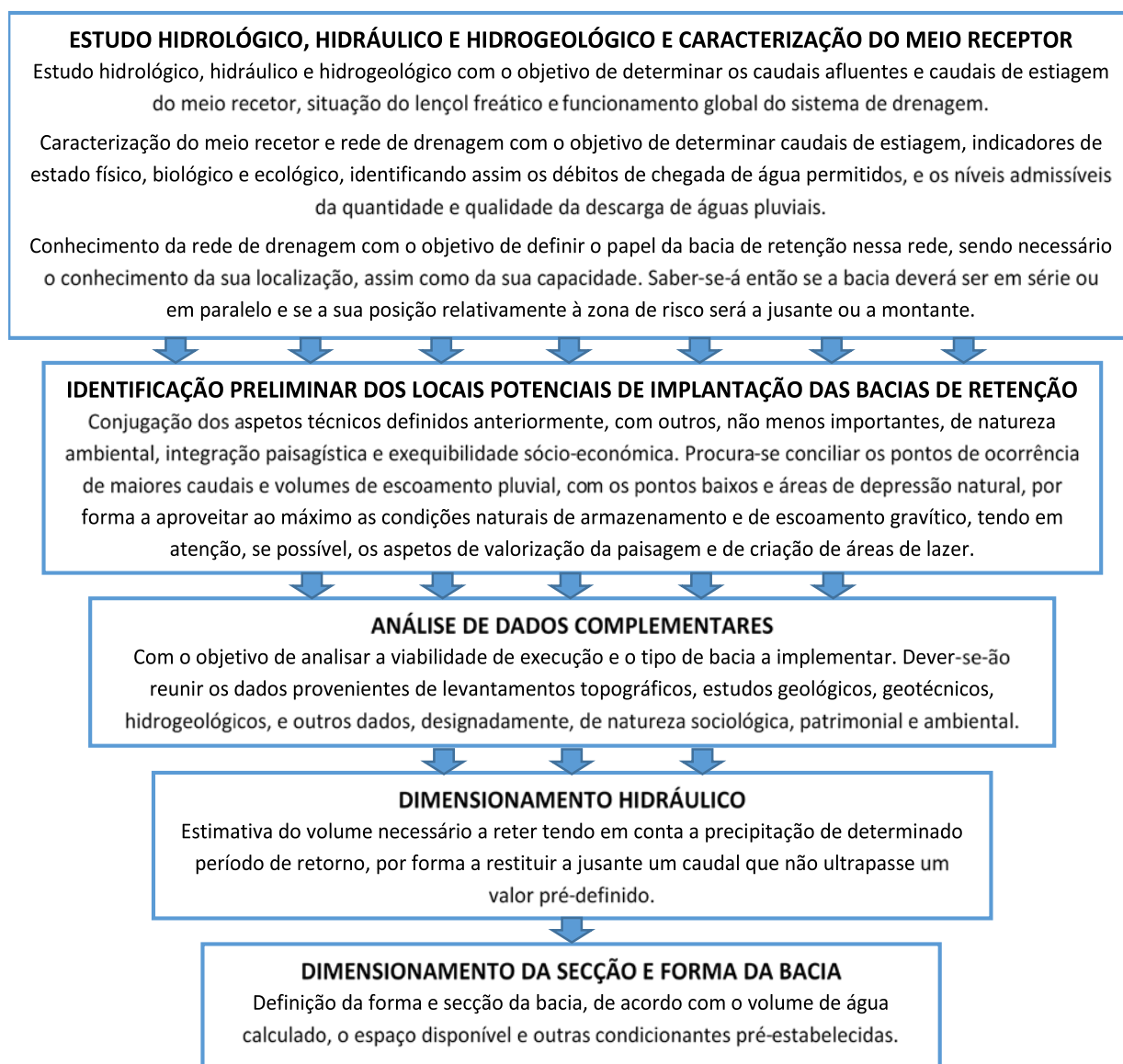


Figura 26: Fases de projeto de uma bacia de retenção. (Adaptado de Bergue & Ruperd, 2000)

5.1.3.2 Cálculo dos Caudais de Projeto

Para dimensionamento hidráulico dos diversos órgãos de drenagem, nomeadamente, as passagens hidráulicas sob vias de comunicação e bacias de retenção, é necessário determinar os caudais máximos suscetíveis de serem atingidos. Estes caudais, designados por caudais de projeto, podem ser calculados recorrendo a métodos simplificados ou a métodos mais elaborados, baseados em formulações mais ou menos complexas.

Segundo Pilgrim & Cordery (1993), no caso de bacias hidrográficas com áreas na ordem dos 25 km² ou inferiores, poderá aplicar-se o Método Racional com resultados satisfatórios ainda que se trate de um método simplificado com naturais limitações. Para bacias de dimensão superior será necessário considerar outros fatores, nomeadamente, a variação da intensidade das chuvadas. Nestes casos poderão adotar-se métodos de cálculo dos hidrogramas de cheia baseados na teoria do hidrograma unitário. Salienta-se, de entre os existentes, o método do *Soil Conservation Service* (SCS), por ser uma metodologia completa e consistente para o cálculo de hidrogramas de cheia em bacias das quais não se possui registos hidrométricos suficientes (Hawkins *et al.*, 2009).

A percentagem de água precipitada que se transforma em escoamento, será tanto maior quanto menor for a infiltração de água no solo. Consequentemente, o caudal afluente à secção final da bacia hidrográfica crescerá com a impermeabilização progressiva do terreno. O tempo de escoamento que cada partícula demora, desde o seu ponto de impacto no solo até a secção final da bacia, depende diretamente da extensão do percurso que essa partícula de água necessita percorrer e, inversamente, da velocidade de escoamento. Esta, por sua vez, depende entre outros fatores, como sejam a inclinação e o tipo de coberto vegetal da superfície (caso exista), a densidade da rede de drenagem.

Quanto mais impermeabilizadas se apresentarem as bacias, maior velocidade terá o escoamento, e menor será o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento na secção final. A diminuição do tempo de concentração potencia os efeitos da intensidade de precipitação, que por sua vez, induzem um aumento do caudal afluente à secção de referência (PH, coletor ou linha de água).

5.1.3.3 Período de Retorno

No cálculo de caudais de ponta de cheia a escolha do período de retorno requer um exame aprofundado das consequências para pessoas e bens no caso deste ser excedido. O período de retorno a selecionar é condicionado pelo custo da obra, devendo ser encarado em termos económicos, como uma solução de compromisso entre o custo necessário para assegurar um determinado nível de segurança (incluindo pessoas, bens e a própria infraestrutura), e a aceitação dos prejuízos e danos que podem resultar do facto desse nível ser ultrapassado. A Figura 27 ilustra a determinação do período de retorno ótimo (mínimo da curva dos custos totais), em função de critérios económicos e de risco.

A apreciação dos critérios económicos tem de ser avaliada caso a caso, mas na generalidade das situações, esta abordagem não se revela prática. Por um lado, porque exige um grande volume de informação (e.g., uso do solo, topografia, hidrologia e hidráulica), que na maior parte dos casos é difícil de obter e cujo rigor é muitas vezes questionável. Por outra, a avaliação económica de custos de «prejuízos médios», tem pouco significado face a outros custos, nomeadamente, sociais e ambientais (Mano, 2008).

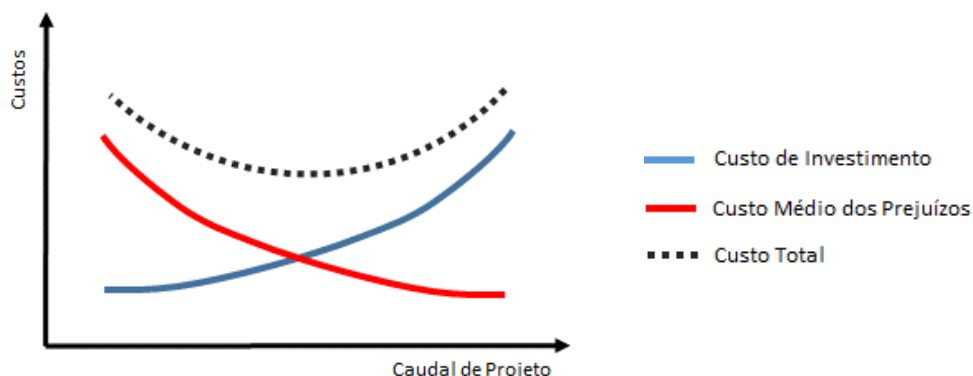


Figura 27: Período de retorno ótimo em função do custo de investimento e dos prejuízos. (Adaptado de: JAE, 1998)

5.1.4 METODOLOGIAS PARA DIMENSIONAMENTO

5.1.4.1 Pré-dimensionamento

O dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste, fundamentalmente, na definição do volume necessário à regularização do caudal afluente, para que o caudal máximo efluente não ultrapasse, para um determinado período de retorno, um limite pré-estabelecido. A esse volume corresponde, obviamente, uma área inundada e uma determinada carga hidráulica sobre a bacia, que são definidas no processo de dimensionamento.

A natureza do problema a resolver, o grau de precisão requerido e a informação de que se dispõe condicionam o método de cálculo a utilizar. Se não se dispuser de um modelo de escoamento que permita gerar o hidrograma de entrada ou hidrograma de escoamento afluente à bacia, poderá recorrer-se a um método simplificado (vulgarmente designado por método holandês) (Matos, 1999). Este método baseia-se no conhecimento das curvas de intensidade-duração-frequência da precipitação na zona em estudo. Permite calcular o volume necessário para armazenar o caudal afluente resultante da precipitação crítica, de determinado período de retorno, para garantir um caudal constante, correspondente à capacidade máxima de vazão da estrutura de drenagem a jusante. É um método expedito, particularmente adequado à fase de pré-dimensionamento da bacia de retenção, sendo referido, nomeadamente, no Decreto Regulamentar n.º 23/95. No ponto 0, é ilustrada a fórmula de cálculo deste método. A Figura 28 ilustra o volume requerido para a bacia de acordo com a duração da precipitação. Este método define uma duração crítica de armazenamento (t_M), que corresponde à duração da precipitação que conduz a uma maior necessidade de armazenamento.

Em última análise, a decisão do volume da bacia de retenção resultará sempre do compromisso entre a viabilidade económica e a sua capacidade de resposta (hidráulica).

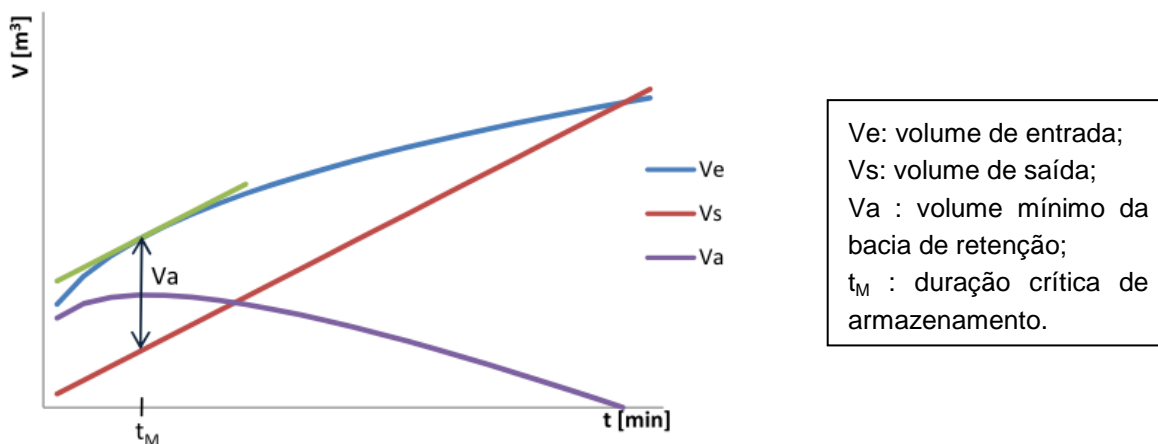


Figura 28: Evolução do volume armazenado na bacia de retenção em função da duração da precipitação de acordo como o método holandês. (Adaptado de: JAE, 1998)

5.1.4.2 Dimensionamento – Método de Puls (*Level Pool Routing*)

Existem vários métodos, baseados na equação da continuidade, que podem ser usados para a definição do volume da bacia de retenção. Neste trabalho, expõe-se, como exemplo, o método de *Level Pool Routing*, também designado por método de Puls (Chow *et al.*, 1988).

A aplicação deste método pressupõe que já se definiu o local de implantação da bacia, bem como as suas características fisiográficas. O método baseia-se na resolução numérica da conservação da massa, aplicada à bacia de retenção. Permite resolver as situações mais complexas, nomeadamente, de não constância do caudal efluente. Para o método de Puls ser utilizado, é necessária informação relativa ao hidrograma de escoamento de entrada ou afluente, à lei de armazenamento (relação altura-volume armazenado) e à lei de descarga do caudal efluente (relação altura-caudal), podendo ser expresso da seguinte forma:

$$\frac{\partial V(t)}{\partial t} = I(t) - O(t) \tag{3}$$

onde:

$V(t)$ é o volume de armazenamento;

$I(t)$ é o hidrograma de entrada (*inflow hydrograph*);

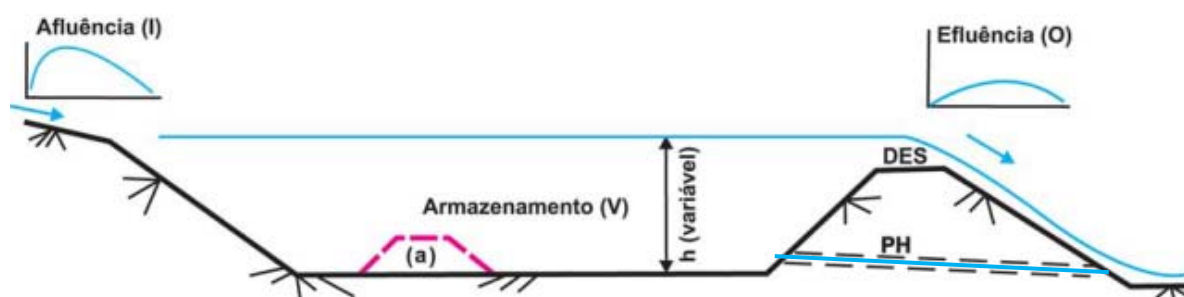
$O(t)$ é o hidrograma de saída (*outflow hydrograph*). O hidrograma de saída é obtido através da lei de vazão do dispositivo de descarga.

A equação é resolvida através de um esquema de diferenças finitas, que pode, por exemplo, assumir a seguinte forma:

$$\frac{2V_{i+1}}{\Delta t} + O_{i+1} = I_i + I_{i+1} + \frac{2V_i}{\Delta t} - O_i \quad (4)$$

O objetivo é estudar a relação entre O e $\frac{2V}{\Delta t} + O_i$ que por sua vez permite obter o hidrograma de saída da bacia de retenção. O valor de Δt , na equação (4), deve ser pequeno (e.g., $\Delta t = \frac{t_{pi}}{\alpha}$ com $2 \leq \alpha \leq 5$), de modo a garantir-se a convergência da solução numérica. A aplicação deste método implica que o projetista já definiu a forma da bacia de retenção (e.g., trapezoidal), de modo a aplicar a fórmula correspondente, bem como o dispositivo de descarga (para poder aplicar a respetiva lei de vazão).

Deve ter-se em atenção que quando se opta por colocar apenas um dispositivo de descarga, este deve ser dimensionado para o período de retorno de 100 anos. Por outro lado, quando a descarga é composta por um tubo inferior e um descarregador de superfície (e.g., para funcionar em situações extremas), a combinação desses dois dispositivos deve possuir capacidade para dar vazão às aflúências correspondentes a acontecimentos com período de retorno de 100 anos - podendo o dispositivo de descarga inferior ser dimensionado para um período de retorno muito inferior (e.g., 10 a 20 anos) (Mata-Lima *et al.*, 2006b).



(a) - barreira transversal para limitar a deposição de sedimentos a uma área restrita (uso facultativo).

DES - Descarregador de soleira espessa.

PH - Passagem hidráulica (descarregador em orifício circular).

Figura 29: Exemplo ilustrativo da lógica de aplicação do Método de Puls (*Level Pool Routing*). (Adaptado de: Mata-Lima *et al.*, 2006b)

5.1.4.3 Métodos Expeditos

O dimensionamento de bacias de retenção exige o conhecimento da precipitação, do modo como essa precipitação se converte em escoamento, das relações áreas/volumes em função das cotas topográficas, das características dos solos, nomeadamente de sua permeabilidade, dos níveis freático dos solos, entre outros fatores (Águas de Coimbra, 2014a).

Em Portugal estão descritos critérios de dimensionamento mínimos no Decreto Regulamentar n.º 23/95, nomeadamente, no que se refere às curvas intensidade-duração-frequência e aos coeficientes de escoamento. O valor mínimo aceitável para o tempo de recorrência ou período de retorno para o cálculo do caudal máximo, estabelecido, por

exemplo, pelas Águas de Coimbra (2014a) é de 20 anos. Matos (1999) refere que usualmente o tempo de retorno utilizado situa-se entre os 10 e os 50 anos.

O dimensionamento requer o cálculo do hidrograma do escoamento da bacia de drenagem, para os períodos de pré- e do pós-desenvolvimento. Por essa razão, o caudal de escoamento deve ser obtido através de um método capaz de reproduzir o escoamento acumulado (volume) (FHWA, 1999 e VDOT, 2001). O método do *Soil Conservation Service* (SCS), é especialmente indicado para o dimensionamento de bacias de retenção, porque permite definir o hidrograma do escoamento. O Método Racional é particularmente indicado quando se pretende calcular o caudal de ponta instantâneo para o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana (Mata-Lima *et al.*, 2006a). Porém, o Método Racional Modificado (VDOT, 2001) pode ser utilizado para se obter o hidrograma do escoamento no processo de dimensionamento de bacias de retenção.

Existem vários métodos hidrológicos simplificados que permitem estimar o volume da bacia de retenção, de que são exemplos:

- i. Método de hidrograma triangular simplificado (FHWA, 1999; CGSD, 2000 e GDOE, 2001);
- ii. Método de regressão de Pagan (VDOT, 2001);
- iii. Método de regressão proposto por Wycoff & Singh (1976).

Após a aplicação da metodologia expedita, as condições de funcionamento da bacia de retenção são verificadas através de modelação numérica.

5.1.4.4 Dimensionamento em Portugal, o exemplo da empresa Águas de Coimbra

As Águas de Coimbra, por intermédio de uma Especificação Técnica de Trabalhos (Águas de Coimbra, 2014a), estabelecem regras mínimas para a execução de bacias de retenção.

Volume Mínimo

Na determinação do volume mínimo, esta especificação técnica faz uso da fórmula sugerida pelo artigo 179º do Decreto Regulamentar n.º 23/95:

$$V = 10 \left[-\frac{b \times q_s}{(1 + b)} \right] \times \left[-\frac{60 \times q_s}{a \times (1 + b)} \right]^{\frac{1}{b}} \times C \times A \quad (5)$$

$$q_s = \frac{6 \times q}{C \times A} \quad (6)$$

Onde:

$V(m^3)$ - volume de armazenamento;

q_s (mm/min) - caudal específico efluente, ou seja, o caudal por unidade de área ativa da bacia de drenagem;

$q(m^3/s)$ - caudal máximo efluente, ou seja, caudal máximo da situação de referência;

C - coeficiente de escoamento;

a, b - parâmetros da curva intensidade-duração-frequência;

A (ha) - área da bacia de drenagem.

Caudal de Saída

O caudal máximo efluente (q) deverá ser sempre função da capacidade de vazão do meio recetor e deverá ser calculado com base no período de retorno mínimo de 20 anos, para provocar um impacto nulo no meio recetor (Águas de Coimbra, 2014a).

Cálculo Hidráulico

O cálculo do diâmetro da saída (D) poderá ser calculado, na falta de outros elementos, com base na seguinte equação aplicada a orifícios:

$$Q = C_v \frac{\pi \times D^2}{4} \times \sqrt{2 \times g \times h} \quad (7)$$

Assim, fixado o caudal a descarregar, o volume e a geometria da bacia de retenção, tem-se a altura máxima h , pelo que admitindo um coeficiente de vazão (C_v) de 0,6 obtém-se o diâmetro da descarga (d) (este diâmetro deverá ser no mínimo de 100 mm) (Águas de Coimbra, 2014a):

$$d = \left(\frac{4 \times Q}{C_v \times \sqrt{2 \times g \times h}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

O descarregador de emergência dimensionado para o máximo caudal afluente poderá também ser dimensionado deste modo, no caso de ser um orifício, ou então como um descarregador de um qualquer outro tipo (e.g., soleira descarregadora).

A consideração de um caudal efluente constante, correspondente ao caudal máximo descarregado pelo dispositivo descarregador, conduz, em regra, a uma estimativa por defeito do volume de armazenamento da bacia a dimensionar. Efetivamente, o caudal descarregado pelo dispositivo evacuador depende da carga, atingindo-se apenas o caudal máximo de descarga em condições de carga máxima (Matos, 1999).

5.1.5 SOLUÇÕES TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

Os dois principais recursos necessários à construção de bacias de retenção são a mão-de-obra/equipamento e área de terreno disponível. A grande flexibilidade quanto ao dimensionamento e configuração das bacias ajuda muitas vezes a ultrapassar esta última dificuldade.

A presente descrição das soluções técnicas construtivas é feita partir daquelas que são as soluções adotadas nas diferentes bacias estudadas neste trabalho. Pode-se afirmar que no caso das bacias secas a céu aberto, os trabalhos principais consistem na modelação de terreno com mobilização de terras. Ao nível do leito da bacia surgem depois casos em que

não existe qualquer tipo de revestimento, ou então este é feito com tela PEAD e/ou calhau rolado. Podendo ainda ser alvo de implantação de um dreno para escoamento de caudais menores em betonilha armada ou calhau rolado.

Para os taludes, mais uma vez, há situações em que está presente apenas o terreno natural, mas também existem casos em que se aplicou como revestimento tela PEAD e manta geotêxtil.

A estrutura de retenção (dique) é o elemento que mais variações construtivas assume, podendo ser constituído por: aterro compactado (revestido ou não com pedra da região), pedra arrumada, betão armado ou gabiões.

Os descarregadores, nos casos em se assumem como de soleira espessa, podem ser construídos em: betão armado, aterro compactado revestido com pedra da região ou pedra arrumada. Nos descarregadores de orifício, verificaram-se situações em que utilizam manilhas de betão armado ou então tubagem em polipropileno (PPR).

Há ainda trabalhos complementares que podem envolver: a aplicação de betão ciclópico na zona de dissipação do descarregador, a utilização de betão armado na zona de aproximação à estrutura de retenção, ou a implantação de uma estrutura metálica (grade) associada ao descarregador para retenção de materiais sólidos grosseiros a montante deste.

Num dos casos estudados, existiu a necessidade de recorrer à construção de muros de suporte em betão armado para a implantação das bacias, o que implica além dos trabalhos de mobilização de terras, a execução e aplicação de armaduras, trabalhos de cofragem e aplicação de betão, assim como o emprego de enrocamento, membrana drenante, manta geotêxtil e tubagem para garantir a drenagem.

As bacias enterradas identificadas, recorrem para a sua construção, a módulos pré-fabricados em: fibra de vidro, betão armado (do tipo box culvert) ou polipropileno (sistema do tipo Wavin Q-BIC). Existindo também casos de bacias construídas em betão armado com base em sistemas porticados (pilar-viga). Neste caso, os trabalhos envolveram: escavação, colocação do betão de limpeza, aplicação de betonilha armada com rede electrosoldada, execução dos elementos estruturais verticais (muros de suporte e pilares - execução e aplicação das armaduras, colocação da cofragem, colocação do betão, cura, descofragem), execução das vigas e lajes (execução do sistema de escoramento e cofragem, colocação das armaduras, colocação do betão, cura, remoção faseada da cofragem, remoção faseada do escoramento).

5.1.6 MANUTENÇÃO

Segundo Nicholson *et al.* (2012) um estudo efetuado na Bélgica sobre bacias de retenção em paralelo concluiu que a sedimentação ocorrida por via do transporte de montante, reduzia significativamente a capacidade de armazenamento destas passadas apenas alguns anos, o que demonstra bem a necessidade de manutenção deste tipo de estruturas. A concentração de sedimentos nestes locais traz por outra o benefício de reduzir a futura deposição destes no restante sistema de drenagem (com todas as nefastas consequências que daí podem advir). No Quadro 9 está sumariado um esquema de manutenção tipo,

onde se referem as ações a levar a cabo e sua periodicidade, de forma a garantir o bom estado de funcionamento deste tipo de estruturas.

Quadro 9: Esquema de manutenção tipo. (Adaptado de: Setty, 2007)

Caracterização da inspeção	Frequência
Observação das condições de estabilidade do dique, vigor da vegetação plantada e aferição das condições de drenagem.	Após os 3 primeiros eventos de precipitação intensa depois da construção.
Observação de vegetação não desejada (invasora), detritos e lixo, colmatação de zonas de afluência e efluência, erosão excessiva, acumulação sedimentar na bacia e na zona de efluência, estado do descarregador de cheias, fissuração ou assentamento do dique, percolação, repasses, ressurgências, “ <i>piping</i> ”, sinais de galgamento, crescimento excessivo de algas, sinais de poluição, odores estranhos.	Duas vezes por ano e após eventos de precipitação intensa.
Observação do estado do curso de água a montante e jusante da bacia	Uma vez por ano.
Remover sedimentos da zona de efluência, recolher detritos acumulados, reparar partes erodidas.	Duas vezes por ano.
Remover vegetação do fundo da bacia de retenção seca, assegura a estabilidade dos taludes da bacia.	Uma vez por ano.
Remover sedimentos, caso: <ul style="list-style-type: none"> a) O volume de encaixe da bacia se tenha reduzido significativamente, ou seja, se a acumulação de sedimentos excede 25% da profundidade; b) Se observe ressuspensão de sedimentos; c) Se Verifiquem sinais de eutrofização. 	Cada 5 anos ou quando se verifique ser necessário.

Os custos de construção dependem muito da localização da bacia, isto é, da topografia, do solo, dos custos de mão-de-obra, entre outras considerações. De acordo com Setty (2007), o custo anual da manutenção de rotina (em particular, remoção de sedimentos e vegetação) foi estimado em 3-5% dos custos de construção. Normalmente, as bacias podem estar até mais de 20 anos sem sofrer custos significativos de reconstrução.

5.2 ANÁLISE DE PROCESSOS DE LICENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Na Lei n.º 58/2005 e no Decreto-Lei n.º 226-A/2007 estão identificados os tipos de utilização que, por terem um impacto significativo no estado das águas, carecem de um título que permita essa utilização. Esse título, em função das características e da dimensão da utilização, pode ter a natureza de “concessão”, “licença” ou “autorização”. É estabelecida ainda a figura de mera “comunicação”, para certas utilizações de expressão pouco relevante, a qual, no entanto, não tem a natureza de título de utilização.

A “concessão” e a “licença” são figuras que em Portugal já se aplicam à utilização dos recursos hídricos desde a publicação da primeira Lei da Água, em 1919, mantendo-se no regime atual para os recursos hídricos do domínio público. As “licenças” têm carácter temporário e definem os limites impostos aos usos autorizados, ao mesmo tempo que impõem obrigações de autocontrolo e reporte. Já as figuras da “autorização” e da “comunicação” são mais recentes, tendo sido introduzidas com o intuito da simplificação processual, aplicando-se a diversas utilizações dos recursos hídricos particulares.

A gestão da água deve observar os princípios gerais consignados na Lei de Bases do Ambiente, e todos aqueles que são enunciados no articulado da Lei n.º 58/2005, nomeadamente:

- O princípio do valor económico da água, por força do qual se consagra o reconhecimento da escassez atual ou potencial deste recurso, e a necessidade de garantir a sua utilização economicamente eficiente, com a recuperação dos custos dos serviços de águas, mesmo em termos ambientais e de recursos, e tendo por base os princípios do poluidor-pagador e do utilizador-pagador;
- O princípio da precaução, nos termos do qual, as medidas destinadas a evitarem o impacto negativo de uma ação sobre o ambiente devem ser adotadas, mesmo na ausência de certeza científica da existência de uma relação causa-efeito entre eles;
- O princípio da prevenção, por força do qual as ações com efeitos negativos no ambiente devem ser consideradas de forma antecipada por forma a eliminar as próprias causas de alteração do ambiente ou reduzir os seus impactos quando tal não seja possível.

Ao abrigo do princípio da precaução e da prevenção, as atividades que tenham um impacto significativo no estado das águas só podem ser desenvolvidas desde que ao abrigo de título de utilização, emitido nos termos e condições previstos na Lei n.º 58/2005 e no Decreto-Lei n.º 226-A/2007.

A existência do título de utilização dos recursos hídricos (TURH), como procedimento administrativo, é extremamente importante, pois é através da prática dos atos de autorização e de regulamentação prévia das utilizações, incluindo o controlo das emissões e as proibições, que muitas medidas adotadas nos instrumentos de planeamento gestão e regulação (e.g. planos de gestão de região hidrográfica) são implementadas (e.g. imposição de caudais ecológicos em albufeiras, limitação de captações em massas de água superficiais ou subterrâneas).

5.2.1 ATRIBUIÇÃO DOS TÍTULOS DE UTILIZAÇÃO

A atribuição dos títulos de utilização deve assegurar:

- A observância das normas e princípios da Lei n.º 58/2005 e das normas a aprovar, previstas no artigo 56º desse diploma legal;
- O respeito pelo disposto no plano de gestão de bacia hidrográfica aplicável;
- O respeito pelo disposto nos instrumentos de gestão territorial, nos planos específicos de gestão das águas e nos regulamentos previstos no artigo 27º da Lei n.º 58/2005;
- O cumprimento das normas de qualidade e das normas de descarga;
- A concessão de prevalência ao uso considerado prioritário nos termos da Lei n.º 58/2005, no caso de conflito de usos.

O título de utilização deve determinar que o utilizador se abstenha da prática de atos ou atividades que causem a degradação do estado das massas de águas e gerem outros impactes ambientais negativos, ou inviabilizem usos alternativos considerados prioritários.

A atribuição de um TURH depende do cumprimento do disposto da Lei n.º 58/2005, das disposições constantes no Decreto-Lei n.º 226-A/2007 e da demais legislação aplicável, bem como:

- Da inexistência de outros usos efetivos ou potenciais dos recursos hídricos, reconhecidos como prioritários e não compatíveis com o pedido;
- Da possibilidade de compatibilizar a utilização com direitos preexistentes;
- No caso de pesquisa de captação de águas subterrâneas, da observância dos requisitos aplicáveis à captação a que se destina;
- Da inexistência de pareceres vinculativos desfavoráveis das entidades consultadas no procedimento, bem como dos resultantes da fase de publicitação, quando à mesma haja lugar.

O pedido de emissão do TURH faz-se por intermédio da apresentação de um requerimento em suporte de papel ou, quando possível, em suporte informático e por meios eletrónicos. Os requerimentos devem ser acompanhados de declaração que ateste a autenticidade das informações prestadas.

Os pedidos de emissão do TURH são instruídos com os seguintes elementos:

- Identificação do requerente e a indicação do seu número de identificação fiscal;
- Identificação detalhada da utilização pretendida;
- A indicação exata do local pretendido, com recurso às coordenadas geográficas;
- Descrição detalhada da utilização, incluindo, no caso de pedido de emissão de licença ou de concessão, os elementos constantes do anexo I à Portaria 1450/2007, e que dela faz parte integrante, que sejam respetivamente aplicáveis à utilização em causa.

No prazo de 10 dias a contar da apresentação do requerimento inicial, a entidade competente verifica se o pedido se encontra instruído com a totalidade dos elementos exigidos, podendo solicitar para esse efeito, por uma única vez, a prestação de informações ou elementos complementares, bem como o seu aditamento ou reformulação. Existe igualmente, a hipótese de a entidade competente convocar o requerente para a realização de uma conferência instrutória, na qual são abordados todos os aspetos considerados necessários para a boa decisão do pedido e eventualmente solicitar elementos instrutórios adicionais.

No caso de o requerente não juntar os elementos solicitados pela entidade competente nos termos anteriormente descritos, no prazo de 60 dias a contar da notificação de pedido de elementos, ou de os juntar de forma deficiente ou insuficiente, o pedido é liminarmente indeferido. Este prazo pode ser excepcionalmente prorrogável por decisão devidamente fundamentada.

5.2.2 EMISSÃO DA LICENÇA

Com a decisão final, é emitido e enviado ao utilizador, o título de utilização contendo os respetivos termos, condições e requisitos técnicos.

A emissão da licença de utilização está sujeita à prestação de caução adequada, destinada a assegurar o cumprimento das obrigações em causa. O titular da licença pode ser dispensado da prestação da caução para recuperação ambiental, consoante o tipo de utilização pretendida, desde que esta não seja suscetível de causar impacte significativo nos recursos hídricos.

5.2.3 CADUCIDADE

Os títulos de utilização caducam:

- Com o decurso do prazo fixado;
- Com a extinção da pessoa coletiva que for seu titular;
- Com a morte da pessoa singular que for seu titular, se a autoridade competente verificar que não estão reunidas as condições para a transmissão do título;
- Com a declaração de insolvência do titular.

5.2.4 SITUAÇÕES EXISTENTES NÃO TITULADAS

Os utilizadores de recursos hídricos que não disponham de título que permita essa utilização, devem apresentar à autoridade competente um requerimento contendo:

- A identificação do utilizador;
- O tipo e a caracterização da utilização;
- A identificação exata do local, com indicação sempre que possível das coordenadas geográficas.

Após a entrega dos elementos referidos a autoridade competente procede à fiscalização da utilização em causa podendo, na sequência desta, impor ao utilizador as alterações necessárias ao cumprimento da legislação em vigor.

5.3 TURH A APLICAR ÀS BACIAS DE RETENÇÃO

O título de utilização dos recursos hídricos (TURH) que cabe às bacias de retenção é uma discussão ainda em aberto, pois não está completamente esclarecida em sede de licenciamento a abordagem a adotar em todas as situações para este tipo de estruturas. A Lei da Água no seu artigo 62.º refere:

“1 - Estão sujeitas a autorização prévia de utilização de recursos hídricos as seguintes atividades quando incidam sobre leitos, margens e águas particulares:

- a) Realização de construções;
- b) Implantação de infraestruturas hidráulicas;
- c) Captação de águas;
- d) Outras atividades que alterem o estado das massas de águas ou coloquem esse estado em perigo, para além das referidas no número seguinte.

2 - Estão sujeitas a licença prévia de utilização e à observância do disposto no plano de gestão de bacia hidrográfica as seguintes atividades quando incidam sobre leitos, margens e águas particulares:

- a) Rejeição de águas residuais;
- b) Imersão de resíduos;
- c) Recarga e injeção artificial em águas subterrâneas;
- d) Extração de inertes;
- e) Aterros e escavações.

...”

Por sua vez o Decreto-Lei 226-A esclarece no seu artigo 62.º que

“1 — Entende-se por construção todo o tipo de obras, qualquer que seja a sua natureza, nomeadamente edificações, muros e vedações, bem como as respetivas alterações e demolições.

2 — Excetuam-se do disposto no número anterior as infraestruturas hidráulicas, aterros ou escavações.

...

4 — A emissão da autorização, licença ou concessão de construção pressupõe a apresentação de um termo de responsabilidade assinado pelos autores do projeto, de acordo com a especificidade da área dos recursos hídricos onde se localiza.

...”

Da leitura dos dois artigos anteriores, poderá inferir-se que as bacias de retenção deverão ser enquadradas como “infraestruturas hidráulicas”, daí que o TURH que lhes caberá será o de “Autorização”. Atualmente, as barragens (como exemplo de infraestrutura hidráulica), mesmo desenvolvendo-se no leito e margens de cursos de água não navegáveis e fluviáveis, ou seja, em solo privado, são objeto de um TURH do tipo “Licença”. Porém, neste caso, isso deve-se ao definido no n.º 1 do artigo 59.º da Lei da Água “Considera-se utilização privativa dos recursos hídricos do domínio público aquela em que alguém obtiver para si a reserva de um maior aproveitamento desses recursos do que a generalidade dos utentes...” o mesmo artigo no n.º 2 acrescenta “...O direito de utilização privativa de domínio público só pode ser atribuído por licença...”. Todavia, as bacias de retenção não visam um aproveitamento maior da água retida por parte do seu promotor, esse não é de todo o seu propósito central, ainda que em alguns casos se possa vir de facto a dar uma utilização secundária a esta.

A legislação que enquadra o licenciamento deveria prever especificamente a figura bacia de retenção, porquanto a sua função enquanto estrutura responsável pela estabilização de caudais de cheia, exige esse esclarecimento face ao existente atualmente na lei, onde a esse respeito nada consta. Ainda assim, a existir esse reconhecimento, o TURH a emitir iria ao encontro do entendimento que acima se fez, isto é, em face dos pressupostos que envolvem as bacias de retenção, o TURH mais adequado é a “Autorização”. Até porque dada a natureza destas, estamos sempre a considerar intervenções que se desenvolvem no leito e margens de cursos de água não navegáveis e flutuáveis, ou seja, em solo privado.

À figura da bacia de retenção seriam exigidos requisitos como alguns daqueles a que as infraestruturas hidráulicas estão obrigadas pelo Decreto-Lei 226-A, nomeadamente, aos descritos no artigo 66.º “1 — *A responsabilidade técnica pela execução das infraestruturas hidráulicas é assegurada por pessoa que possua licenciatura em especialidade adequada e com idoneidade técnica reconhecida pelas respetivas ordens profissionais.* 2 — *O responsável técnico responde pela conformidade da execução da obra com o projeto aprovado e o correspondente caderno de encargos, o qual deve incluir critérios ambientais específicos para a construção de cada obra.* 3 — *O responsável técnico responde solidariamente com o projetista e o empreiteiro em todas as questões relacionadas com a direção técnica e execução do projeto, devendo para esse efeito assinar um termo de responsabilidade.*” Assim como ao referido no artigo 67.º em relação à sua construção “1 — *Durante a construção de infraestruturas hidráulicas são realizadas vistorias pela autoridade competente para conferir a boa execução da obra e verificar a implementação das medidas de minimização ambiental que tenham sido definidas durante o processo de licenciamento.*”

5.4 ANÁLISE DOS CASOS DE ESTUDO

Neste subcapítulo será feita a caracterização de um conjunto de bacias de retenção correspondentes ao universo de processo de licenciamento existentes na ARH Algarve. O objetivo de partida foi o de caracterizar todas as estruturas deste tipo, atendendo ao já referido em 5.1.1, ou seja, todas aquelas que têm como propósito a gestão do escoamento de origem pluvial, reduzindo os valores de ponta causados pelas alterações nas condições de ocupação das bacias de drenagem, e evitando a degradação do meio recetor de jusante.

Houve então lugar à análise de todos os processos de autorização e licenciamento entre 2005 e 2015, que potencialmente pudessem exigir a construção de bacias de retenção, ou seja, examinaram-se cerca de 10 anos de licenciamento. A não existência de uma figura de licenciamento específica para as bacias de retenção implicou a análise sumária de um vasto número de casos, concretamente, 403, envolvendo todos eles intervenções nos recursos hídricos. No fim desse trabalho, triaram-se 37 situações que contemplavam efetivamente as soluções em causa. Este trabalho exaustivo advém da impossibilidade, pelas razões já descritas, de filtrar a base de dados assumindo como critério de pesquisa a presença de bacias de retenção.

O passo seguinte consistiu em aprofundar a análise dos 37 processos anteriormente identificados. Daqui, resultou o conjunto de 28 bacias que a seguir se apresentam. As 9 situações que não resistiram ao exame levado a cabo, consistem em soluções demasiado simples para o estudo em causa ou então que fugiam ao propósito enunciado no 1º parágrafo do presente capítulo. Os casos de estudo assim selecionados, foram alvo de uma observação mais pormenorizada, que implicou sempre que possível visitas ao campo para aferição da estrutura construída face ao projetado e previsto em sede de licenciamento. Para uma mais fácil consulta e organização deste trabalho, remeteram-se para anexo (Anexo I) todos os casos.

5.4.1 RESULTADOS DA ANÁLISE AOS CASOS DE ESTUDO

As bacias de retenção identificadas localizam-se sobretudo na área compreendida entre os concelhos de Faro e Albufeira, tal como pode ser observado na Figura 30, destacando-se o concelho de Loulé com 12 bacias, o que representa cerca de 43% do total.

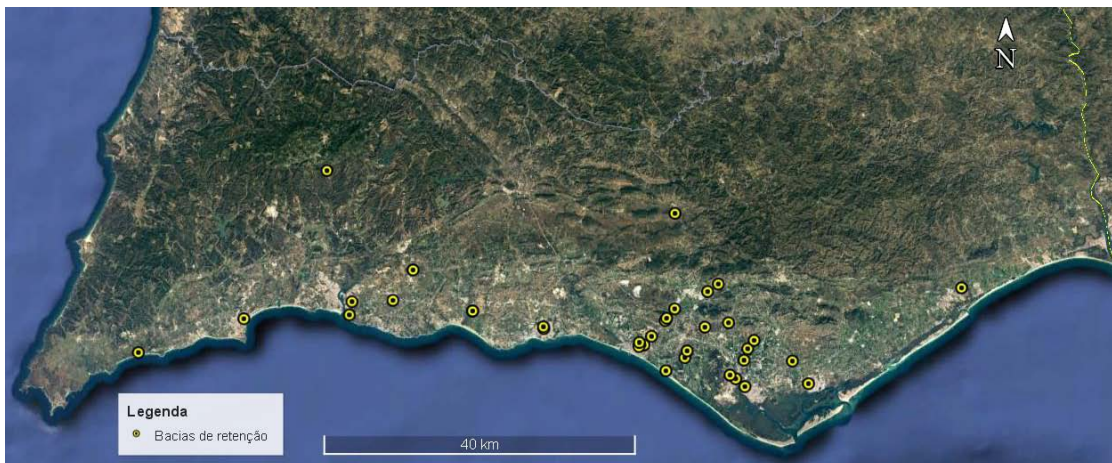


Figura 30: Mapa com a localização das bacias de retenção descritas.

O Quadro 10 revela que o método mais utilizado para determinar o caudal de ponta é a Fórmula Racional (75% dos casos). Na realidade este peso até pode ser superior, uma vez que existem 3 casos cuja metodologia de cálculo não está descrita. Aliás, as percentagens descritas no Quadro 10 terão de ser sempre lidas ora atendendo às situações para as quais não há dados, o que implica um somatório percentual inferior a 100, ora para quando uma mesma bacia preenche simultaneamente mais que uma das opções disponíveis (originando um somatório percentual superior a 100).

No dimensionamento do volume das bacias de retenção existem 10 casos não descritos, ou seja, cerca de 35% do total. Assim sendo, o seu dimensionamento parece ser mais um caso de “artes mágicas” do que propriamente engenharia. Quando a informação existe, nota-se um peso significativo da utilização da fórmula que consta no Decreto Regulamentar n.º 23/95 para determinação do volume, sendo 8 os casos em que tal acontece (29%), praticamente o número que cabe à utilização de outros métodos (25%). Estes outros métodos são explicados para cada uma das situações, nas matrizes multicritério que contem a informação associada a cada uma das bacias. Somente em situações mais complexas foram utilizados modelos de simulação hidráulica, ou seja, apenas em 3 ocasiões se recorreu a esta forma de cálculo.

A opção sobre o tipo de descarga recaiu quase sempre em descarregadores de soleira espessa (43%) ou orifícios (36%), existindo dois casos em que ambos os tipos estavam simultaneamente presentes. Também aqui se verificam 6 ocorrências sem descrição, ou seja, onde foi de todo impossível perceber que tipo de estrutura que seria utilizada para promover a descarga de caudais.

A maioria das bacias é construída praticamente recorrendo apenas a modelação do terreno com mobilização de terras. A estas estão por vezes associadas determinados elementos em betão, o que acontece em 46% dos casos, betão esse destinado quase sempre aos descarregadores, eventualmente sob a forma de estruturas pré-fabricadas (manilhas em betão armado). A pedra da região é também outro material ligado a certos elementos das bacias, cerca de 21% dos registos apresentam este componente, nomeadamente, na zona do dique.


Em 79% das situações as bacias são classificadas como a céu aberto, e em todas estas, com exceção de duas, não existe água de forma permanente, isto é, em cerca de 71% dos casos estamos perante bacias secas a céu aberto, sendo pois esta a solução predominante.

As bacias foram construídas, ou pelo menos teve início a sua construção, em 9 ocasiões. Correspondendo este número a 32% do total, o que fica significa que em 68% das vezes o licenciamento destas estruturas foi concretizado, mas depois sua construção acabou por não avançar.

Quadro 10: Síntese das principais características das bacias de retenção descritas.

		Bacias de Retenção																												Total	%
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
Cálculo do caudal máximo	Fórmula Racional	-	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	-	x	x		-	x	21	75%		
	Fórmula de Loureiro	-																	x				-			x	-	x	3	11%	
	Método do Soil Conservation Service	-		x																			-					x	2	7%	
	Outro	-																						-			-	x	1	4%	
Dimensionamento do volume da bacia	Fórmula DR 23/95	-			-		x		-	x	x	-	-	x	-		x		x	x			-	-	-	x	-	8	29%		
	Modelos de simulação hidráulica	-		x	-							-	-					x					-	-	-			x	3	11%	
	Outra	-	x		-	x		x		-		-	-			-	x					x	x	-	-	-		-	x	7	25%
Descarregador	Soleira espessa	x	-		x		x			-	x	x	x	-		x	x		-	x			-		x	-	x	x	12	43%	
	Orifício	-				x	x	x	x	-				-	x				x	-		x	-	x		-		x	x	10	36%
	Outro	-			x				x	-				-						-		-				-			2	7%	
Classificação	Modelação de terreno	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	-	x	22	79%
	Betão	x				x	-	x	x	-	x			x			x		x			x	x	x			x	-	x	13	46%
	Pedra da região		x	x	x		x	-			-		x					x											-	6	21%
	Outros	x				x		-			-			x	x	x					x	x					x	-	x	9	32%
Quanto à sua implantação	Bacia a céu aberto	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	x	22	79%	
	Bacia enterrada								x			x			x		x						x	x					x	7	25%
Quanto ao seu comportamento hidráulico	Bacia Seca	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	26	93%	
	Bacia com volume de água permanente									x				x																2	7%
Construída	Construída	x							x	x				x									x	x			x	x	9	32%	
	Não construída		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x							x	x	x	x	x	19	68%	

Legenda:

- Não descrito
-  Obra Suspensa

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objetivo estruturar a metodologia para estudar e caracterizar bacias de retenção, aplicando depois essa metodologia à região do Algarve. Foram alvo de análise todos os processos de autorização e licenciamento entre 2005 e 2015 que potencialmente pudessem exigir a construção de bacias de retenção, ou seja, examinaram-se cerca de 10 anos de licenciamento. A não existência de uma figura de licenciamento específica para as bacias de retenção implicou a análise sumária de um vasto número de casos, concretamente, 403, envolvendo todos eles intervenções nos recursos hídricos. No fim desse trabalho, triaram-se 37 situações que contemplavam efetivamente a construção de bacias de retenção. Uma análise mais aprofundada subtraiu 9 bacias ao universo inicial, uma vez que se tratavam de soluções demasiado simples para o estudo em causa ou então que fugiam ao propósito de gestão do escoamento, reduzindo o caudal de ponta causado pelas alterações nas condições de ocupação da bacia de drenagem e evitando a degradação do meio recetor de jusante. As 28 bacias identificadas localizam-se sobretudo entre os concelhos de Faro e Albufeira. Em termos de tipologia, confirmou-se um predomínio das bacias secas a céu aberto, presumivelmente devido aos menores custos de construção e manutenção associados a este tipo de solução.

Identificaram-se diversas situações em que o dimensionamento do volume da bacia é feito de forma pouco ortodoxa, ou seja, recorrem-se a estimativas de cálculo que não fazem uso de nenhuma metodologia descrita na bibliografia. Existem também alguns casos em que o dimensionamento e definição pormenorizada das bacias foram remetidos para a fase de construção, o que demonstra falta de rigor e até mesmo menosprezo pela boa execução das mesmas. Tal atitude pode advir destas serem uma parte considerada de pouca relevância quando considerado o todo de um projeto de loteamento urbano. Também se encontraram situações em que as soluções foram definidas recorrendo a metodologias robustas, de que é exemplo o caso associado à construção do empreendimento comercial da cadeia IKEA, onde se recorreu a um modelo de simulação hidráulica e uma análise de sensibilidade para garantir a exatidão das opções propostas.

Algumas vezes, as soluções finais acabam por resultar de uma negociação entre o requerente e a entidade licenciadora. Isto advém dos muitos constrangimentos que surgem nos locais alvos de urbanização e que para obedecerem ao recomendado em termos hidráulicos, acabam por fazer apelo a soluções *ad hoc*. O requerente, quando confrontado com a obrigação em adaptar o seu projeto àquelas que são as preocupações da APA – ARH Algarve, parte, bastas vezes, para soluções menos clássicas, ora por falta de histórico em lidar com estas situações ora por aquilo que parece ser um exercício de “engenharia de improviso”. Compreende-se, ainda assim, que nem sempre é fácil integrar num projeto de iniciativa imobiliária as exigências de todos os responsáveis pelo licenciamento deste.

Na maioria dos casos a construção das bacias corresponde a processos relativamente simples, onde a mobilização de terras para modelação do terreno representa a maior parte dos trabalhos. Ainda assim, foram igualmente identificadas situações onde a execução se

revestia de uma considerável complexidade, mormente, nos casos de algumas bacias enterradas.

Como a maioria das bacias não foi construída, as conclusões que se poderiam tirar em relação à adequação do tipo de bacia ou forma de cálculo da mesma ficam limitadas, pois desta forma desconhece-se qual teria sido o desempenho das mesmas perante os episódios de maior intensidade e/ou volume de precipitação entretanto ocorridos. Aquilo que se pode afirmar é que até à data nas áreas abrangidas pelas bacias cuja construção de concretizou não se registaram eventos de cheia. Porém, a experiência é ainda reduzida para se afirmar que nestes casos o mérito destas estruturas não merece qualquer reparo. Pode afirmar-se com elevado grau de certeza, que a razão subjacente à não execução de grande parte das bacias, está relacionado com o início da crise económica e imobiliária durante o ano de 2008, que perdura amargamente até hoje, ainda que de forma não tão vincada, visto que a partir de 2015 alguns sinais de retoma se fizeram sentir. Não é de crer que os custos acrescidos que advém da construção das bacias de retenção sejam entrave para o não desenvolvimento dos empreendimentos onde estas se inserem. Essa nunca foi uma razão apontada pelos promotores junto das entidades licenciadoras, fossem elas municipais, regionais ou centrais.

É importante a existência de bases de dados que possibilitem a recolha de toda a informação associada às bacias de retenção. Dessa forma, através da posterior monitorização deste tipo de estruturas, poder-se-á aferir do seu real desempenho hidrológico e hidráulico, permitindo estabelecer ou definir critérios de dimensionamento, construção e manutenção mais adequados no futuro. Os dados recolhidos permitem desenvolver análises custo-benefício mais rigorosas para que se considerem, ou não, as bacias de retenção como medida de remediação válida em cenários de urbanização.

O presente estudo poderá também servir de guia de acompanhamento de todas as bacias de retenção aqui identificadas, possibilitando depois mais facilmente perceber quais os cuidados de manutenção que foram necessários ou fazer a avaliação da robustez das soluções adotadas. Os indícios recolhidos apontam para que as bacias de retenção se afirmem como peças que efetivamente melhoram o processo de drenagem, ao permitir estabilizar caudais de cheia, funcionando dessa forma como proteção em relação a eventos de precipitação potencialmente gravosos (em intensidade e/ou valores acumulados) num cenário cada vez mais ameaçador por via das alterações climáticas.

Esta dissertação implicou um exaustivo trabalho de pesquisa e análise. A inexistência de um olhar prévio sobre o que havia sido feito até à data no Algarve no domínio das bacias de retenção, implicou necessariamente um esforço acrescido. A isto juntou-se a necessidade de navegar num mar de informação algo dispersa em múltiplos processos presentes nos arquivos da ARH Algarve, tal como já foi descrito no início do subcapítulo 5.4. Houve assim que vencer os naturais constrangimentos provenientes da originalidade do trabalho apresentado. Espera-se, ter conseguido estabelecer as fundações necessárias a um conhecimento que se quer mais profundo e detalhado sobre o papel das estruturas aqui abordadas, lançando as bases para o desenvolvimento de instrumento de apoio à decisão na gestão de bacias de retenção. O que se pretende é aumentar o grau de adequação destas ao território, e promover a sua implantação como forma eficaz e eficiente de controlo de cheias. A metodologia seguida neste estudo contribui para compreender os motivos de sucesso ou insucesso dos casos existentes no Algarve, constituindo assim um instrumento de apoio à decisão no licenciamento e gestão deste tipo de estruturas.

Por último, refira-se que tanto quanto é conhecimento do autor, em nenhuma outra das regiões do país foi produzido um qualquer estudo de caracterização deste tipo. Sendo que por isso, a metodologia adotada constitui-se como uma ferramenta valiosa no auxílio da caracterização de bacias de retenção, envolvendo designadamente o seu enquadramento no que respeita ao licenciamento. A uniformização de critérios possibilita uma leitura mais fácil, simplificando a aferição de resultados.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao trabalho que foi desenvolvido seguir-se-á o esforço de publicação numa revista internacional de um artigo contendo o essencial do mesmo. Está também prevista a apresentação num congresso (a definir) em Portugal de uma súpula deste trabalho.

Existe ainda o interesse em modelar o comportamento das bacias de retenção projetadas a propósito da construção do empreendimento comercial da cadeia IKEA, em Loulé, recorrendo à ferramenta de modelação HEC-HMS (utilizada pelos projetistas). O objetivo de tal análise seria o de confirmar os resultados apresentados pelo projeto e perceber se existiam soluções alternativas mais adequadas.

7 BIBLIOGRAFIA

- Abreu, M. (1983) - Lagoas de Amortecimento de Águas Pluviais. *In* Seminário 290 «Contribuição para o Estudo da Drenagem de Águas Pluviais em Zonas Urbanas», LNEC, Lisboa.
- Administração da Região Hidrográfica do Alentejo (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas na Região Hidrográfica do Guadiana (RH7)*.
- Administração da Região Hidrográfica do Algarve (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que Integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (RH8)*.
- Águas de Coimbra, (2014a). Execução de Bacias de Detenção/Retenção de Águas Pluviais, Especificação Técnica de Trabalhos, ESPTRA113-03, Águas de Coimbra.
- Águas de Coimbra, (2014b). Manutenção de Estruturas de Armazenamento de Águas Pluviais, Especificação Técnica de Trabalhos, ESPTRA115-01, Águas de Coimbra.
- APA (2015). Plano Nacional da Água, disponível em: http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Agua/PlaneamentoGestao/PNA/2015/PNA2015.pdf
- APA, I.P. (2014). *Elaboração de cartografia específica sobre o risco de inundação para Portugal continental. Relatório Final –Volume 1 - Memória Descritiva*.
- APA, I.P. (2015). Plano Nacional da Água, Lisboa.
- Ashley, R.; Garvin, S.; Pasche, E.; Vassilopoulos, A.; Zevenbergen, C. (2007). *Advances in Urban Flood Management*, Taylor & Francis/Balkema: London, UK.
- Azzout, Y.; Cres, F.; Barraud, S.; Alfakih, E. (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien*, Tec & Doc., Lavoisier, Paris
- Barbosa, A.; E., Fernandes, J. N.; David, L. M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, 46(20), 6787–98.
- Bergman, M.; Hedegaard, M.R.; Petersen, M.F.; Binning, P.; Mark, O.; Mikkelsen, P.S. (2011). Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation. *Water Sci. Technol.* , 63, 2279–2286.
- Bergue, JM. & Ruperd, Y. (2000). *Stormwater Retention Basins*. CRC Press, Roterdão.

- Borges, B.; Duarte, A.; Pancada, R.; Pedro, P.; Ramos, C. (2005) – Cheias rápidas em áreas urbanas e sua percepção: o caso da bacia da R^a de Odivelas, Proceedings of the X Colóquio Ibérico de Geografia, Évora.
- CGSD (2000). Stormwater Design Manual. City of Griffin Stormwater Department (CGSD). Prepared by Integrated Science & Engineering.
- Chocat, B. (1997). - Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Edição Lavoisier - Technique et Documentation, 1124 p.
- Chouli E.; Aftias E.; Deutsch, JC. (2007). Applying stormwater management in Greek cities: learning from the European experience. *Desalination* 210 61–68.
- Chow, M.F.; Yusop, Z.; Mohamed, M. (2011). Quality and first flush analysis of stormwater runoff from a tropical commercial catchment. *Water Science and Technology* 63 (6), 1211-1216.
- Chow, V.T.; Maidment, D.; Mays, L. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- Clar, M.; Barfield, B.; O'Connor, T. (2004). Stormwater Best Management Practice Design Guide: Volume 1 - General Considerations, United States Environmental Protection Agency.
- Coque, R. (1987). *Geomorfología*. Alianza Universidad Textos, Madrid.
- Debo, T. & Reese, A. (2003) – *Municipal Storm Water Management*. Boca Raton, CRC Press, 1142 p.
- Del Giudice, G.; Gargano, R.; Rasulo, G.; Siciliano, D. (2014). Preliminary Estimate of Detention Basin Efficiency at Watershed Scale. *Water Resour Manage* 28: 897
- Dias, J. (2003). *The use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Dierkes, C.; Lucke, T.; Helmreich, B. (2015). General Technical Approvals for Decentralised Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) — The Current Situation in Germany. *Sustainability* 7(3), 3031-3051.
- DMR (2002). *Road Drainage Design Manual*. Queensland: Department of Main Roads (DMR), Queensland Government. Chapter 4. Design.
- Elliott, A. & Trowsdale, S., (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modelling & Software* 22 (3), 394-405.

- Environmental Protection Agency - EPA; American Society of Civil Engineers - ASCE (2005) – *Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A guidance manual for meeting the national stormwater BMP database requirements*. EUA.
- EU (2015). A European Flood Action programme - Environment - European Commission, disponível em: http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_risk.htm
- FHWA - Federal Highway Administration - (1999). Hydrain - Integrated drainage design computer system. Washington, DC: HYDRO - Hydrology. Federal Highway Administration (FHWA). v. 2.
- FHWA - Federal Highway Administration - (2009). Urban Drainage Design Manual. Hydraulic Engineering, Circular No. 22, Third Edition, Federal Highway Administration.
- Fletcher TD.; Mitchell G.; Deletic A.; Ladson A.; Séven A. (2007). Is stormwater harvesting beneficial to urban waterway environmental flows? *Water Sci Technol* 55:265–72.
- Gasperi, J.; Gromairea, M.; Kafia, M.; Moillerona, R.; Chebboa, G., (2010). Contributions of wastewater, runoff and sewer deposit erosion to wet weather pollutant loads in combined sewer systems. *Water Research* 44 (20), 5875-5886.
- GDOE (2001). *Georgia Stormwater Management Manual*. v. 2, Technical Handbook, 1th Edition, Prepared by AMEC Earth & Environmental (formerly the Edge Group), Center for Watershed Protection, Debo & Associates, Jordan Jones & Goulding and Atlanta Regional Commission. Georgia: Georgia Department of the Environment (GDOE).
- Geosyntec Consultants, (2010). *Stormwater BMP Guidance Tool- A Stormwater Best Management Practices Guide for Orleans and Jefferson Parishes*, Prepared for Bayou Land and Louisiana.
- German, J.; Vikstrom, M.; Svensson, G.; Gustafsson, L. (2005). Integrated stormwater strategies to reduce impact on receiving waters. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen/Denmark, 21-26 agosto, 2005.
- Göbel, P.; Dierkes, C.; Coldewey, W.G. (2007). Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology*, Volume 91, Issues 1–2, 26–42.
- Guo, James C.Y. (1999). Detention Basin Sizing for Small Urban Catchments. *ASCE J. of Water Resources Planning and Management*, Vol 125, No.6, Nov.
- Hawkins, R.; Ward, T.; Woodward, D.; Van Mullem, J. (2009). Curve number hydrology. ASCE publication.

- Holman-Dodds, J.K.; Bradley, A.A.; Potter, K.W. (2003). Evaluation of hydrologic benefits of infiltration based urban storm water management. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 39, 205–215.
- Hvitved-Jacobsen & Yousef, Y.A., (1991). Highway runoff quality, environmental impacts and control, In *Highway pollution*, Editors Hamilton, R.S., Harrison R. M., Elsevier, Netherlands.
- IPCC (2007). Fourth Assessment Report - Climate Change 2007 - Synthesis Report. Geneva, Switzerland, disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], Geneva, Switzerland, disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IST (2011). Drenagem urbana e controlo da poluição. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/DUCP-2/2010-2011/1- semestre/apresentacoes-aulas-teoricas>
- Jacobson, C. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of Environmental Management* 92 (2011) 1438-1448.
- Jayasuriya, L.N.N.; Kadurupokune, N.; Othman, M.; Jesse, K. (2007). Contributing to the sustainable use of stormwater: The role of pervious pavements. *Water Sci. Technol.*, 56, 69–75.
- Junta Autónoma de Estradas (JAE) - Direcção de Serviços e Projectos (1998). *Manual de drenagem superficial em vias de comunicação Tomo I* (versão provisória). Junta Autónoma de Estradas.
- Laurenson, G.; Laurenson, S.; Bolan, N.; Beecham, S.; Clark, I. (2013). *Advances in Agronomy - Chapter Four – The Role of Bioretention Systems in the Treatment of Stormwater*, 223-274.
- Lencastre, A. (1996) - *Hidráulica Geral*. Edição do Autor. Lisboa
- Liberato, M.; Ramos, A.; Trigo, R.; Trigo, I.; Durán-Quesada A.; Nieto, R.; Gimeno, L. (2013). Moisture sources and large-scale dynamics associated with a flash flood event. In: Lin J, Brunner D, Gerbig C, Stohl A, Luhar A, Webley P (eds) *Lagrangian modeling of the atmosphere*. American Geophysical Union, Washington, D.C

- Lima, J.P.D.; Marques, A.S.; Sousa, J.; Simões, N.E.; Pina, R. (2013). Hidrologia urbana - Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Série Cursos Técnicos n.º 2. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Universidade de Coimbra. Lisboa. ISBN: 978-989-8360-12-0
- Maia, R.; Ribeiro, A. (1998). As cheias e a gestão de bacias hidrográficas. Actas do 4.º Congresso da Água, Lisboa.
- Mano, E. (2008). Estudo de *bacias de retenção como solução para situações crescentes de urbanização*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Martin, C.; Ruperd, Y.; Legret, M. (2007). Urban stormwater drainage management: the development of multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research* 181 (1), 338-349.
- Mata-Lima, H.; Silva, E.; Raminhos, C. (2006a) –Impactes de projectos de Engenharia Civil na hidrologia de bacias de drenagem. Como gerir o excesso de escoamento. Universidade do Minho, Revista Engenharia Civil nº25.
- Mata-Lima, H.; Silva, E.S.; Raminhos, C. (2006b). Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. *R. Esc. Minas*, 59(1): 97-109, Ouro Preto.
- Mata–Lima, H.; Vargas, H.; Carvalho, J.; Gonçalves, M.; Caetano, H.; Marques, A.; Raminhos, C. (2007). Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Rev. Esc. Minas* vol.60 no.3, Ouro Preto.
- Matias, M. (2006). *Bacias de Retenção – Estudo de métodos de dimensionamento*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Matos, J. (2003). Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. Universidade do Minho, Revista Engenharia Civil nº 16, 13-23.
- Matos, J.; Oliveira, R.; Monteiro, A.; Ferreira, F. (2007). O Plano Geral de Drenagem de águas residuais da cidade de Lisboa. *Águas & Resíduos*, Janeiro/Abril; série III:4-17.
- Matos, M. & Silva, M. (1986) - Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial, LNEC.

- Matos, R. (1999) – Controlo na Origem de Águas Pluviais. Objectivos, Soluções Técnicas e Experiência Internacional – Estratégias para Beneficiação e Reabilitação de Sistemas Públicos de Drenagem de Águas Residuais, FUNDEC, IST, pp 1-38.
- Matos, R. (2000). Gestão Integrada de Águas Pluviais em Meio Urbano. Visão Estratégica e Soluções para o Futuro. Programa de Investigação apresentado a concurso de acesso à categoria de Investigador Coordenador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Mendes, A. & Oliveira, R.P. (2012). Conseguem os modelos climáticos simular a precipitação diária máxima anual e horária máxima observada em Portugal Continental?, 11º Congresso da Água, APRH, Lisboa.
- Muschalla, D.; Pelletier, G.; Berrouard, E.; Carpenter, J.F.; Vallet, B.; Vanrolleghem, P.A. (2014). Ecohydraulic-driven real-time control of stormwater basins. *Journal of Hydrology* 511, 82-91.
- Nascimento, N.; Ellis, J.; Baptista, M.; Deutsch, J. (1999). Using detention basins: operational experience and lessons. *Urban Water*, Vol. 1, Issue 2 (113-124).
- NEMUS, HIDROMOD, AGRO.GES (2011). Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (RH8), Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, ARH do Algarve.
- Nicholson, A.; Wilkinson, M.; O'Donnell, G.; Quinn, P. (2012). Runoff attenuation features: a sustainable flood mitigation strategy in the Belford catchment, UK. *Area*, 44: 463-469.
- NRC, National Research Council (1995) – *Flood Risk Management and the American River Basin*. Washington D.C. (USA), National Academy Press.
- NRCS (1999). Water and Sediment Control Basin. Kentucky, KY: Conservation Practice Standard, Code 638. Natural Resources Conservation Service (NRCS).
- Ntelekos, A.; Oppenheimer, M.; Smith, J.; Miller, A. (2010). Urbanization, climate change and flood policy in the United States. *Climatic Change* 103 (3-4), 597-616.
- Park, M.; Chung, G.; Yoo, C.; Kim, J. (2012). Optimal design of stormwater detention basin using the genetic algorithm. *KSCE J Civ Eng* 16: 660.
- Pilgrim, D. H. & I. Cordery, (1993). Flood Runoff. In: *Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment (Editor). McGraw-Hill, Inc., pp.9.14-9.17.
- Quintela, A. (1981). *Hidráulica Geral*. 4. ed., Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

- Ramos, C. (1994) – Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (Bacia Hidrográfica do Tejo). Dissertação de Doutoramento, Departamento de Geografia, F.L. Universidade de Lisboa, Lisboa, 520 p.
- Ramos, C. (2013). Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. *e-LP Engineering and Technology Journal*, América do Norte. Disponível em: <http://revistas.ulusofona.pt/index.php/revistae-lp/article/view/3320>
- Ramos, C.; Reis, E. (2001) – As Cheias no Sul de Portugal em Diferentes Tipos de Bacias Hidrográficas, Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, n.º 71, Lisboa, pp. 61-82.
- Ravazzani, G.; Gianoli, P.; Meucci, S.; Mancini, M. (2014). Assessing Downstream Impacts of Detention Basins in Urbanized River Basins Using a Distributed Hydrological Model. *Water Resour Manage* 28: 1033.
- Rocha, J.S. (1998). O risco das inundações e a sua gestão. Uma visão nacional e uma visão europeia. In: 4º Congresso da Água, Lisboa.
- Rodrigues, R.; Brandão, C.; Álvares, T. (1998) – Qual o grau de excepcionalidade das cheias ocorridas no início do ano hidrológico de 1997/98, Actas do 4.º Congresso da Água, Lisboa, A.P.R.H.:43-44.
- Rodrigues, R.; Brandão, C.; Pinto da Costa, J. (2003). As Cheias no Douro ontem, hoje e amanhã, INAG, Lisboa.
- Setty, K. (2007). *Design Manual: Retention Basin*. Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara.
- Shuster W.; Gehring R.; Gerken J. (2007). Prospects for enhanced groundwater recharge via infiltration of urban storm water runoff: a case study. *J Soil Water Conserv* 62:129–37.
- Strassler, E.; Pritts, J.; Strellec, K. (1999). *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. United States Environmental Protection Agency Washington.
- Tillinghast, E.; Hunt, W.; Jennings, G. (2011). Stormwater control measure (SCM) design standards to limit stream erosion for Piedmont North Carolina. *Journal of Hydrology* 411(3-4), 185-196.
- Trigo, R.; Ramos, C.; Pereira, S.; Ramos, A.; Zêzere, J.; Liberato, M. (2015). The deadliest storm of the 20th century striking Portugal: Flood impacts and atmospheric circulation. *Journal of Hydrology* (in press).

Urban Drainage and Flood Control District (2010). *Urban Storm Drainage Criteria Manual Volume 3, Best Management Practices*, Water Resources Publications, Colorado.

VDOT (2001). *Drainage Manual*. Virginia: Virginia Department of Transportation (VDOT).

Woods, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Ashley, R.; Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. CIRIA, London.

WSDOEWP (1999). Stormwater management in Washington State. Olympia, Washington, DC.: Runoff Treatment BMPs. Washington State Department of Ecology Water Quality Program (WSDOEWP).

Zêzere, J.; C.; Pereira; Tavares, A.; Bateira, C.; Trigo, R.; Quaresma, I.; Santos, P.; Santos, M.; Verde J. (2014). DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat Hazards* 72:503–532.

Zhou, Q.; Panduro, T.; Thorsen, B.; Arnbjerg-Nielsen, K. (2013) Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environ. Manag.*, 51, 586–601.

Legislação

- Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro: Estabelece a titularidade dos Recursos Hídricos.
- Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (Lei da Água): Transpõe para a ordem jurídica nacional a DQA.
- Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio: Estabelece o regime da utilização dos RH.
- Portaria n.º 1450/2007, de 12 de novembro: Fixa as regras do regime de utilização dos Recursos Hídricos.
- Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de junho: Estabelece o regime económico e financeiro dos Recursos Hídricos.
- Decreto-Lei n.º 56/2012, de 12 de março: Aprova a Lei Orgânica da APA, I.P.
- Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho: Procede a alteração à Lei da Água.
- Portaria n.º 108/2013, de 15 de março: Estabelece os estatutos da APA, I.P.
- Regulamento n.º 255/2012, de 10 de julho de 2012: Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação do Município de Coimbra.
- Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.
- Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto: Aprova o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional.
- Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro: Estabelece um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, com o objetivo de reduzir as suas consequências prejudiciais, e transpõe a Diretiva n.º 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro.

- Decreto-Lei n.º 364/98, de 21 de novembro: Estabelece a obrigatoriedade de elaboração de uma carta de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias, que integrará os planos municipais do ordenamento do território (PMOT).

ANEXOS

Bacia de Retenção 1

Localização
Concelho: Faro Freguesia: Estoi
Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção
Plataforma logística - Mercado Abastecedor da Região de Faro
Metodologia de Dimensionamento
Desconhecida
Descrição da Bacia de Retenção
Bacia seca a céu aberto em série Volume: $\approx 5\,640\text{ m}^3$ Área da Bacia Hidrográfica: $2,985\text{ km}^2$ Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Utilização de pedra arrumada e betão armado nos descarregadores. Dreno para escoamento de caudais menores em betonilha armada.
Observações
Não existe registo de pedido de licenciamento da bacia de retenção junto da ARH Algarve, nem se teve acesso ao projeto da mesma. Existem 2 descarregadores. Um dimensionado para um período de retorno mais curto e outro para um período de retorno máximo.
Fase de Execução - Obra Finalizada

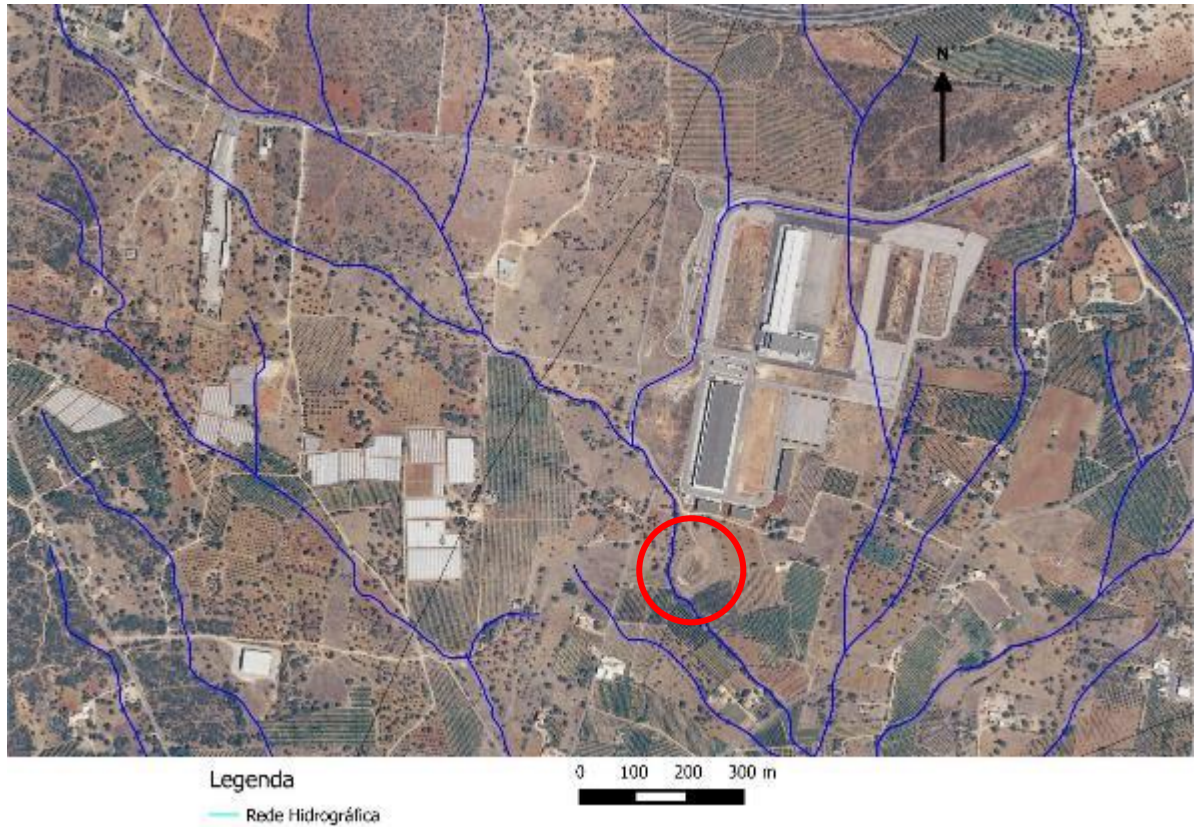


Figura 1 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 2 – Vista aérea da bacia de retenção.



Figura 3 – Aspeto geral da bacia de retenção (vista para jusante).



Figura 4 – Aspeto geral da bacia de retenção (vista para montante).



Figura 5 – Dique e descarregadores.



Figura 6 – Estrutura de dissipação a jusante dos descarregadores.

Bacia de Retenção 2

Localização

Concelho: Albufeira Freguesia: Albufeira

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento com implantação de edifício de habitação plurifamiliar

Metodologia de Dimensionamento

- Caudal Máximo: Determinado pela Fórmula Racional.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: determinado pela Fórmula de Giandotti e a Secção de escoamento pela fórmula de Manning-Strickler.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia/Vala de infiltração a céu aberto em série

Volume: Vala com 2 m de largura, 1,5 m de profundidade e 81 m de comprimento = 243 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 19,50 ha

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Utilização de pedra da região e geotêxtil.

Observações

O cálculo do volume da bacia/vala de infiltração não é completamente esclarecedor. Não existem igualmente cálculos para determinar a taxa de infiltração.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não iniciada.



Legenda
— Rede Hidrográfica

Figura 7 - Localização da bacia/vala de infiltração face à rede hidrográfica.



Figura 8 – Vista aérea do local de implantação da bacia/vala de infiltração.

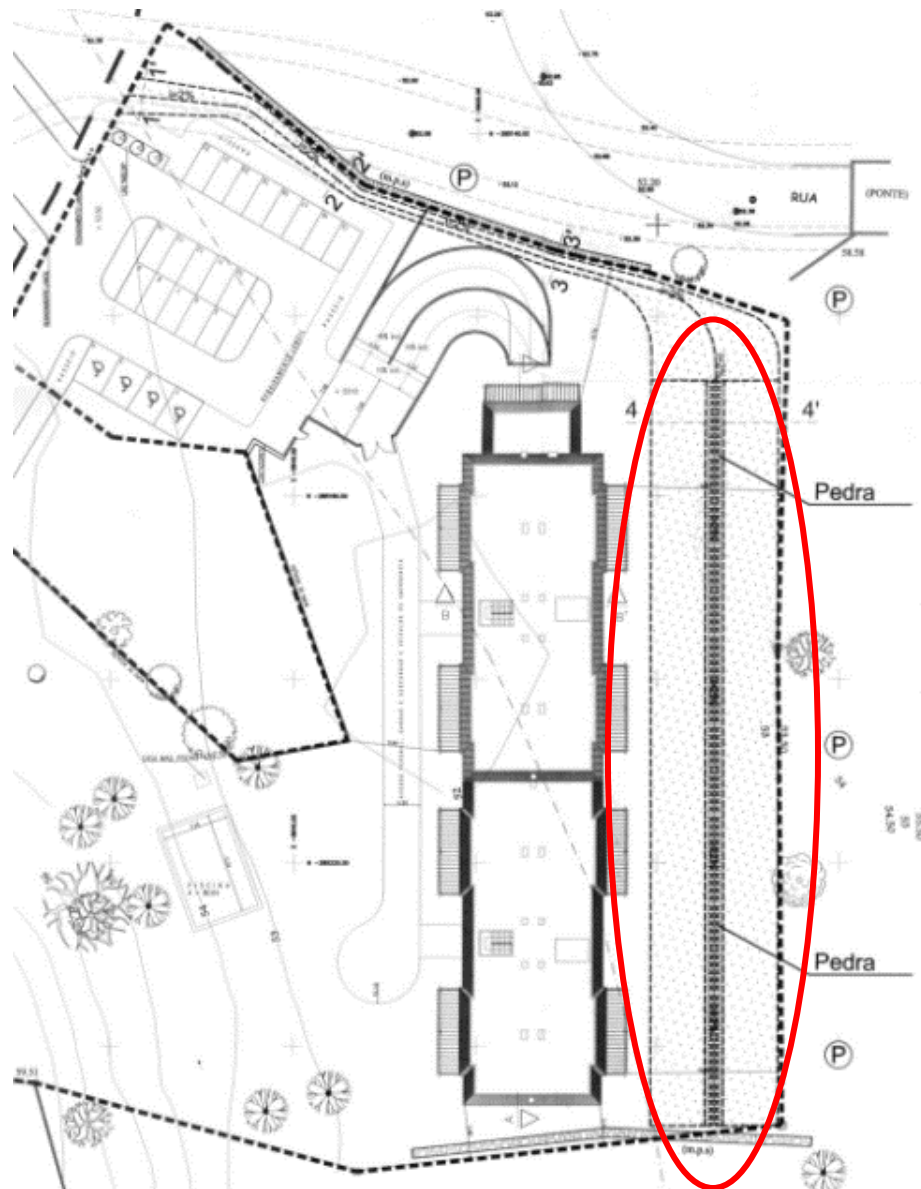


Figura 9 – Planta da bacia/vala de infiltração.

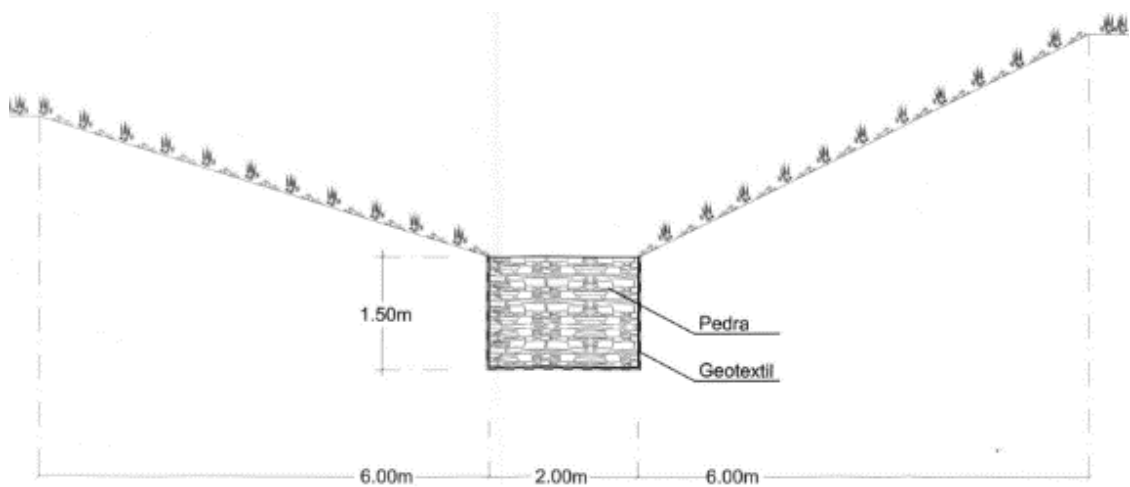


Figura 10 – Corte da bacia/vala de infiltração.

Bacia de Retenção 3

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: Quarteira

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento de moradias unifamiliares

Metodologia de Dimensionamento

- Caudal Máximo: Determinado pelo método do *Soil Conservation Service*.
- Modelação do trânsito de volumes e caudais - Software HEC-HMS.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Modelou-se para 2 tempos, 5 e 10 min.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 9 bacias de secas a céu aberto em série. Estas bacias estão divididas em 2 grandes grupos. O grupo 1 é composto por 6 bacias que se sucedem na mesma linha de água, e o grupo 2 por 3 outras bacias sucessivas numa segunda linha de água. A ligação entre as bacias de um mesmo grupo, é feita através de percursos revestidos com agregados ditos de média dimensão.

Volume: 29 529 m³ (Total para os 2 grupos de bacias)

Dimensões dos Descarregadores de soleira espessa (Bacias 1.1 a 1.6): Fundo - 0,3 m largura, 1 m altura; Superfície - 12 m largura, 0,4 m altura.

Dimensões dos Descarregadores de soleira espessa (Bacias 2.1 a 2.3): Fundo - 0,25 m largura, 1 m altura; Superfície - 12 m largura, 0,4 m altura.

A formalização dos dois grupos de bacias de retenção permite que os caudais centenários passem de 5 m³/s para 0,5 (grupo 1) e 3 m³/s para 0,25 (grupo 2).

Área da Bacia Hidrográfica: 88, 20 ha (Bacia 1) + 28,30 ha (Bacia 2) = 116,5 ha (Dados de Projeto)

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Utilização de pedra da região nos descarregadores e betão ciclópico na zona de dissipação.

Observações

Foram igualmente projetadas pequenas bacias de retenção vegetadas "*Rain Gardens*", à razão de uma por cada lote. Para cada 250 m² de área impermeabilizada, estas bacias representam uma capacidade de encaixe de 11,5 m³. A água das áreas impermeabilizadas é encaminhada para estas bacias, e estas por sua vez, drenam para o sistema de drenagem de águas pluviais.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra teve início mas atualmente encontra-se suspensa. Não houve ainda lugar à construção das bacias de retenção.



Figura 11 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 12 – Vista aérea do local de implantação das bacias de retenção.

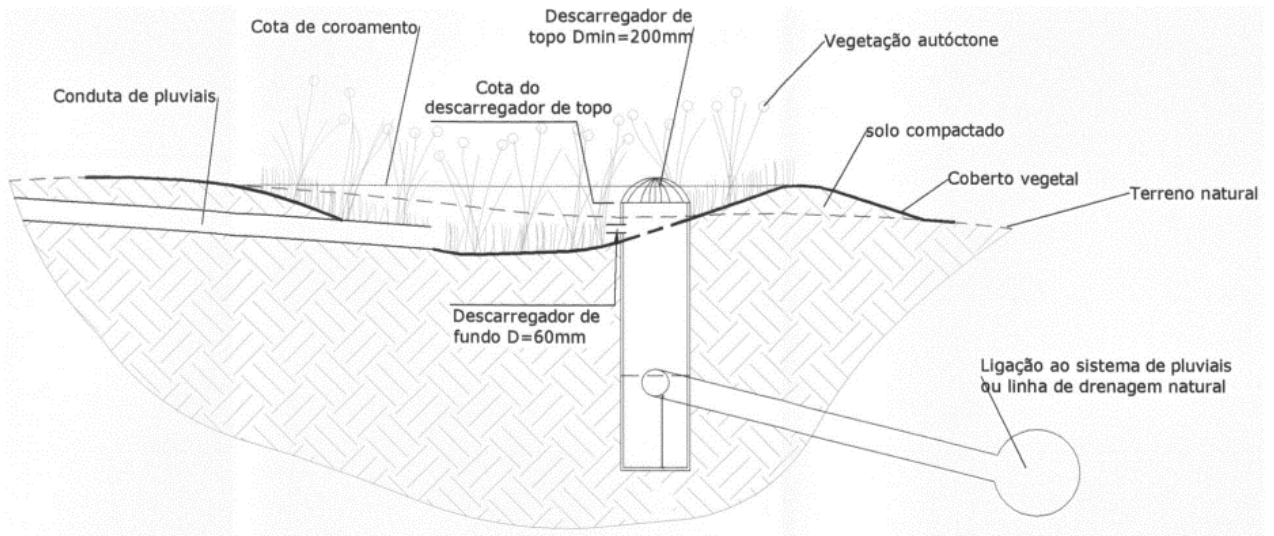


Figura 13 - Esquema das pequenas Bacias de Retenção vegetadas (*Rain Garden*) a criar por cada lote.

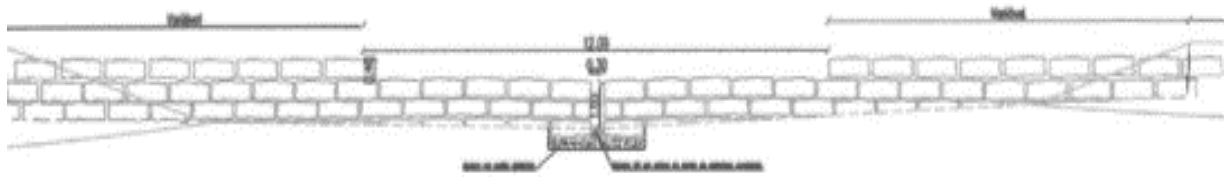


Figura 14 - Descarregador tipo a utilizar nas Bacias de Retenção.



Figura 15 - Excerto da planta de apresentação do grupo de Bacias de Retenção 1.

Bacia de Retenção 4

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: Salir

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento de 12 moradias unifamiliares (2000 m² de área impermeabilizada).

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Kirpich.
- Período de Retorno: 2, 10 e 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Descarregadores dimensionados para um período de retorno de 10 anos. Assume-se o galgamento para caudais centenários.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacias seca a céu aberto em série.

Volume: Não descrito. Pela análise das peças desenhadas do projeto, deduz-se um volume de 750 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 23,80 ha

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Utilização de pedra do barrocal nos descarregadores.

Observações

Fase de Execução – Licença emitida.



Legenda

— Rede Hidrográfica

Figura 16 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

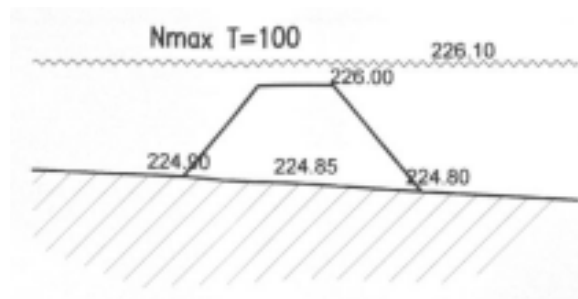


Figura 17 - Corte transversal da estrutura de contenção.

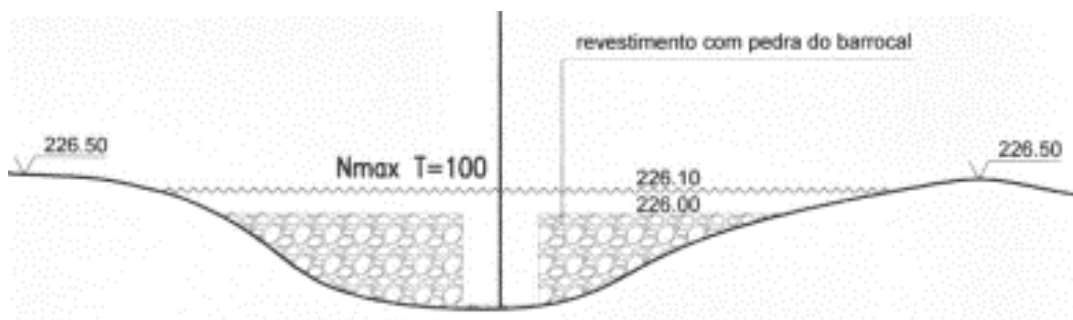


Figura 18 – Corte transversal do descarregador.

Bacia de Retenção 5

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: Quarteira

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Reposição de condições de drenagem, à imagem das existentes antes do crescimento urbanístico da envolvente que implicou o entubamento de um troço da linha de água.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Temez.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume da Bacia: Determinado pela diferença entre a capacidade de vazão do coletor e o caudal afluente a este na zona de implantação da bacia.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia seca a céu aberto em série.

Volume: 500 m³

Área da Bacia Hidrográfica: $117 + 0,17 = 117,17$ ha (são abrangidas 2 bacias hidrográficas)

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. O caudal aflui por uma tampa metálica com grelha sumidoura instalada num coletor de betão enterrado.

Descarregador: Tampa metálica com grelha sumidoura Φ 600 mm. A conduta afluente e o descarregador são uma só e a mesma estrutura.

Observações

No coletor existente em betão será introduzida uma caixa com tampa em grelha de forma a permitir a saída de água quando este entre em carga e permitir o escoamento da bacia até uma cota intermédia quando a situação regularize. O remanescente de água que fique no fundo da bacia será absorvido pelo terreno de características arenosas.

Atendendo ao volume da bacia (500 m³), aflúências previstas pelo caudal centenário ($4,24 + 0,04 = 4,28$ m³/s), capacidade de vazão do coletor existente com 1 m de diâmetro (3,2 m³/s) seriam necessários apenas 7,7 min para a bacia ficar totalmente cheia.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

Figura 20 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

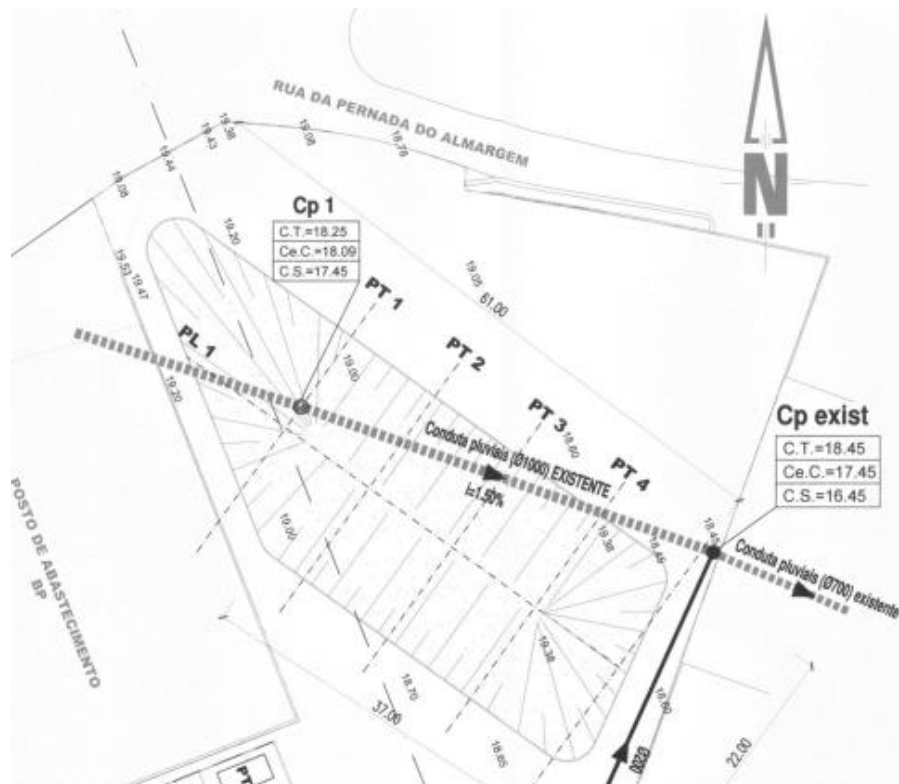


Figura 21 - Excerto da planta de localização com representação da bacia de retenção.

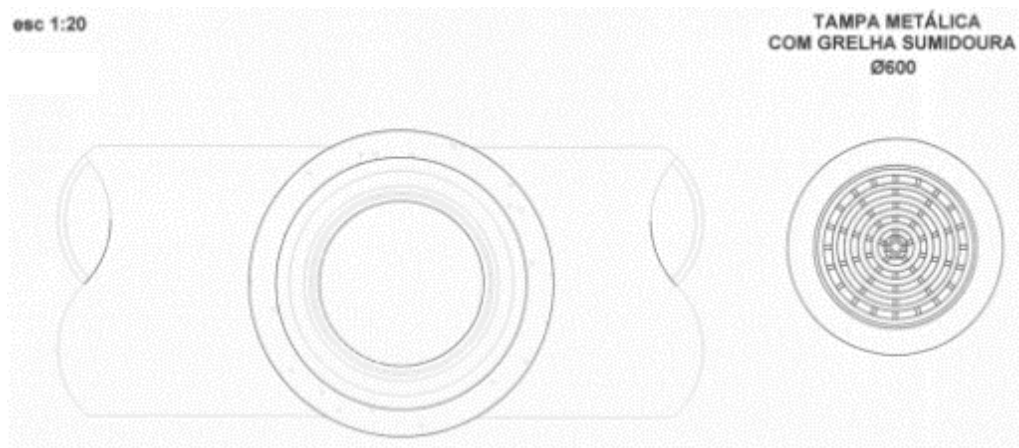


Figura 22 – Representação da tampa metálica com grelha sumidoura que funcionará simultaneamente como coletor afluente e descarregador.

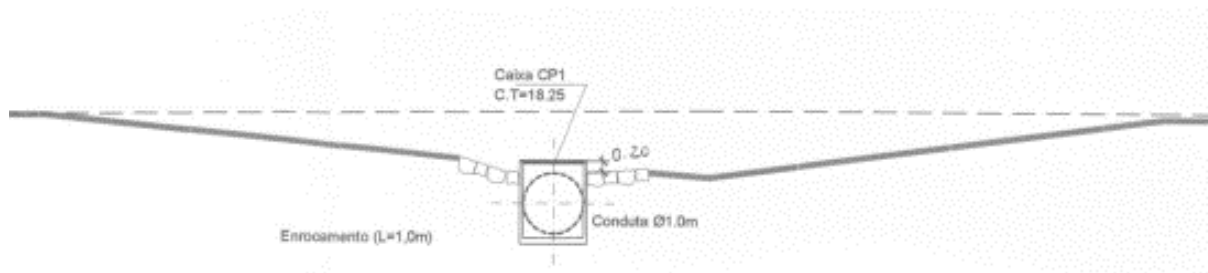


Figura 23 – Corte transversal da bacia de retenção e do coletor, na zona da caixa com dupla função de efluência/receção do escoamento.

Bacia de Retenção 6

Localização

Concelho: Vila do Bispo Freguesia: Budens

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento com 41 moradias unifamiliares em banda.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Temez.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 9 bacias secas a céu aberto em série.

Volume: $\approx 327 \text{ m}^3$ (total para as 9 bacias)

Área da Bacia Hidrográfica: $20 + 19 = 39$ ha (são abrangidas 2 bacias hidrográficas)

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Açudes em pedra local não aparelhada. Muros de suporte em betão armado.

Descarregador: Descarregador de fundo (manilha de betão armado) $\Phi 200$ mm.
Descarregador de superfície de soleira espessa.

Observações

Açudes com 1,5 m de altura máxima com duas camadas de pedra de dimensões distintas, uma para a bacia de dissipação e outra constituinte do açude.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

Figura 24 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 25 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

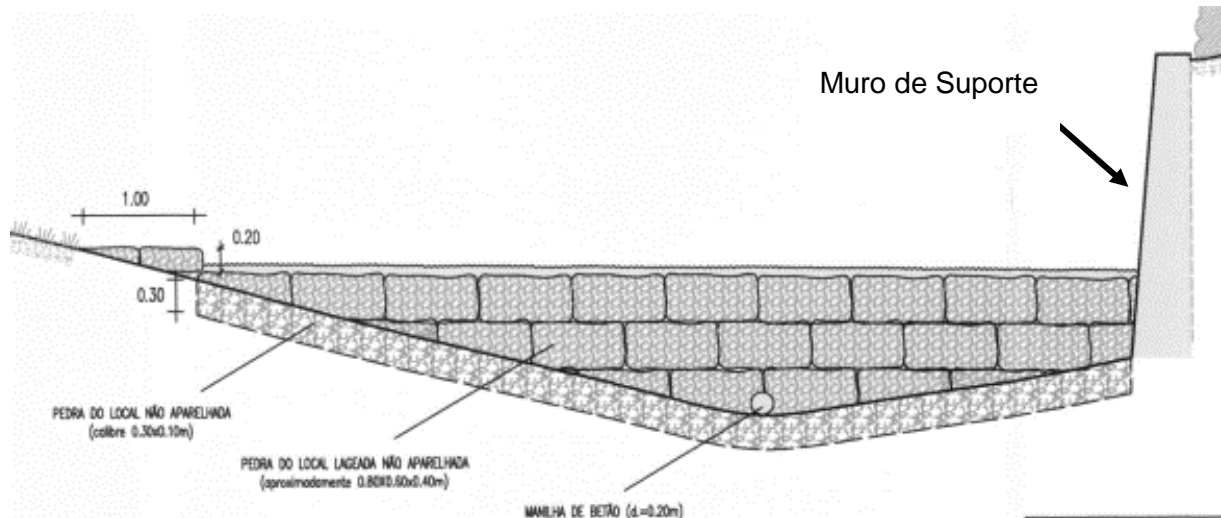


Figura 26 – Corte transversal de um açude tipo.

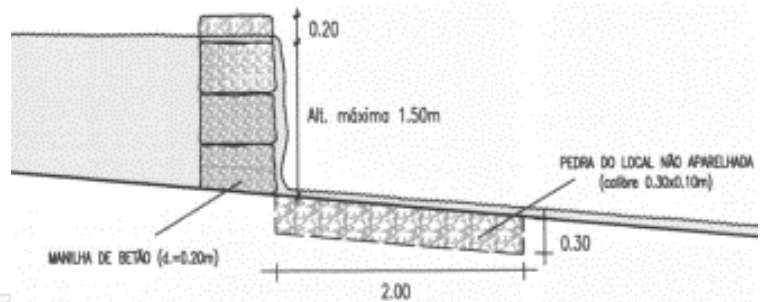


Figura 27 – Pormenor da zona do descarregador de fundo.

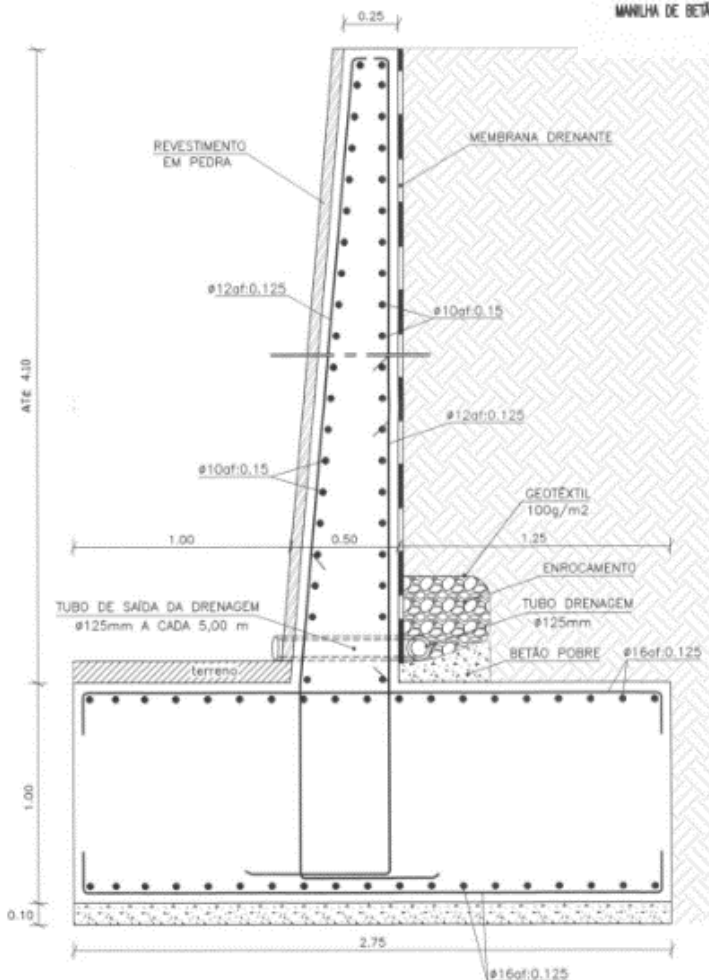


Figura 28 – Corte transversal do muro de suporte.

Bacia de Retenção 7

Localização

Concelho: Silves Freguesia: Pêra

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento com implantação de edifício de habitação plurifamiliar.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 10 min.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: O cálculo do volume da bacia de retenção foi feito com base na diferença de caudal verificada após aumento do coeficiente de escoamento de 0,4 para 0,8. Considerando depois uma chuvada com duração de 10 min, obteve-se o volume a reter.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia seca enterrada.

Volume: 175 m³

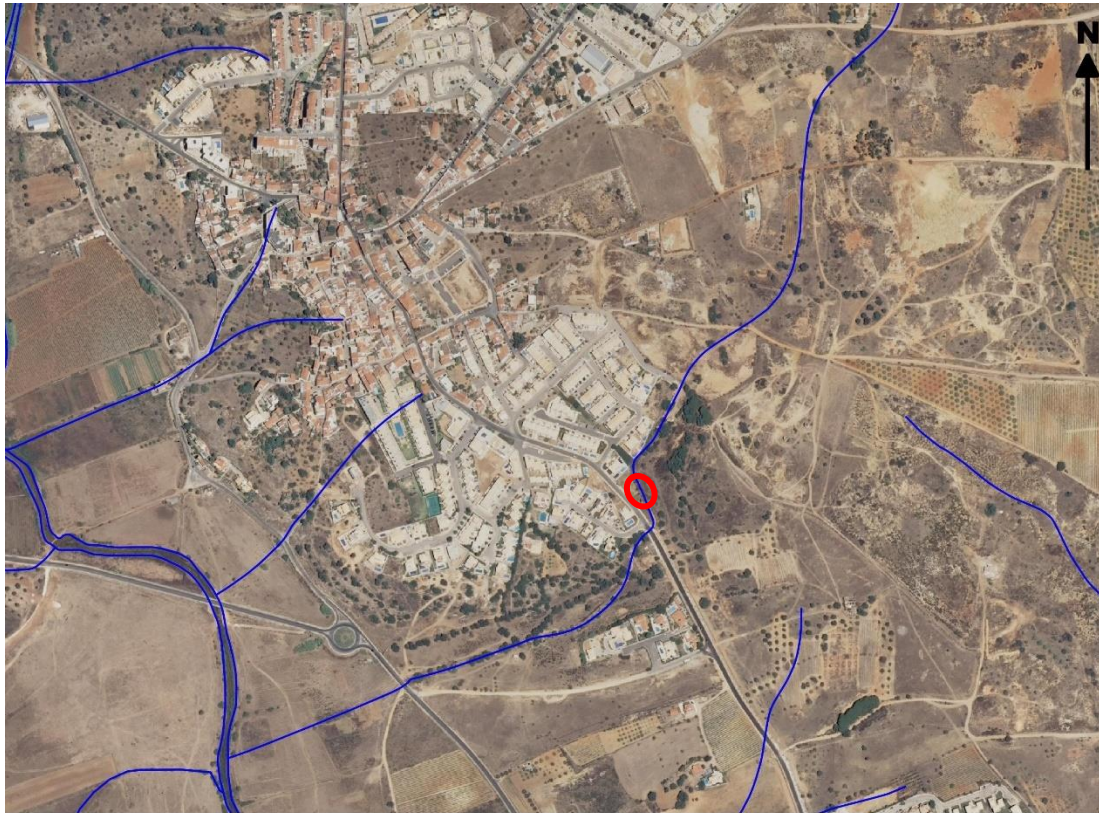
Área da Bacia Hidrográfica: 5+8+87+3 = 103 ha

Materiais: Não são descritos.

Observações

A água retida na bacia será utilizada para fins compatíveis, como sejam a rega de espaços verdes.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

Figura 29 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

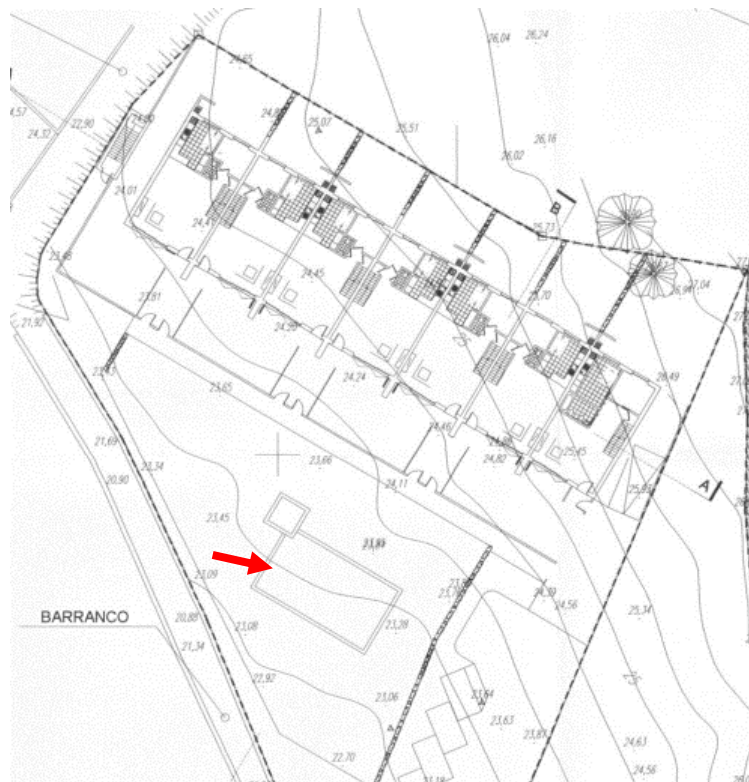


Figura 30 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

Bacia de Retenção 8

Localização

Concelho: Monchique Freguesia: Monchique

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Hotel com piscina e espaços verdes exteriores.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Média do resultado obtido com as fórmulas de Temez e Kirpich. Como este resultado era inferior a limiar mínimo estabelecido de 5 minutos, adotou-se este período de tempo.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 2 bacias secas a céu aberto em série.

Volume: Não descrito.

Área da Bacia Hidrográfica: $4+2+4+2 = 12$ ha

Materiais: Presumivelmente, uma vez que o projeto não o refere explicitamente, modelação de terreno com mobilização de terras.

Observações

A criação de um conjunto de espaços exteriores de apoio ao complexo hoteleiro obrigou ao desvio da linha de água.

O caudal efluente é controlado por uma PH composta por uma manilha de ϕ 800 mm com caixa retentora de areias e uma outra PH de mais a jusante com dimensões 1,2 x 1,0 m.

A linha de água será reperfilada, de modo a reduzir a área ocupada por esta mas mantendo a mesma capacidade de escoamento. A secção original em V será modificada para uma secção trapezoidal com um metro de base.

O projeto preconiza também a construção de um reservatório abastecido pelas águas drenadas pela área impermeabilizada do empreendimento, para posterior aproveitamento para rega de espaços verdes. Uma vez atingida a capacidade máxima do reservatório a descarga será feita para a linha de água a desviar.

Fase de Execução – Licença emitida. O hotel foi construído mas as bacias de retenção não.

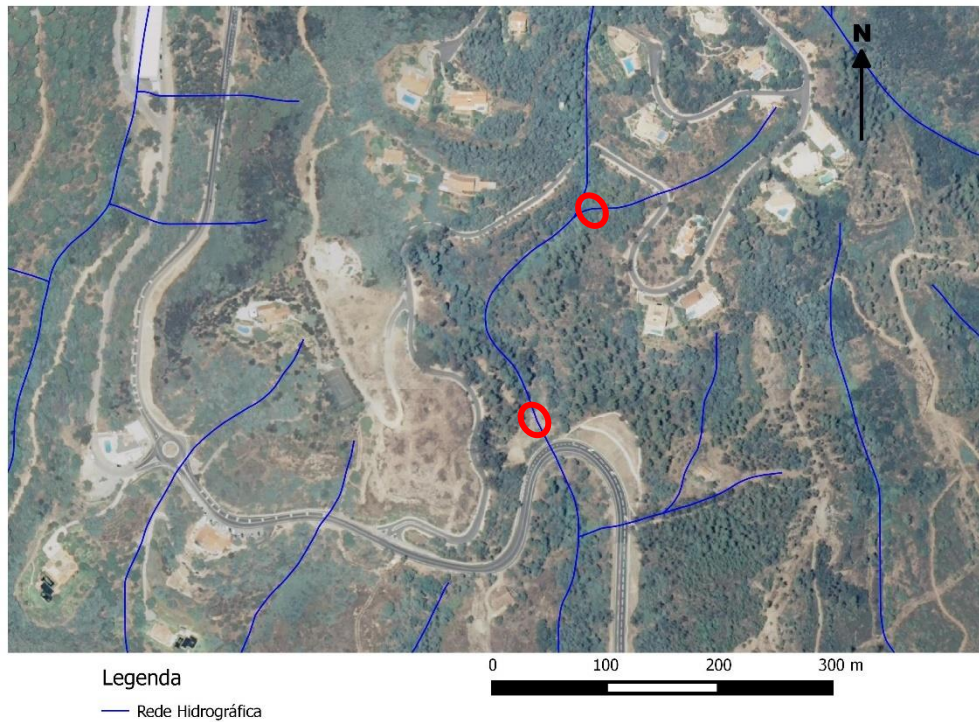


Figura 31 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.

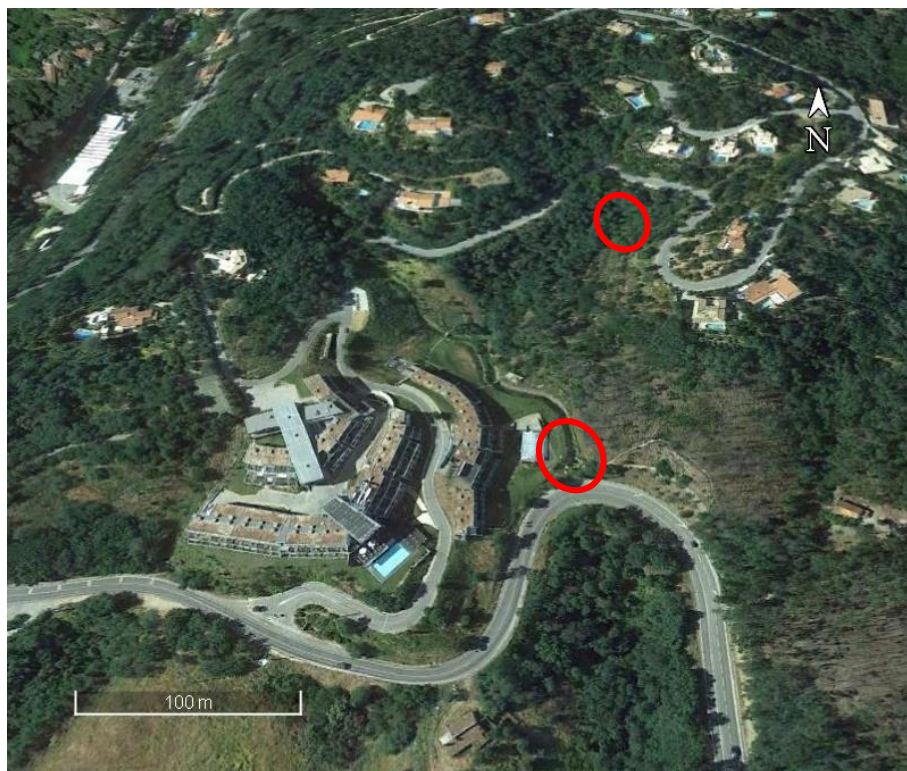


Figura 32 – Vista aérea do local de implantação das bacias de retenção.

Figura 33 – Localização das bacias de retenção no empreendimento.

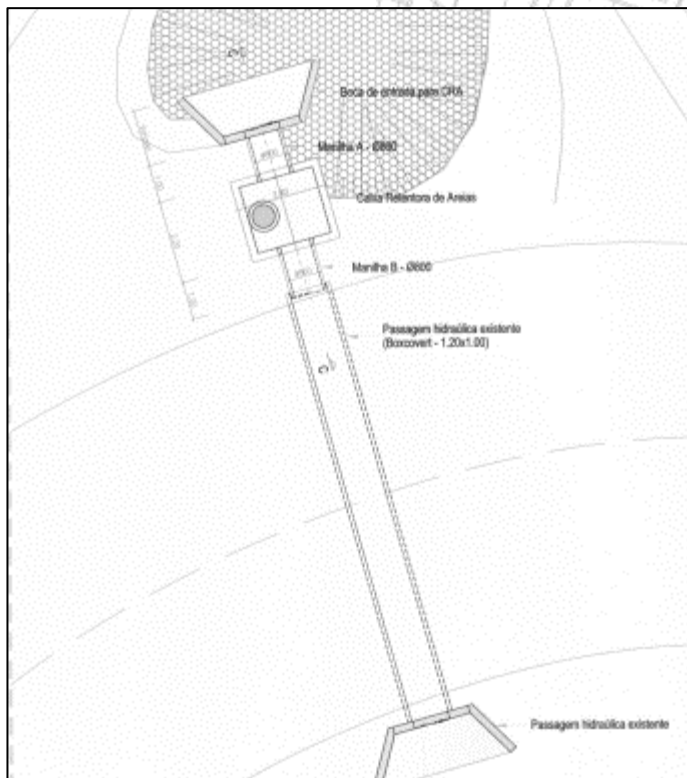
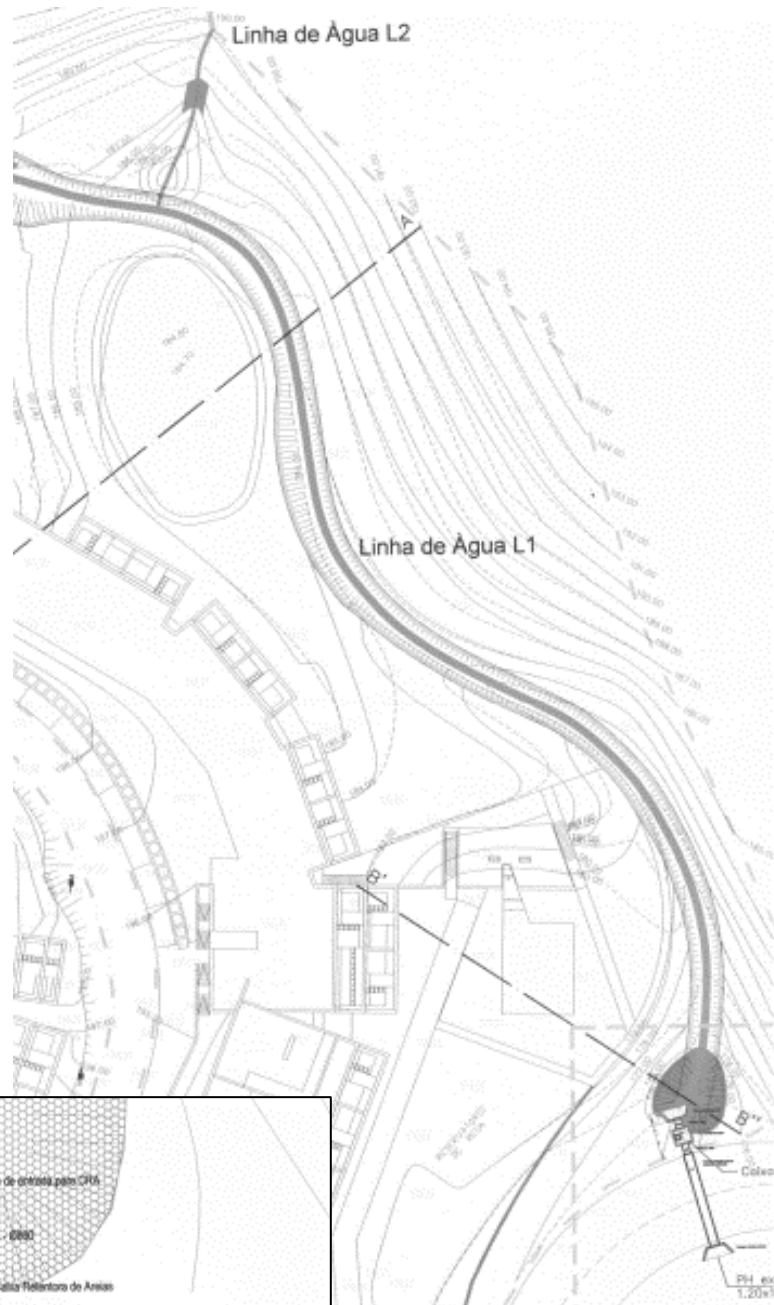


Figura 34 – Pormenor da bacia de retenção e caixa retentora de areias localizada a montante da PH.

Bacia de Retenção 9

Localização

Concelho: Silves Freguesia: Silves

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Empreendimento turístico com campo de golfe.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 10 minutos.
- Período de Retorno: 2 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 2 bacias em série com volume de água permanente. Uma das bacias é constituída por 3 sub-bacias.

Volume: Os cálculos dão um volume mínimo de $3535 + 2023 = 5580 \text{ m}^3$. O projetado é $2789 + 10245 = 13034 \text{ m}^3$. (A diferença será justificada por critérios paisagísticos do promotor)

Área da Bacia Hidrográfica: $90 + 51 = 141 \text{ ha}$

Descarregador de fundo das bacias: Orifício (coletor de betão) $\Phi 400 \text{ mm}$.

Descarregador de cheia: Tampa metálica com grelha sumidoura $1,6 \times 1,6 \text{ m}$.

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras.

Observações

O projeto previa uma sub-bacia pertencente ao conjunto 1 que não veio a ser construída.

Fase de Execução – Obra executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

Figura 35 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 36 – Aspeto final de uma das bacias de retenção.

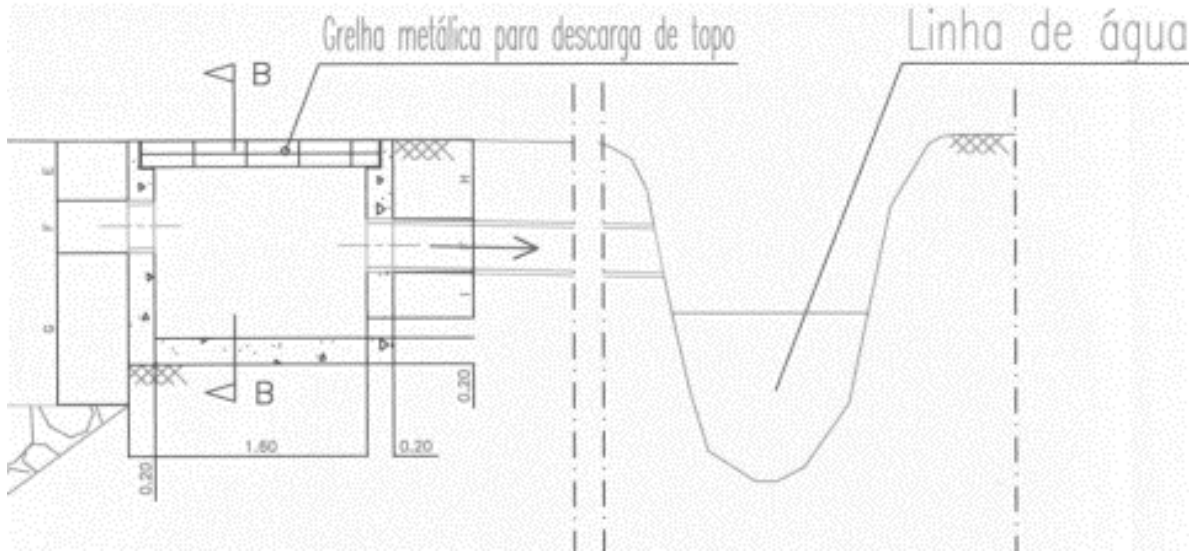


Figura 37 – Corte de órgão de descarga da bacia de retenção 1.

Bacia de Retenção 10

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: Boliqueime

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano com 4 moradias unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 10 minutos.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia enterrada.

Volume: 6 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 21 ha

Descarregador de cheia: Não descrito.

Materiais: Não descrito.

Observações

Aproveitamento da água da bacia de retenção para rega e luta contra incêndios.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Figura 38 – Localização da bacia de retenção face ao loteamento.

Bacia de Retenção 11

Localização

Concelho: Olhão Freguesia: Quelfes

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano com 8 moradias unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Temez.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia seca a céu aberto em serie

Volume: Não descrito

Área da Bacia Hidrográfica: 15 ha

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Descarregador em betão armado.

Observações

Aproveitamento da água da bacia de retenção para rega e luta contra incêndios.

A descarga da bacia de retenção é condicionada a jusante pela existência de uma passagem hidráulica e por um dique galgável em betão armado com descarregador, referido nas peças desenhadas (Figura 40 e Figura 41) como “muros de retenção”.

Cada moradia unifamiliar terá uma cisterna com 15 m³ de capacidade por forma a reduzir o impacto da impermeabilização do terreno

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

0 100 200 300 m

Figura 39 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

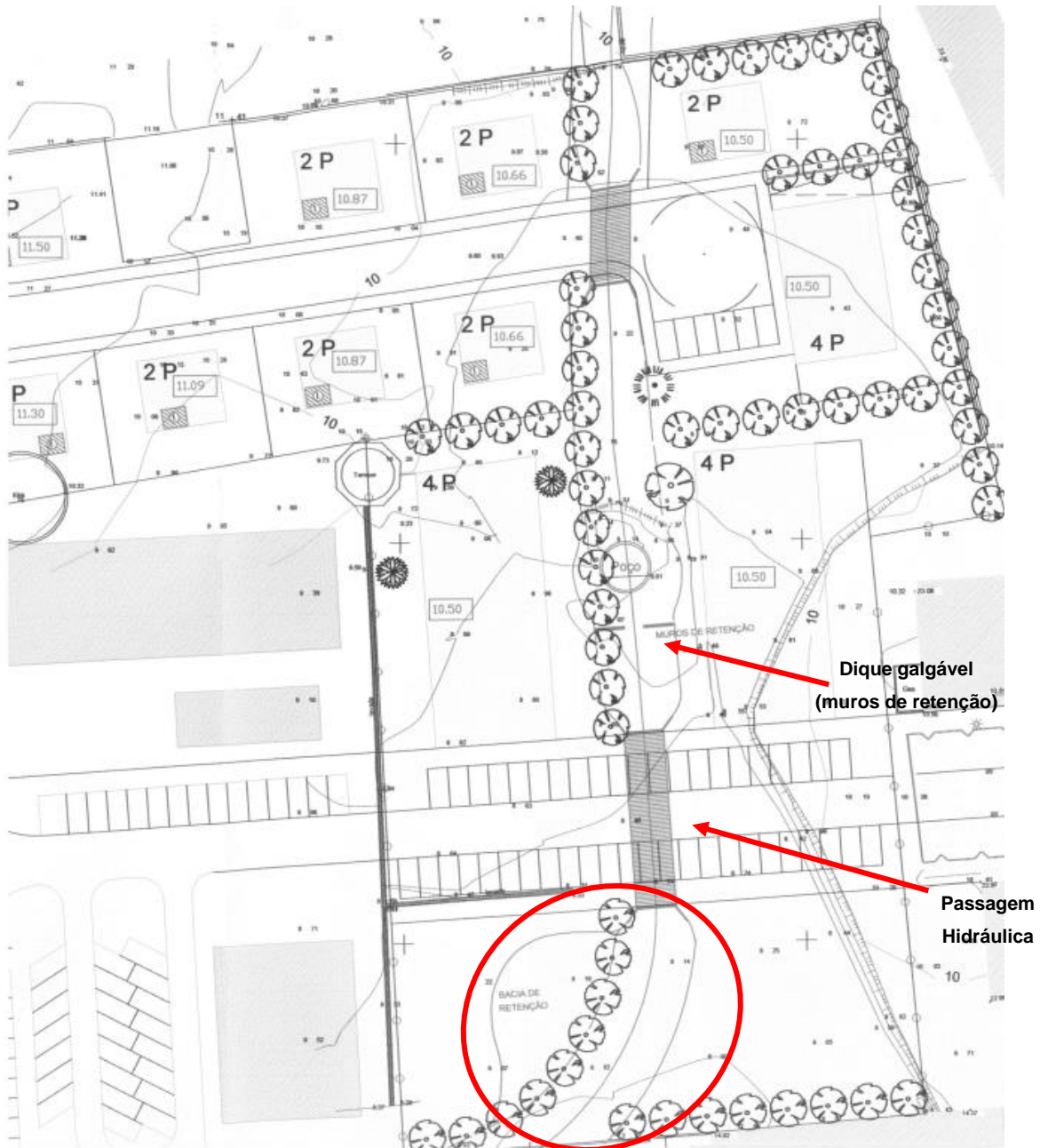


Figura 40 – Localização da bacia de retenção e respetivo descarregador.



Figura 41 – Corte do descarregador e dique galgável.

Bacia de Retenção 12

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: São Sebastião

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano com 14 moradias unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Não descrito.
- Período de Retorno: 10 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia seca a céu aberto em serie

Volume: Não descrito

Área da Bacia Hidrográfica: 8,2 ha

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Descarregador em aterro compactado revestido com pedra do barrocal

Observações

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.

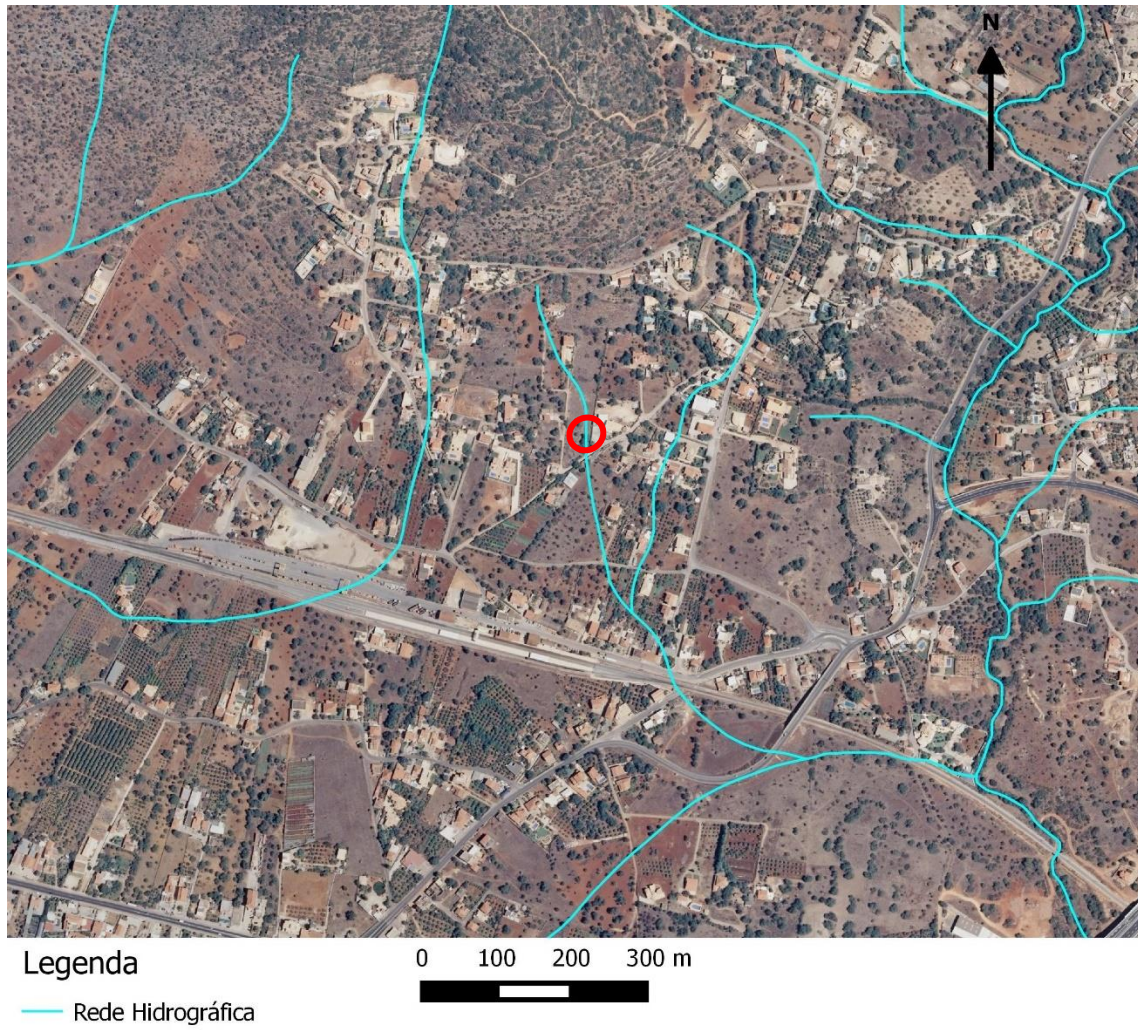


Figura 42 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

Figura 43 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

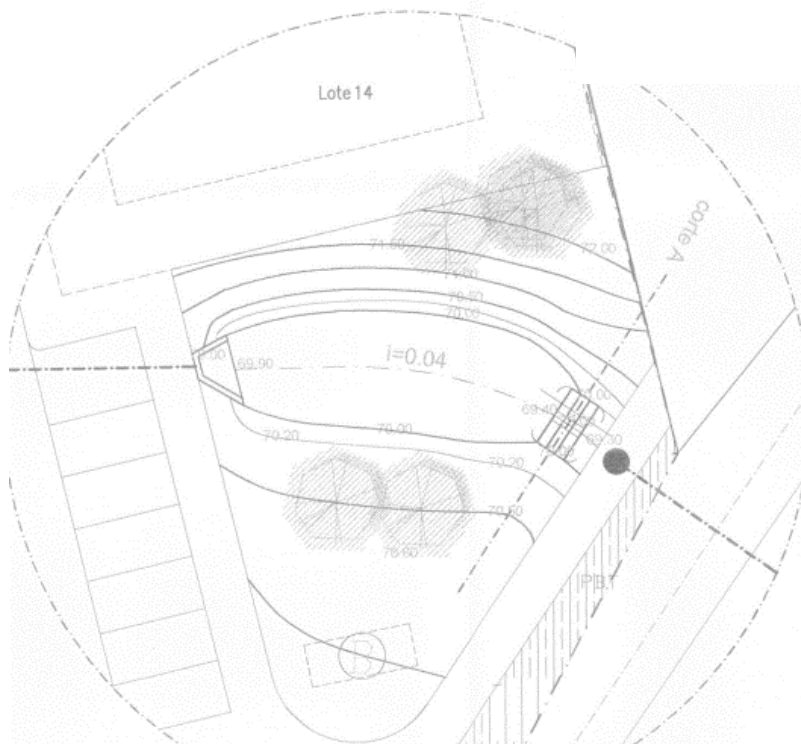
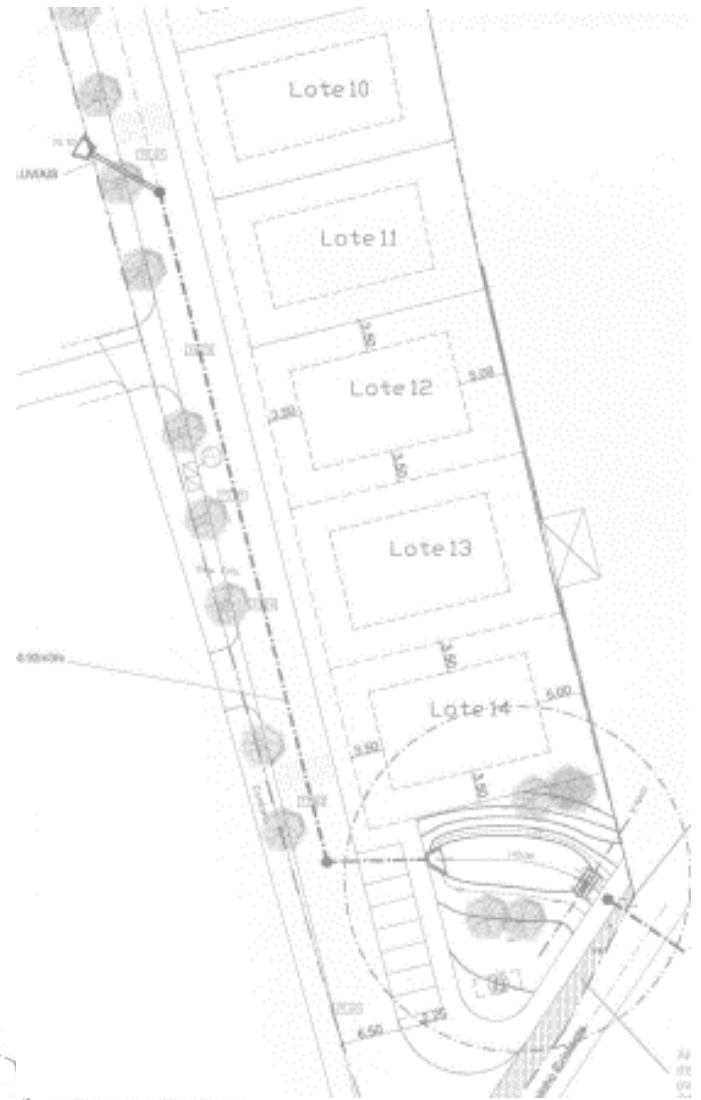


Figura 44 – Pormenor da bacia de retenção.

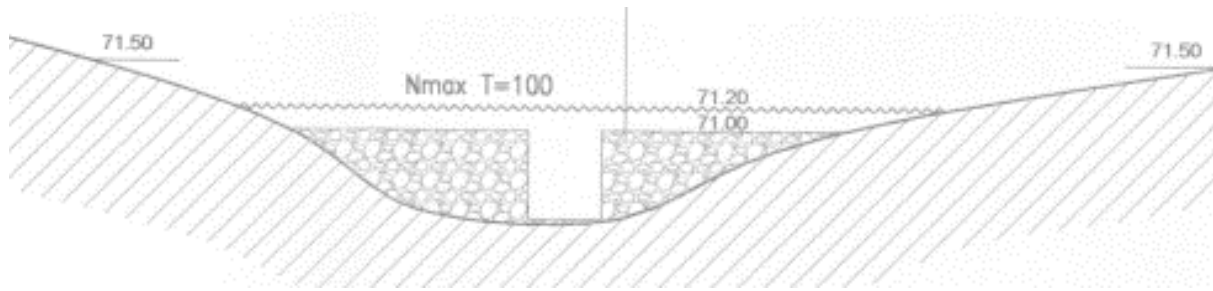


Figura 45 – Corte do descarregador e dique galgável.

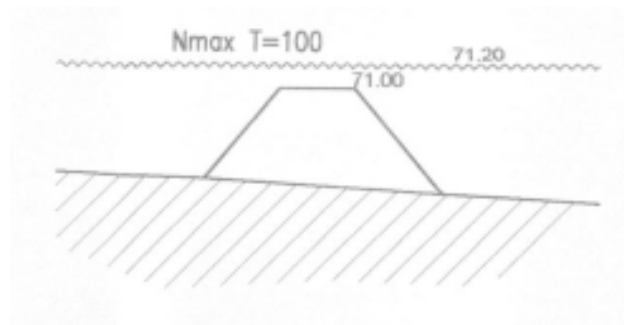


Figura 46 – Corte transversal do dique galgável..

Bacia de Retenção 13

Localização

Concelho: Lagoa Freguesia: Ferragudo

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano para moradias unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Valor mínimo resultante da aplicação das fórmulas da California Highways and Public Works, Kirpich, e Ven Te Chow.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 3 bacia em serie com volume de água permanente

Volume: 120 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 4 ha

Descarregador: Descarregador de soleira espessa

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Bacias revestidas a tela e calhau rolado. Diques em betão armado.

Observações

A jusante do loteamento, a linha de água encontra-se limitada em termos de capacidade de escoamento devido à existência de uma caixa de drenagem de águas pluviais com uma tubagem de diâmetro 0,40 m. Determinou-se que para este diâmetro de tubagem o caudal máximo drenado será de 0,21 m³/s, assim sendo, para reduzir o risco de inundação foi necessário criar um conjunto de bacias de retenção que garantissem que esse valor de caudal para um período de retorno de 100 anos nunca fosse ultrapassado.

O nível de água permanente terá uma altura máxima de 0,80 m, e estará em constante circulação por ação de um sistema de bombagem.

O nível de água nas bacias de retenção terá uma altura máxima de 0,50 m e uma superfície média livre de 120 m², permitindo assim um volume retido máximo de 60 m³ por cada bacia.

A água estará em constante circulação por ação de um sistema de bombagem

Fase de Execução – Obra executada.

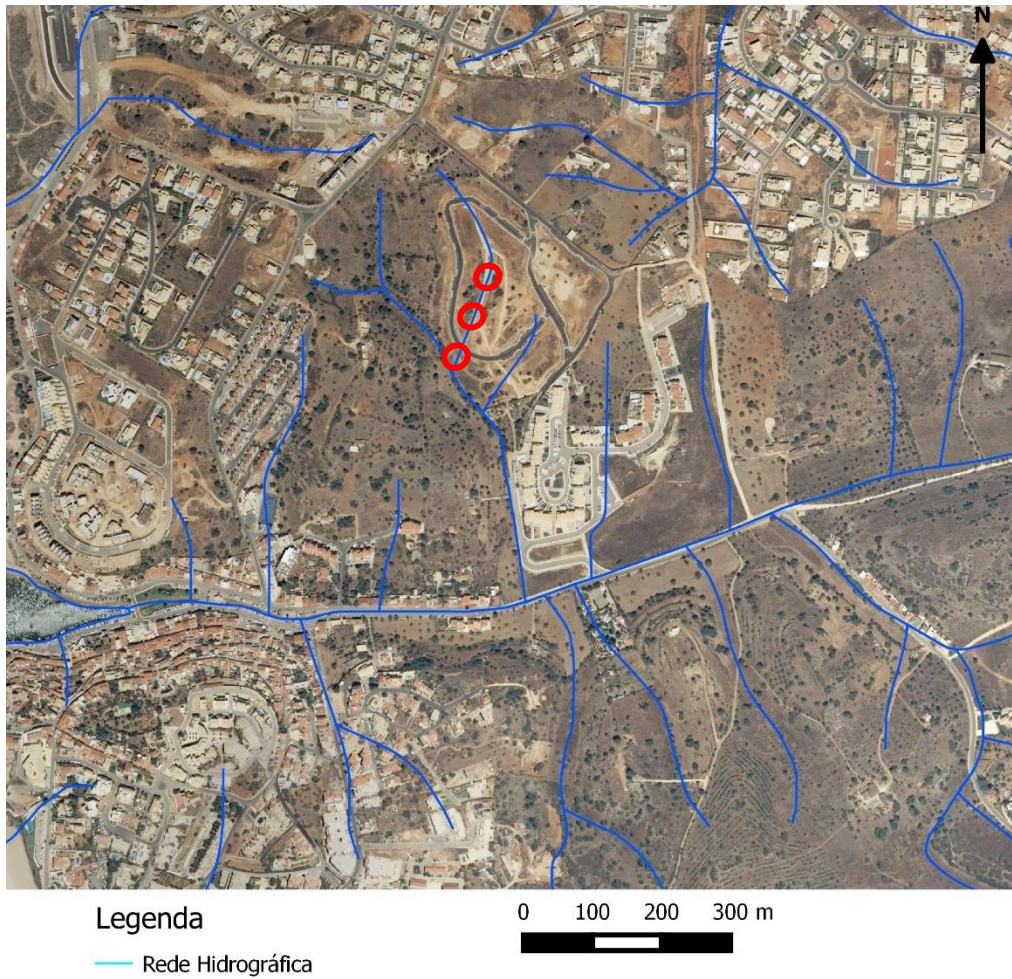


Figura 47 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 48 – Localização das bacias de retenção no loteamento.



Figura 49 – Vista de montante do conjunto de bacias de retenção.



Figura 50 – Vista da bacia de retenção mais a jusante do sistema.



Figura 51 – Vista de jusante da bacia de retenção intermédia.



Figura 52 – Pormenor do sistema de bombagem responsável pela circulação de água.

Bacia de Retenção 14

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: São Sebastião

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano para moradias unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 5 minutos.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 10 bacias secas enterradas + Bacia a céu aberto seca em série

Volume: $20 \times 10 = 200 \text{ m}^3$ (bacias enterradas) + $162,5 \text{ m}^3$ (bacia a céu aberto) = $362,5 \text{ m}^3$

Área da Bacia Hidrográfica: Não descrito

Descarregador: Não descrito

Materiais: Betão armado ou fibra de vidro.

Observações

Conjunto de 10 cisternas que recebem água da cobertura dos edifícios, fazendo o aproveitamento da água para rega. Após enchimento das cisternas, está previsto que o excedente seja descarregado diretamente na rede pluvial ou então na rede viária.

A linha de água entra no loteamento por via de uma passagem hidráulica, sendo que à saída desta se reperfilará a topografia natural, estabelecendo um canal de secção trapezoidal vegetado que terá como função principal o amortecimento de caudais. O canal terá dimensões aproximadas de 1,5 m junto ao leito e 5 m na crista, tendo uma capacidade de vazão muitas vezes superior ao caudal centenário. A secção retoma o seu desenho original logo após a transposição da área do loteamento. Esta solução assemelha-se a uma bacia de retenção a céu aberto seca com um descarregador não dimensionado, mas que acaba por ser imposto na interface canal reperfilado/linha de drenagem natural.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.

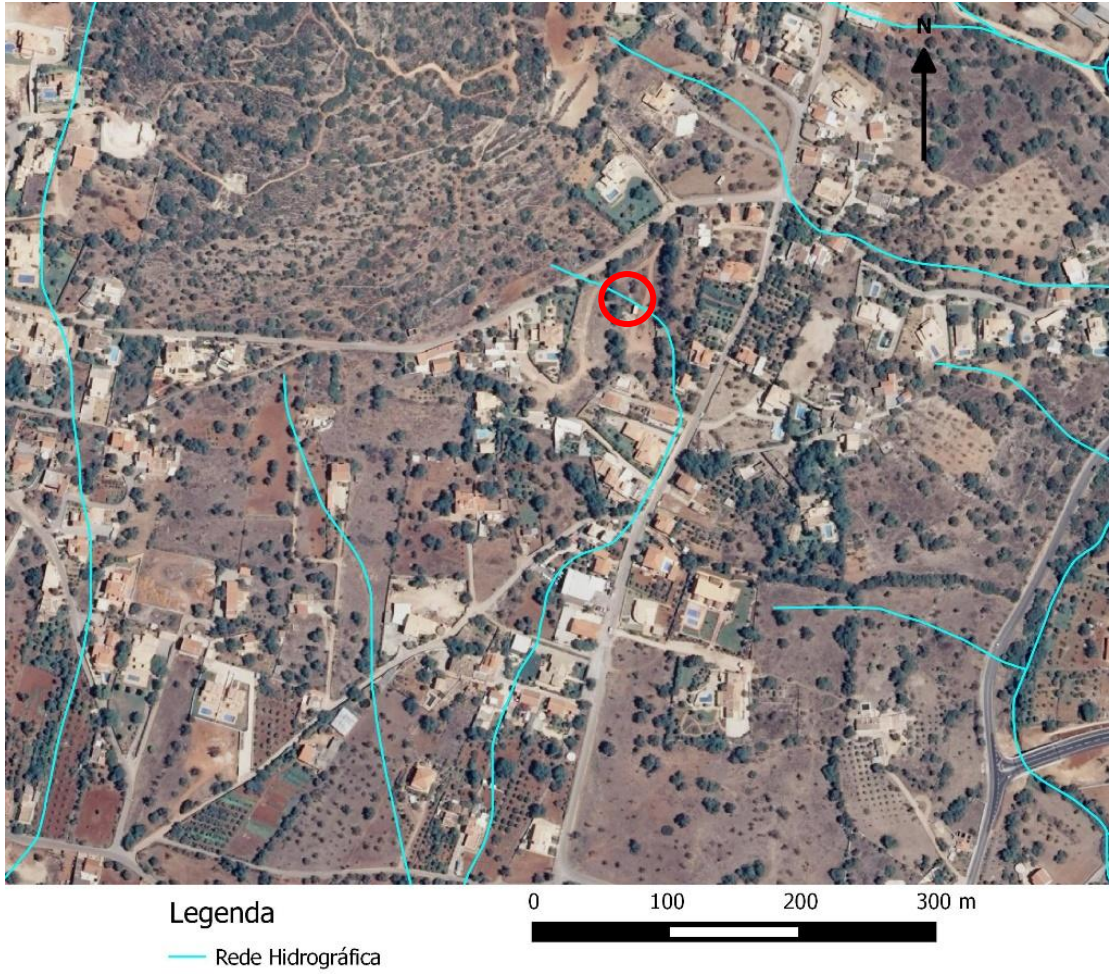
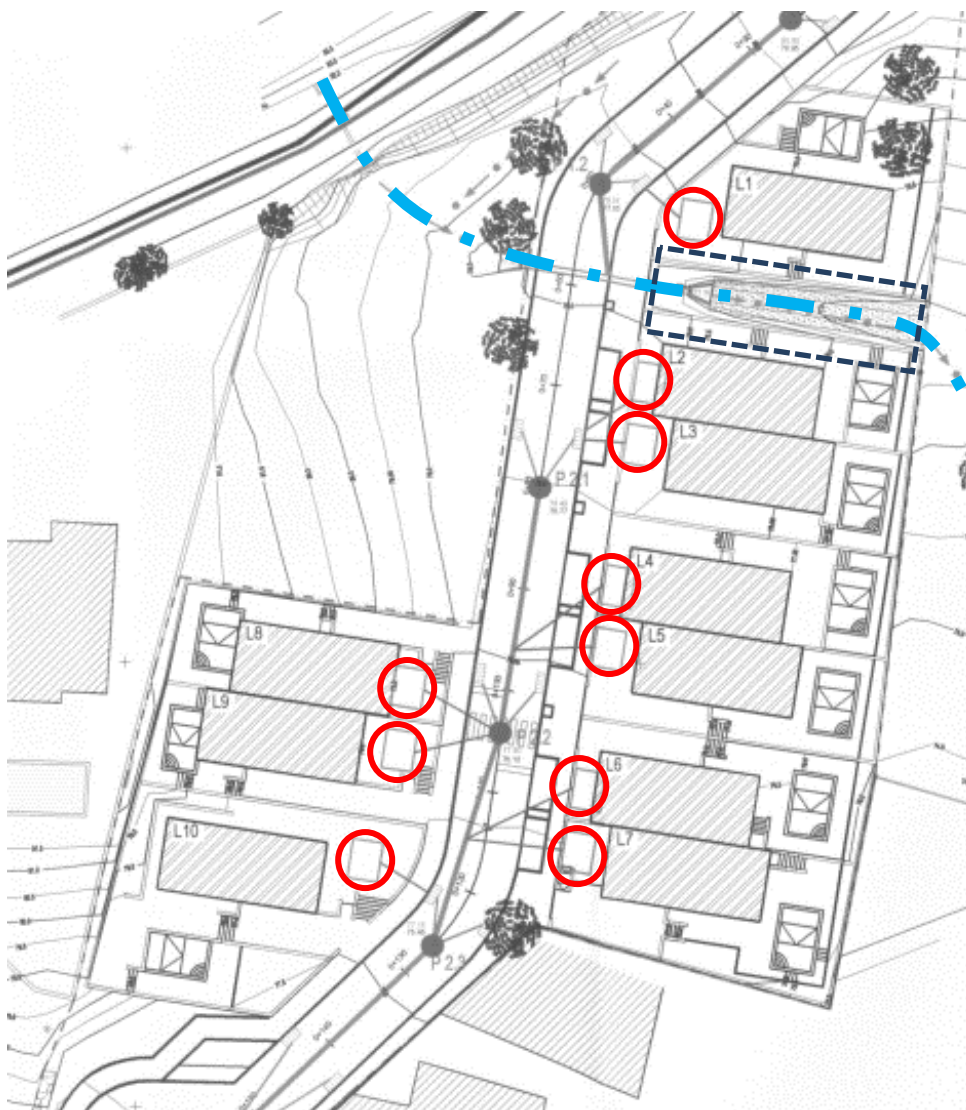


Figura 53 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.






-  Linha de água
-  Bacia enterrada
-  Bacia de retenção a céu aberto

Figura 54 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

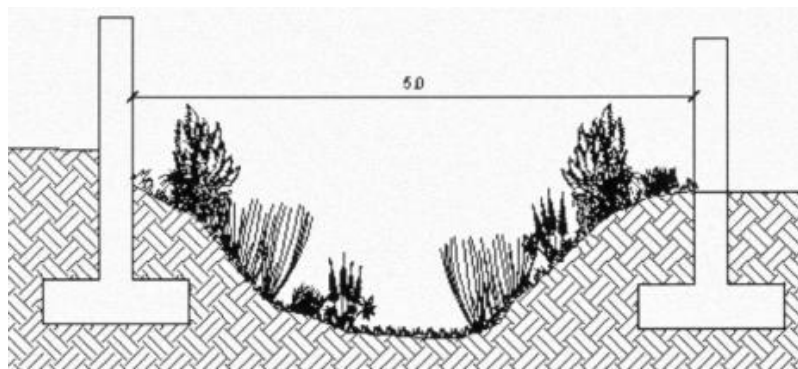


Figura 55 – Corte do canal reperfilado na zona do loteamento.

Bacia de Retenção 15

Localização

Concelho: Lagoa Freguesia: Lagoa

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento Industrial

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Temez.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Arbitrou-se, atendendo à observação visual de marcas de cheia, um valor de altura de inundação médio de 1,5 m. Antes do loteamento, a capacidade de encaixe de toda a área com cotas inferiores às da implantação dos edifícios é de 49 500 m³. Após as intervenções de reperfilamento das linhas de água e implantação das bacias de retenção essa mesma capacidade de encaixe passa para 54 800 m³. Fica assim salvaguardada a integridade do edificado em situações de cheia.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 7 bacias de retenção em paralelo a céu aberto.

Volume: $65 \times 2 + 55 \times 2 + 40 \times 2 + 40 \times 2 + 40 \times 2 + 55 \times 2 + 125 \times 2,6 = 915 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 915 \text{ m}^3$

Área da Bacia Hidrográfica: 130 ha

Descarregador: Orifício (Φ 250 mm)

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Bacias com o leito parcialmente revestido a calhau rolado. Descarregador composto por tubagem em polipropileno (PPR)

Observações

A área impermeável do loteamento é de 44 954 m² e a área ocupada pelos equipamentos é de 27 600 m².

A adução de água às bacias de retenção é feita por tubagem de diâmetro idêntico ao que é responsável pela descarga dos caudais retidos

A água afluyente às bacias terá duas origens: o sistema de drenagem das áreas impermeabilizadas, e o transbordo do leito ordinário das duas linhas de água que atravessam o loteamento.

A água das bacias será aproveitada para rega de espaços verdes.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

Figura 56 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.

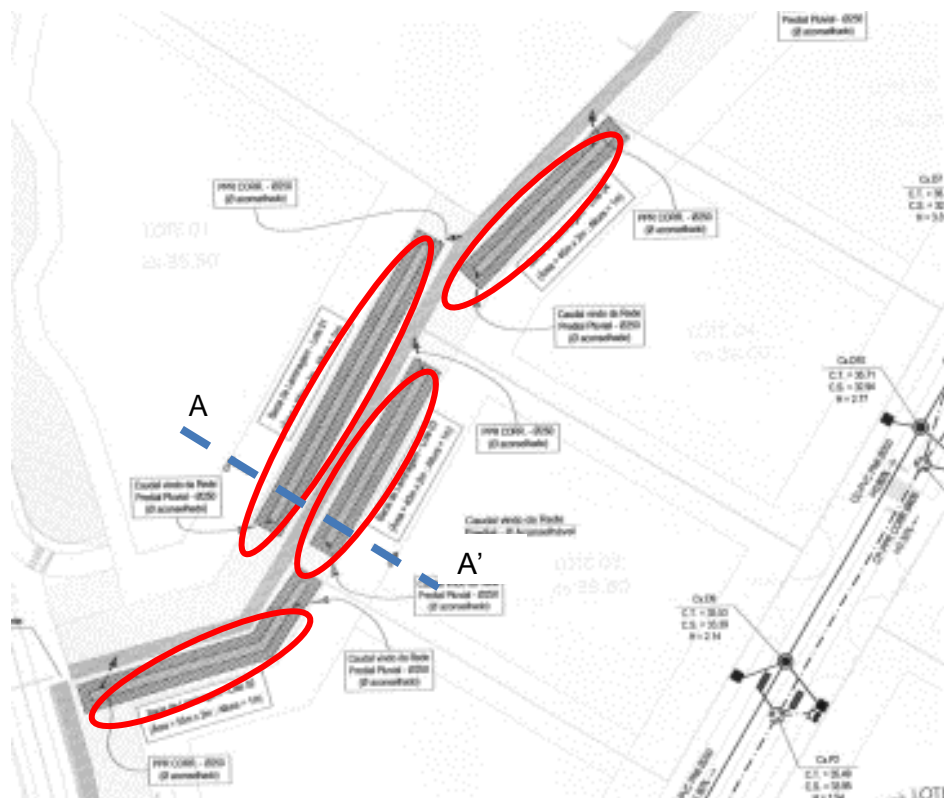


Figura 57 – Excerto da planta de localização com a representação de 4 bacias de retenção.

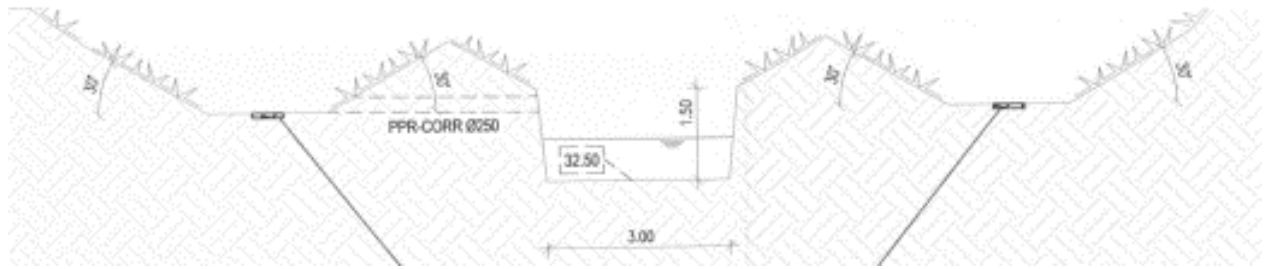


Figura 58 – Corte A-A'.

Bacia de Retenção 16

Localização

Concelho: Albufeira Freguesia: Albufeira

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano (20 moradias unifamiliares isoladas + edifício de habitação coletivo)

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 10 min.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca em série enterrada. A bacia consiste num box culvert semi-tamponado no final.

Volume: 10 (comprimento) x 1,5 (largura) = 15 m² x 1 (altura) m = 15 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 0,57 ha

Descarregador: Descarregador de soleira espessa.

Materiais: Betão armado pré fabricado (box culvert).

Observações

No final do emalilhamento é criada uma bacia de retenção através da diminuição da pendente da tubagem bem como a criação de dissipadores de energia e um muro com uma abertura de diâmetro 200 mm para escoamento das águas sem provocar erosão no terreno vizinho.

A área da bacia hidrográfica não está correta. Ao invés dos 0,57 ha apontados pelo projetista, o real são 42 ha. Esta alteração implica um necessário aumento de volume da bacia de retenção. Pré-dimensionando com a fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95, e mantendo os restantes valores assumidos, obtêm-se um volume de 131 m³.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.

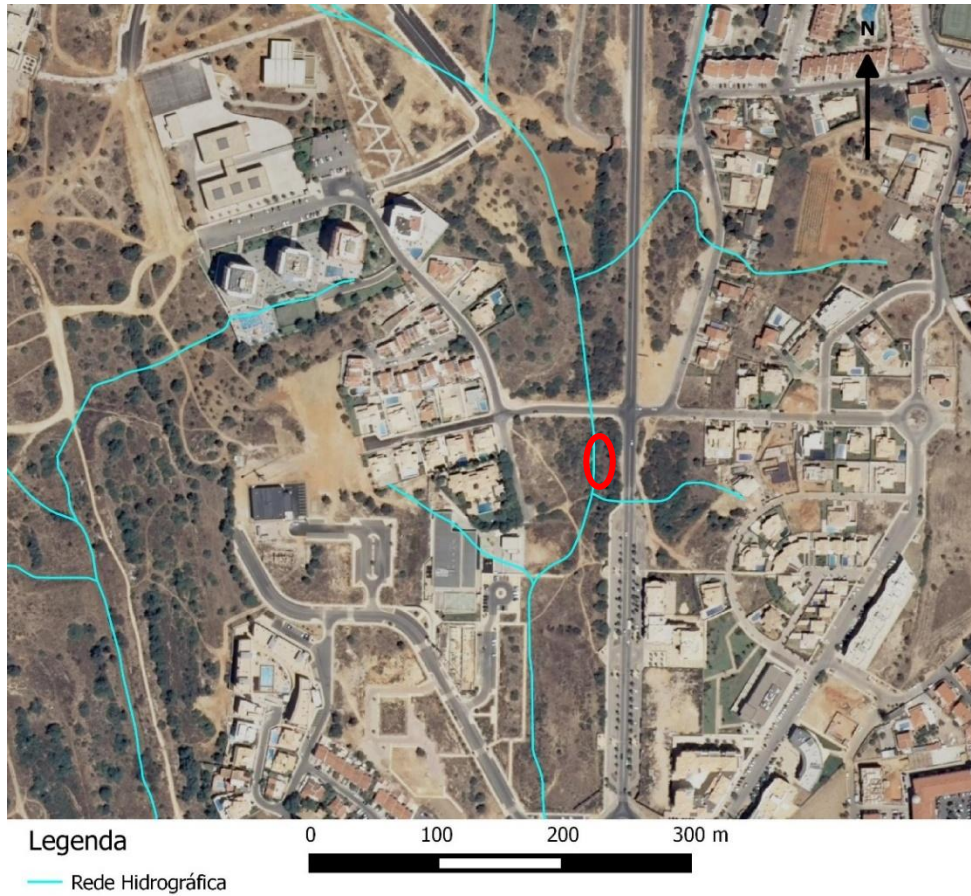


Figura 59 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 60 – Bacia hidrográfica.

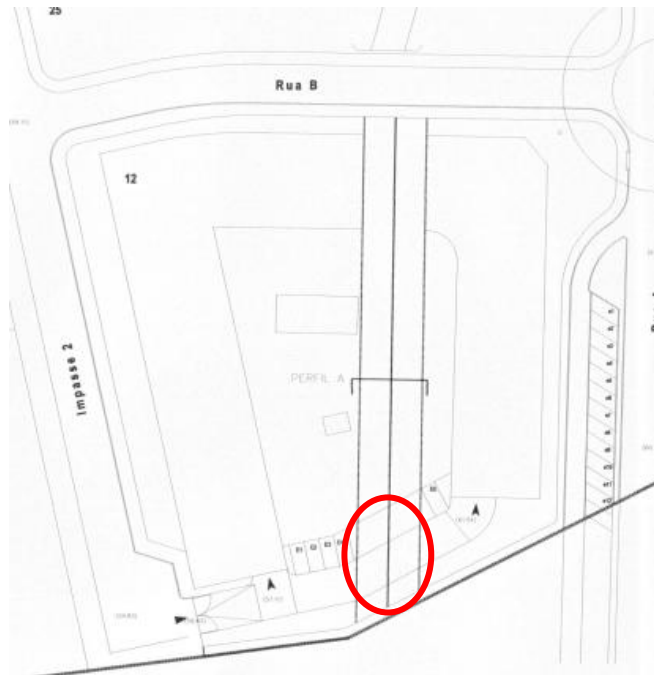


Figura 61 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

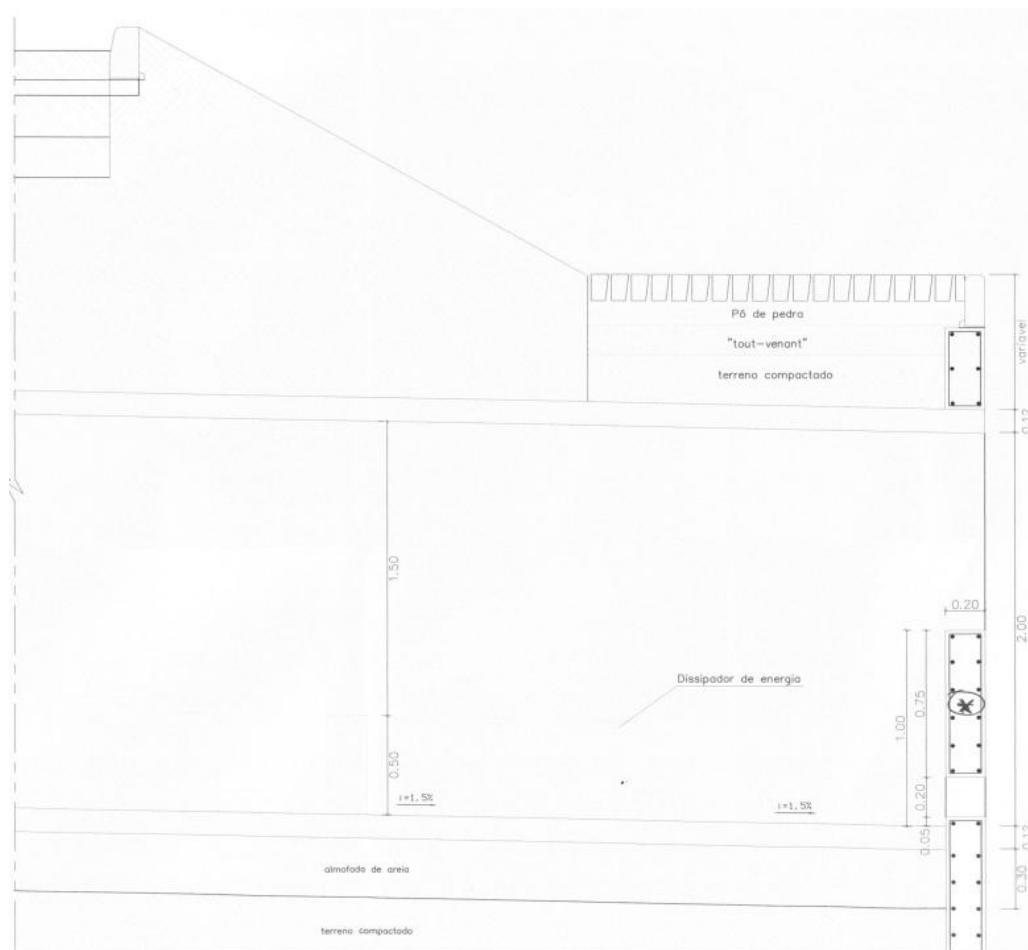


Figura 62 – Corte da bacia de retenção.

Bacia de Retenção 17

Localização

Concelho: Loulé

Freguesia: Almancil

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano de moradias unifamiliares isoladas.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Média aritmética do resultado obtido com as fórmulas de Giandotti, Temez e Kirpich.
- Período de Retorno: 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: O comportamento hidráulico das bacias de retenção foi modelado com recurso a *software* não especificado.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 9 bacias de retenção secas a céu aberto em série. Na linha de água a poente situam-se 6 ficando as restantes 3 na linha de água nascente.

Volume: 346 m^3 (bacias da linha de água nascente) + 623 m^3 (bacias da linha de água poente) = 969 m^3

Área da Bacia Hidrográfica Nascente: 68,2 ha

Área da Bacia Hidrográfica Poente: 8,8 ha

Descarregador: Descarregador de soleira espessa

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Enrocamento com pedra da região e manta geotêxtil.

Observações

A inclinação natural da linha de drenagem nascente é de aproximadamente 4,0%, passando a 1,0% após a intervenção prevista. Deste modo, diminui a velocidade e aumenta a altura de escoamento, aumentando o volume de água armazenado no troço. Na linha de drenagem poente ocorre um processo semelhante, com a inclinação natural de aproximadamente 2,5% a passar para valores entre 0,5 e 1,0% , após a intervenção.

Em virtude de terem decapado uma grande área de terreno, deu-se um aporte extraordinário de sedimentos para a linha de água e conseqüentemente para as bacias de retenção. Conseqüentemente, verificou-se o assoreamento generalizado das bacias, chegando os órgãos descarregadores de algumas destas a colapsar.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra iniciada mas entretanto suspensa.

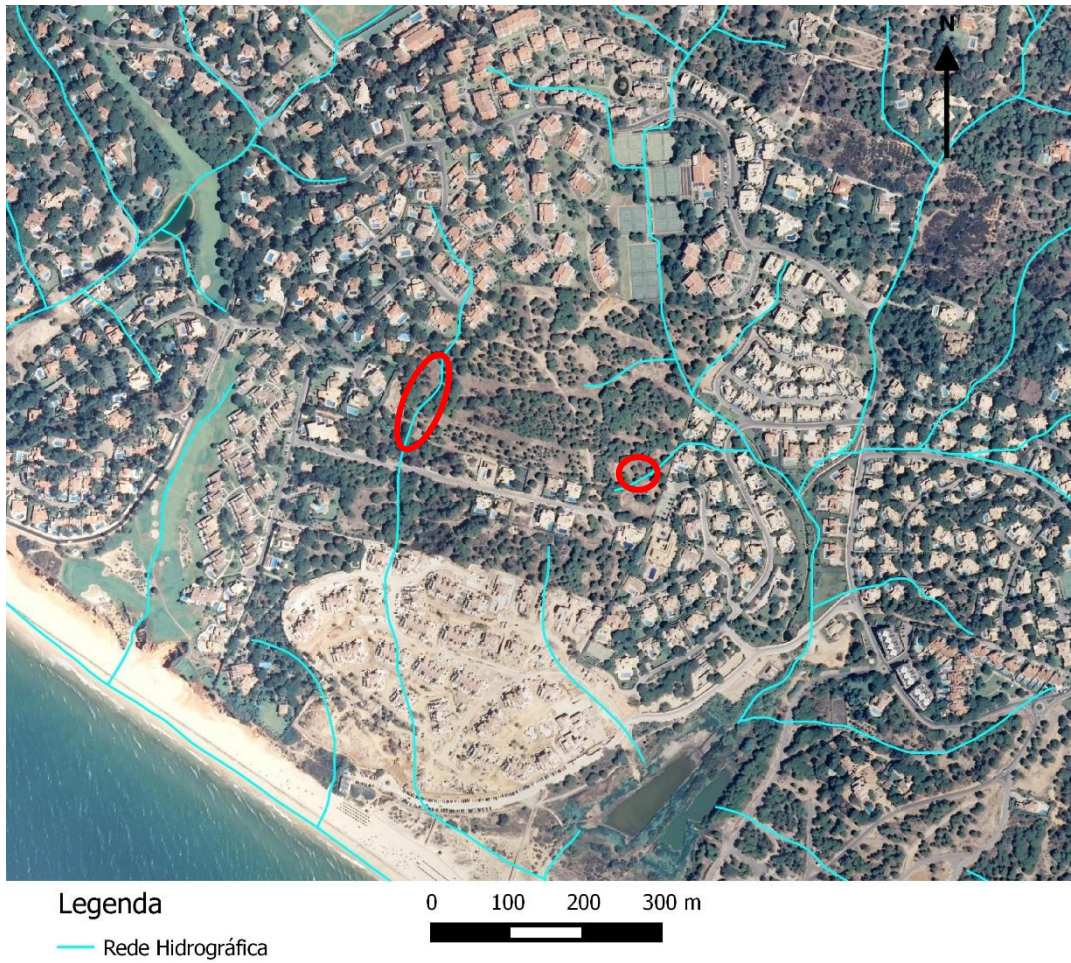


Figura 63 – Zona de implantação das bacias de retenção face à rede hidrográfica.

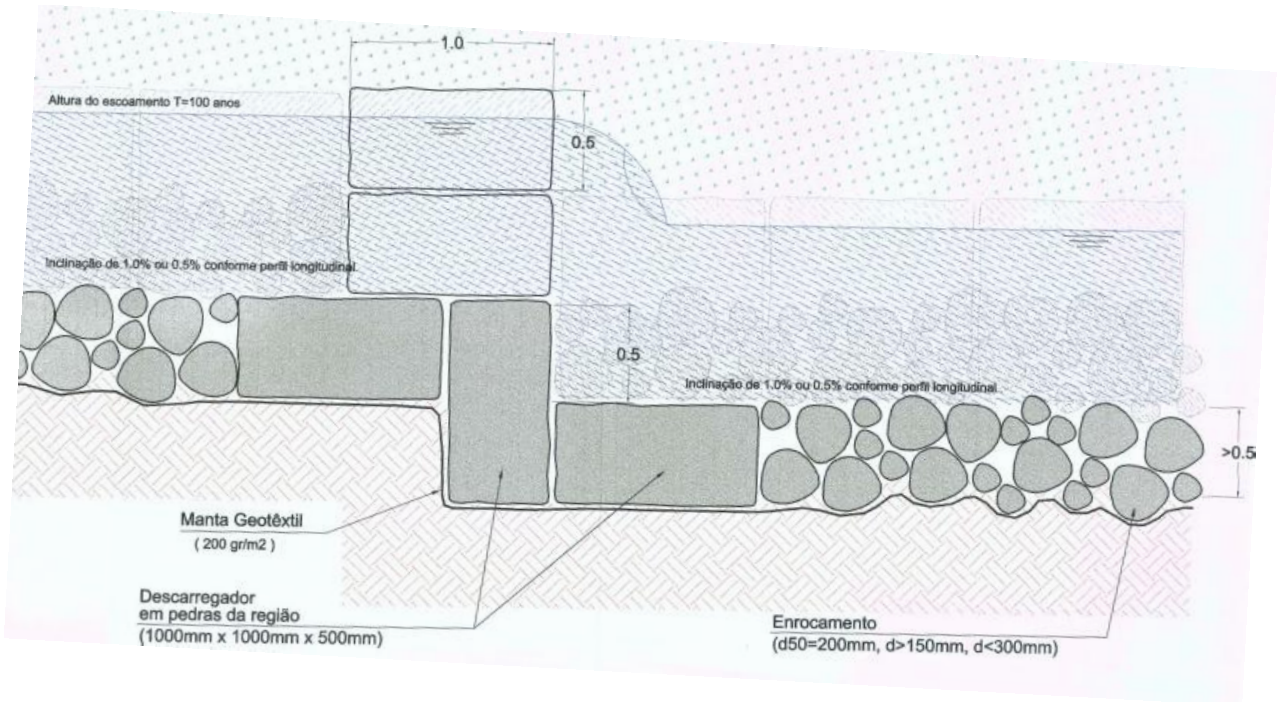


Figura 64 – Corte longitudinal tipo dos descarregadores.

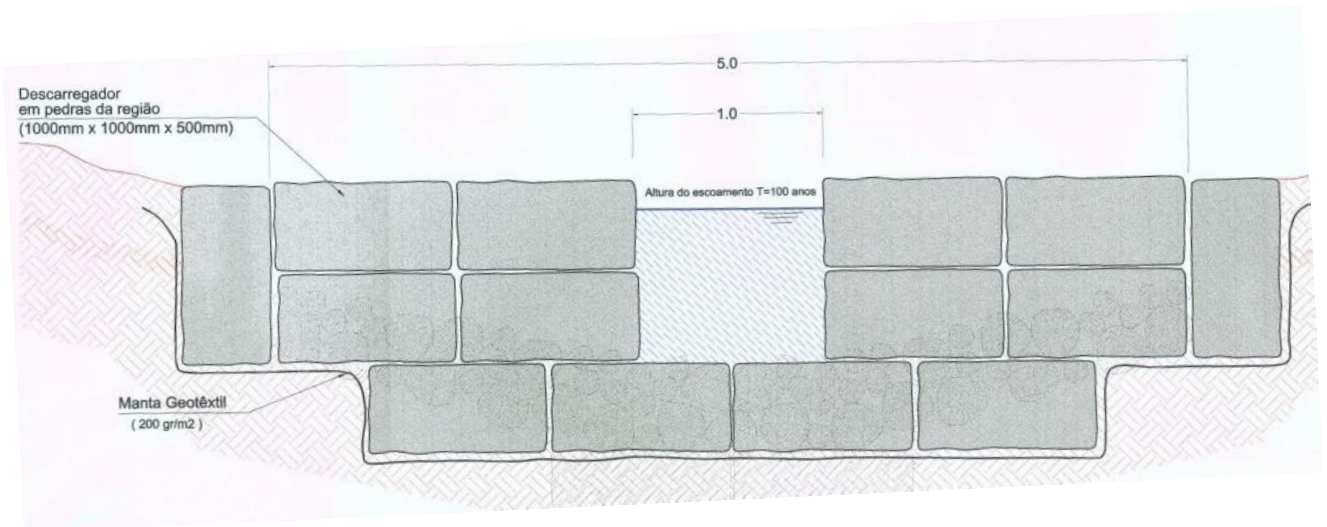


Figura 65 – Corte transversal tipo dos descarregadores.



Figura 66 – Vista de montante de uma das bacias, sendo observável o assoreamento generalizado, assim como a bacia que se segue imediatamente.



Figura 67 – Vista de jusante da bacia da figura anterior.



Figura 68 – Ravinamento observável na área do loteamento.



Figura 69 – Ravinamento observável na área do loteamento.

Bacia de Retenção 18

Localização

Concelho: Faro Freguesia: Montenegro

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano de moradias unifamiliares em banda.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Não aplicável.
- Tempo de Concentração: Não aplicável.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula de Loureiro.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 2 bacias de retenção secas a céu aberto em série.

Volume: $83 \text{ m}^3 + 26 \text{ m}^3 = 109 \text{ m}^3$

Área da Bacia Hidrográfica: 2,5 ha

Descarregador: Bacia Montante – Linha de água consolidada (ver Figura 73)

Bacia Jusante - 2 Orifícios Φ 400 mm (manilhas em betão armado)

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Linha de água artificializada com recurso a pedra assente em argamassa de cimento e areia.

Descarregador em betão armado pré-fabricado (bacia de jusante).

Observações

A solução apresentada para a bacia de retenção de montante é bastante simples, assemelhando-se mais a uma trincheira de infiltração.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

0 100 200 300 m

Figura 70 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.

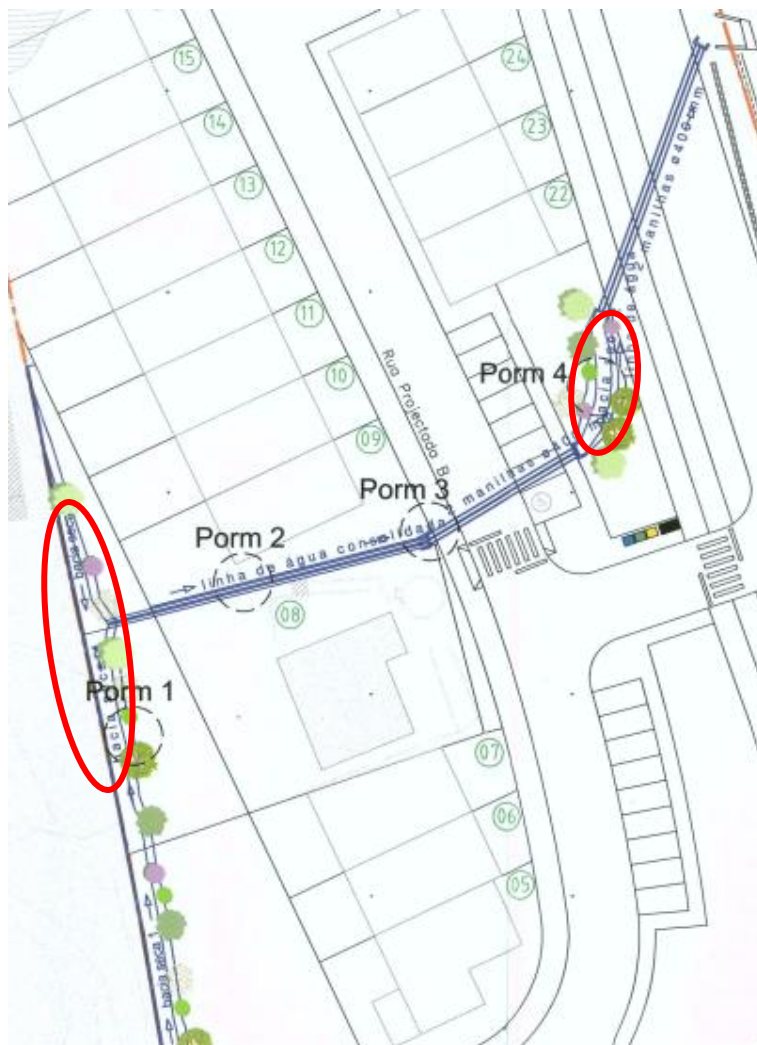


Figura 71 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

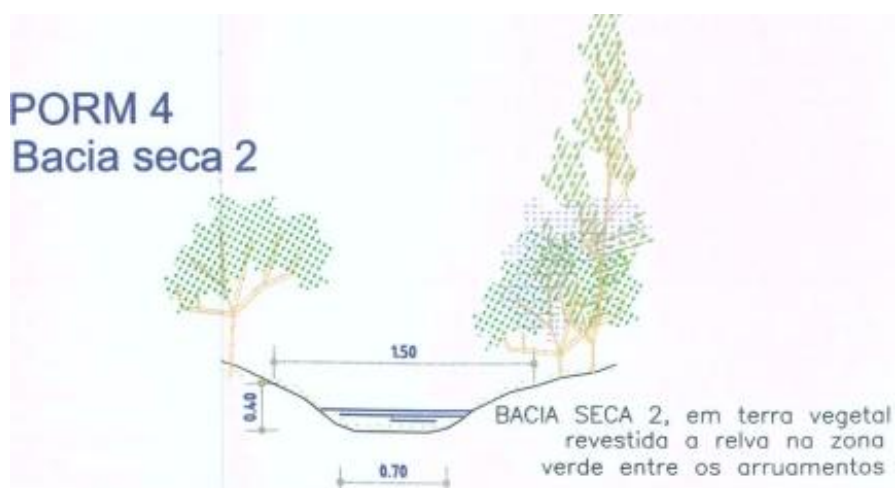


Figura 72 – Corte transversal da bacia de retenção de jusante (2).

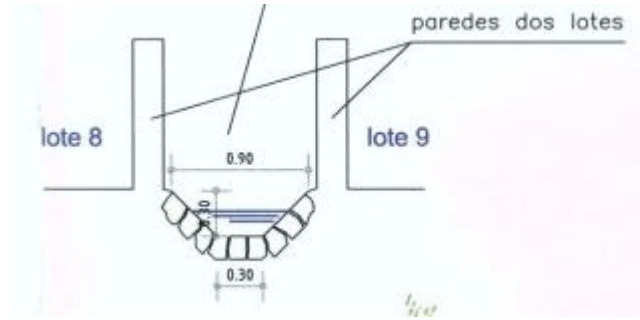


Figura 73 – Corte transversal da linha de água imediatamente a jusante da bacia de retenção 1.

Bacia de Retenção 19

Localização

Concelho: Faro Freguesia: Montenegro

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano de moradias unifamiliares

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Temez.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume das Bacias: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca a céu aberto em série.

Volume: 70 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 2 + 8 = 10 ha

Descarregador: Não descrito.

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras e recurso a brita e manta geotêxtil.

Observações

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

0 100 200 300 m



Figura 74 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

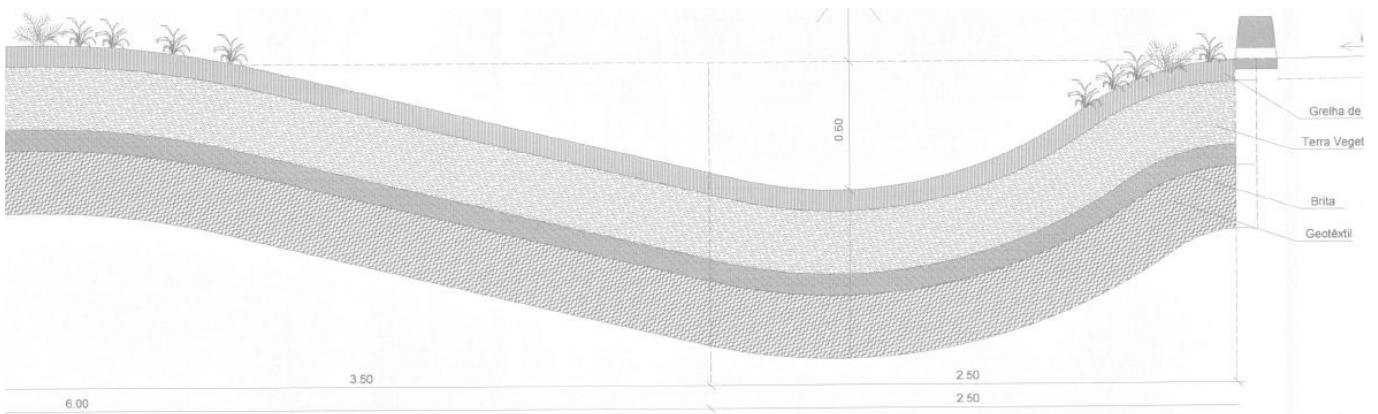


Figura 75 – Corte transversal da bacia de retenção.

Bacia de Retenção 20

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: São Clemente

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Morada unifamiliar

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Kirpich.
- Período de Retorno: 2, 10 e 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume da Bacia: Não descrito. A fórmula de Gauckler-Manning-Strickler foi utilizada para determinar o caudal do descarregador e o caudal em caso de galgamento.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca a céu aberto em série.

Volume: Não descrito

Área da Bacia Hidrográfica: 55,8 ha

Descarregador: Descarregador de soleira espessa

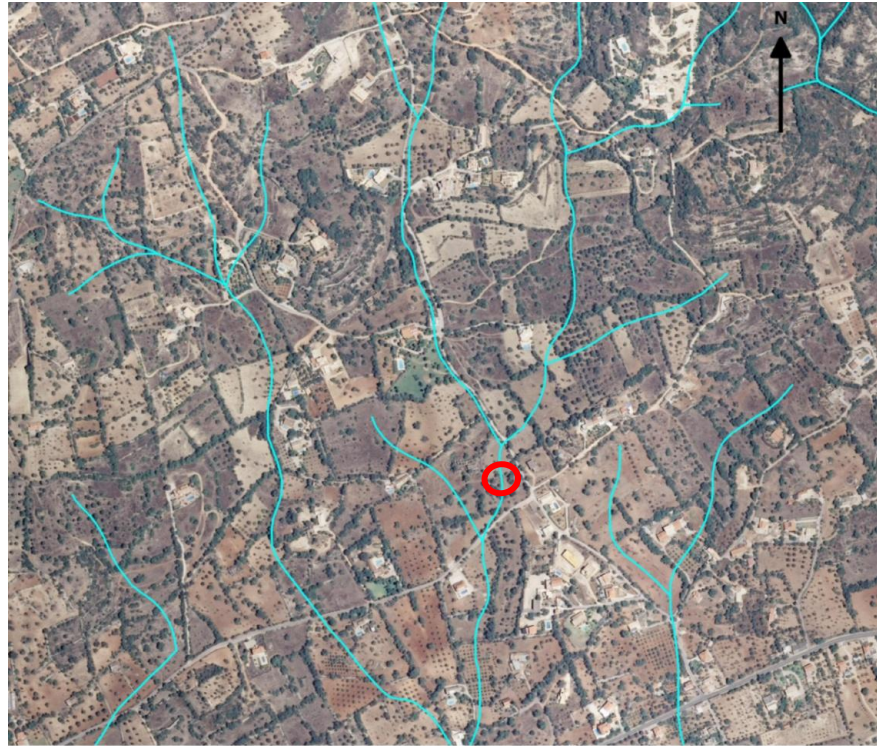
Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Dique constituído por aterro revestido a pedra do barrocal.

Observações

A área impermeável do loteamento é de 500 m².

O descarregador foi dimensionado para não existir galgamento para um período de retorno de 10 anos. Para caudais centenários já se prevê galgamento.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda 0 100 200 300 m
— Rede Hidrográfica

Figura 76 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

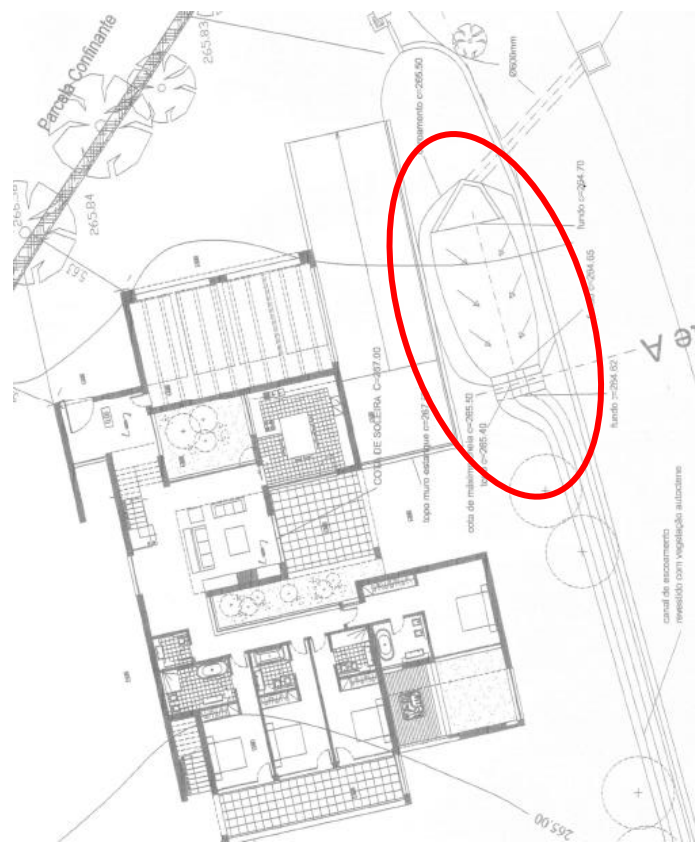


Figura 77 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

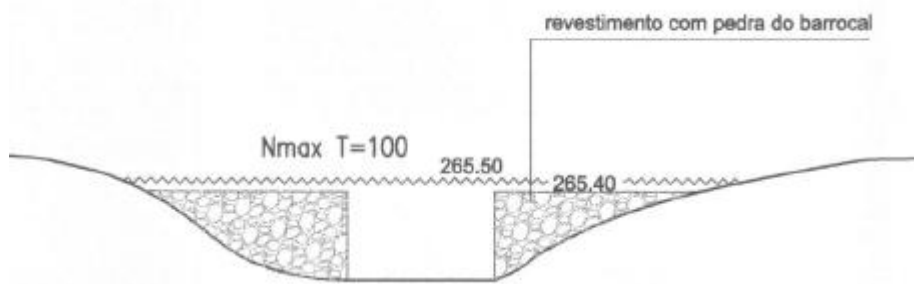


Figura 78 – Corte transversal do dique da bacia de retenção.

Bacia de Retenção 21

Localização

Concelho: Loulé

Freguesia: Almancil

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano para hotel + aparthotel, num total de 6 edifícios (122 apartamentos + 121 Quartos).

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 15 minutos.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume da Bacia: Estimou-se o hidrograma de cheia através do método do *Soil Conservation Service*. Por integração, no tempo, do hidrograma obtido, definiu-se a curva correspondente ao volume afluente. A diferença entre volumes afluentes antes e após implantação do empreendimento corresponde ao volume a reter pelas bacias.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacias de retenção secas em série enterradas.

Volume: Em projeto: $1500 + (170 + 60) + (200 + 205 + 300) + 200 = 2635 \text{ m}^3$

Executado: $1500 + (200 + 102,5 + 300) + 200 = 2302,5 \text{ m}^3$

Área da Bacia Hidrográfica: 6,2 ha

Descarregador: 3 Orifícios (\varnothing 500 mm, \varnothing 400 mm e \varnothing 200 mm)

Materiais: Em projeto - Polipropileno (sistema do tipo Wavin Q-BIC)

Executado - Betão armado

Observações

A área impermeabilizada do loteamento é de $19\,240 \text{ m}^2$.

As águas residuais pluviais provenientes das coberturas dos diversos edifícios são recolhidas por tubos de queda embutidos nas paredes e encaminhadas por coletores para uma bacia enterrada localizada sob o campo de ténis que permite armazenar um volume de 1500 m^3 . Esta água é reaproveitada, por exemplo, para rega e lavagem de pavimentos.

Em projeto:

Preconizou-se que todas as áreas exteriores aos edifícios possuíssem sistema de drenagem de águas residuais pluviais e encaminhamento para módulos de infiltração no terreno. A infiltração dos caudais através destes módulos, seria complementada pela descarga no terreno contíguo, através da linha de água, do caudal considerado para a situação de referência (antes da construção do

empreendimento).

Por questões de segurança, e em caso de sobrecarga do sistema, todos os módulos de infiltração propostos, assim como a bacia enterrada permitiriam encaminhar as águas excedentes para um módulo de infiltração de reserva, localizado na parte mais baixa do empreendimento. Este módulo, através de descargas de fundo dimensionadas para o caudal de referência e comandadas por um sistema de válvulas de seccionamento, permitiria o escoamento contínuo de caudais que não se haviam infiltrado para o sistema de dissipação adjacente ou para um poço de bombagem, que possibilitaria a elevação dos caudais para reutilização.

O sistema de dissipação seria constituído por módulos de gabiões, envolvidos com geotêxtil, formado um sistema onde estariam instalados, em toda a extensão, coletores perfurados que permitissem o encaminhamento dos caudais para o terreno contíguo.

Em obra:

A solução de módulos de infiltração (do tipo Wavin Q-BIC), foi substituída por bacias construídas com recurso a *box-culverts* (neste caso não há infiltração). As bacias assim construídas, comunicam com a vala de dissipação por descargas situadas a duas alturas diferentes. Existe a possibilidade de bombar água retida nas bacias *box-culvert* para a bacia enterrada sob o campo de ténis, aproveitando-se dessa forma a água para rega, limpeza de pavimentos e outros usos. Ao invés dos 3 módulos de infiltração inicialmente previstos em 3 localizações diferentes, construíram-se 2 bacias com recurso a *box-culverts*. A bacia enterrada sob o campo de ténis manteve-se.

O sistema parece estar a funcionar corretamente, uma vez que correspondeu sem problemas ao episódio de cheia verificado na região, em novembro de 2012.

Fase de Execução – Obra executada.

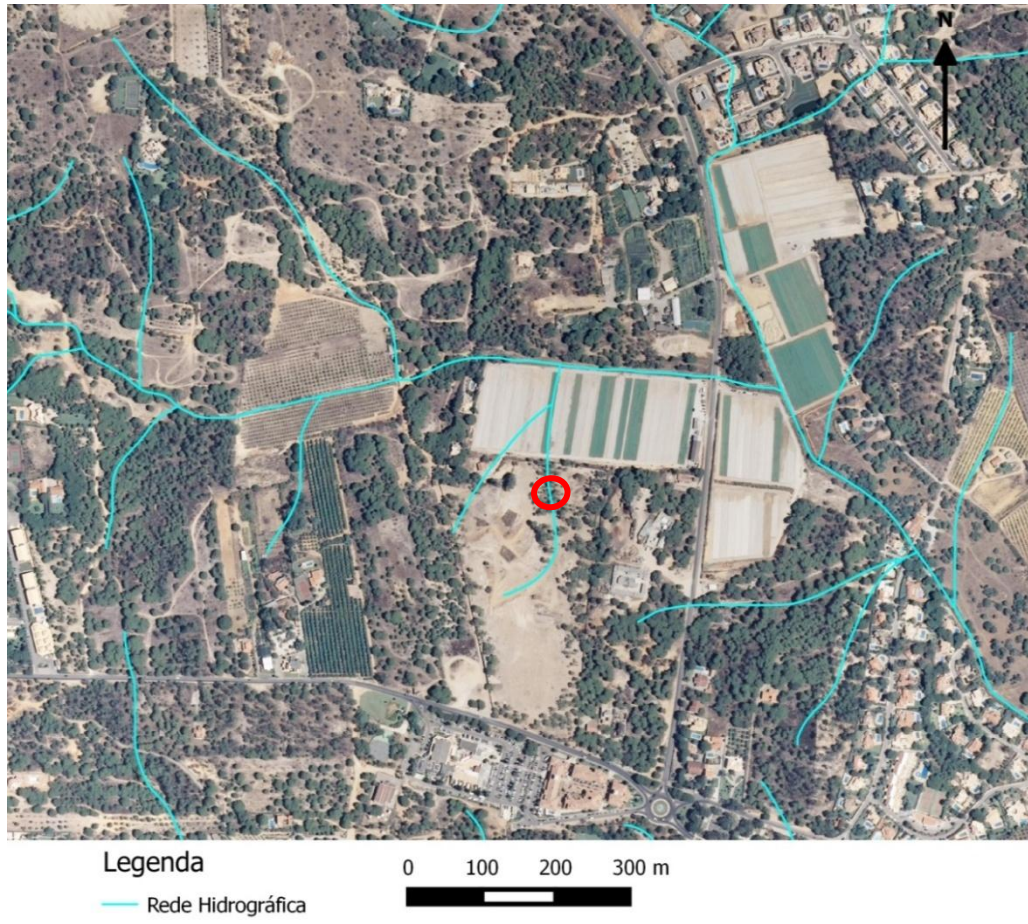
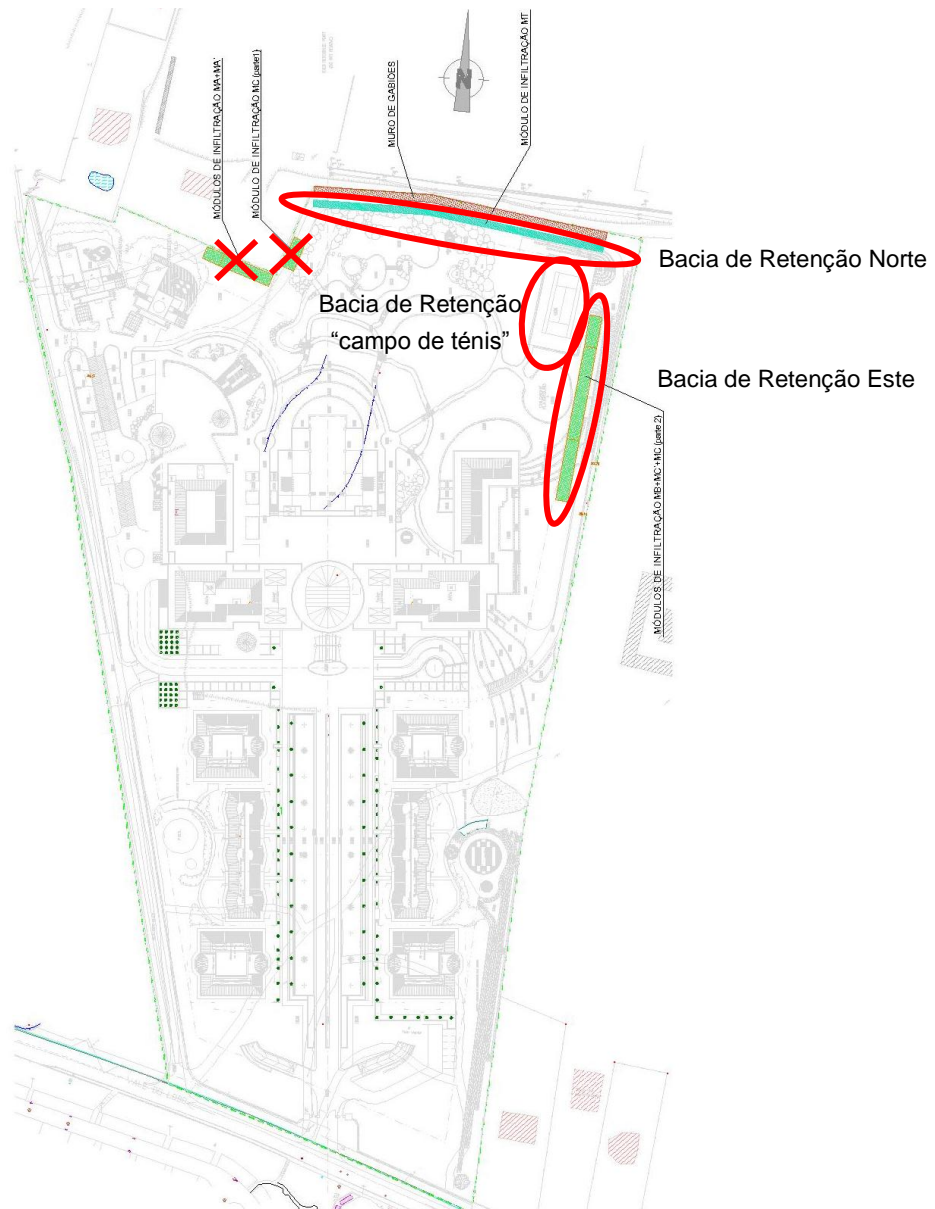


Figura 79 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 80 – Localização das bacias de retenção no loteamento.



- Bacias construídas
- ✗ Bacias não executadas

Figura 81 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

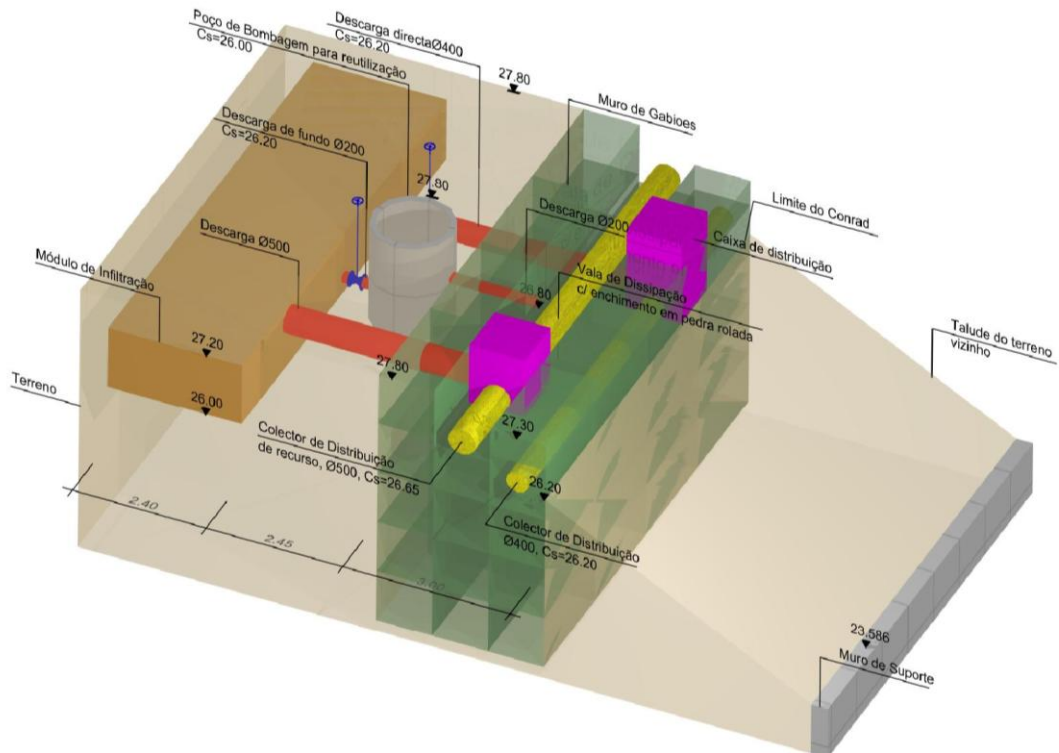


Figura 82 – Esquema de ligação da bacia de retenção (a castanho), ao sistema de drenagem pluvial.

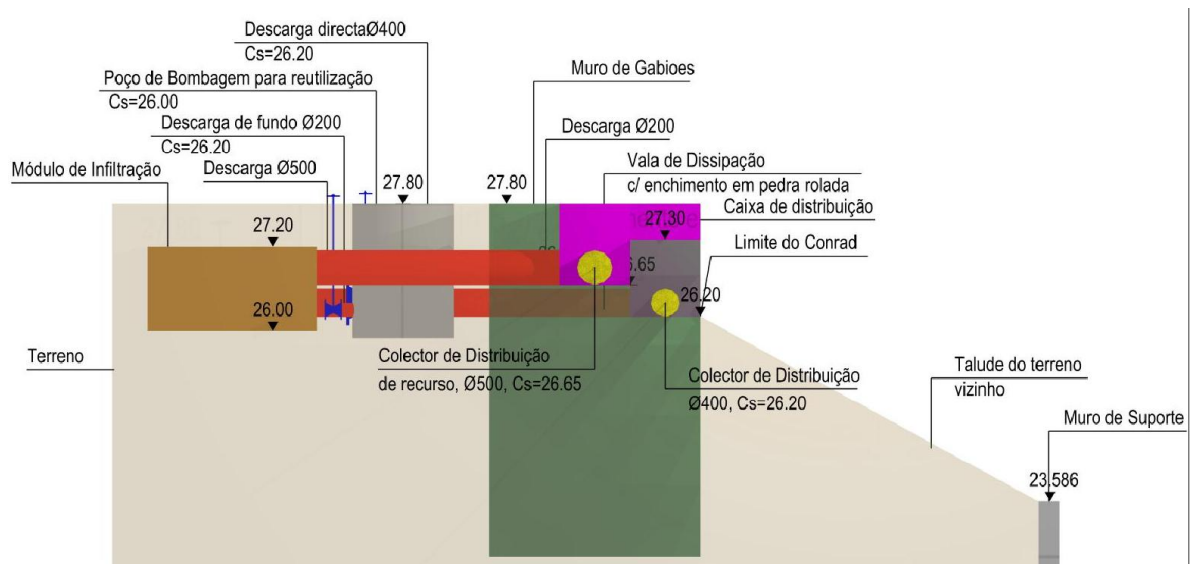


Figura 83 – Corte transversal da ligação da bacia de retenção (a castanho), ao sistema de drenagem pluvial.



Figura 84 – Fase de construção da bacia de retenção Norte e da vala de dissipação.



Figura 85 – Fase de construção da bacia de retenção Norte, após ligação de todos os box-culvert.



Figura 86 – Bacia de retenção enterrada sob o campo de ténis.



Figura 87 – Aspeto do campo de ténis à superfície da bacia.



Figura 88 – Volantes de manobra das válvulas da bacia enterrada sob o campo de ténis.



Figura 89 – Aspeto da superfície do terreno sobre a bacia de retenção Este.



Figura 90 – Câmara de visita de uma das bacias de retenção.

Bacia de Retenção 22

Localização

Concelho: Lagoa Freguesia: Ferragudo

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Unidade hoteleira

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Não descrito.
- Tempo de Concentração: Não descrito.
- Período de Retorno: Não descrito.
- Caudal Máximo: Não descrito.
- Volume da Bacia: Não aplicável.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca enterrada em paralelo.

Volume: 1200 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 13,06 ha

Descarregador: Existe, mas não está descrito

Materiais: Betão armado

Observações

À data de construção do hotel (1993), face à inexistência de uma rede pública de águas residuais, optou-se por uma solução que consistia no tratamento local numa pequena ETAR e construção de uma cisterna, sob o campo de ténis, para armazenamento da água tratada, permitindo o seu aproveitamento para a rega dos espaços verdes. Entretanto, face à expansão da rede pública, o proprietário solicitou em 2013, a ligação do hotel à rede de águas residuais, facto que permitiu a desativação da ETAR.

Paralelamente, tendo em vista a manutenção das condições de funcionalidade da linha de água, assim como o aproveitamento da capacidade de armazenamento da cisterna, optou-se por incluir esta no sistema de drenagem pluvial. A bacia de retenção enterrada assim criada, descarrega para um coletor que dá lugar pouco depois a um dreno com escoamento em superfície livre.

A bacia possui uma comporta que controla a adução de água.

Fase de Execução – Obra executada.



Figura 91 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 92 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

Bacia de Retenção 23

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: Quarteira

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Legalização e conclusão de muro periférico aos limites da propriedade e estrada de acesso a viaturas.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 10 minutos.
- Período de Retorno: Não descrito.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume da Bacia: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca a céu aberto em série.

Volume: Não descrito

Área da Bacia Hidrográfica: 5,8 ha

Descarregador: Orifício Φ 600 mm (manilha em betão armado).

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Descarregador em betão armado pré-fabricado.

Observações

O caudal afluente à bacia de retenção é controlado por uma manilha de igual diâmetro aquela que funciona como descarregador.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Figura 93 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

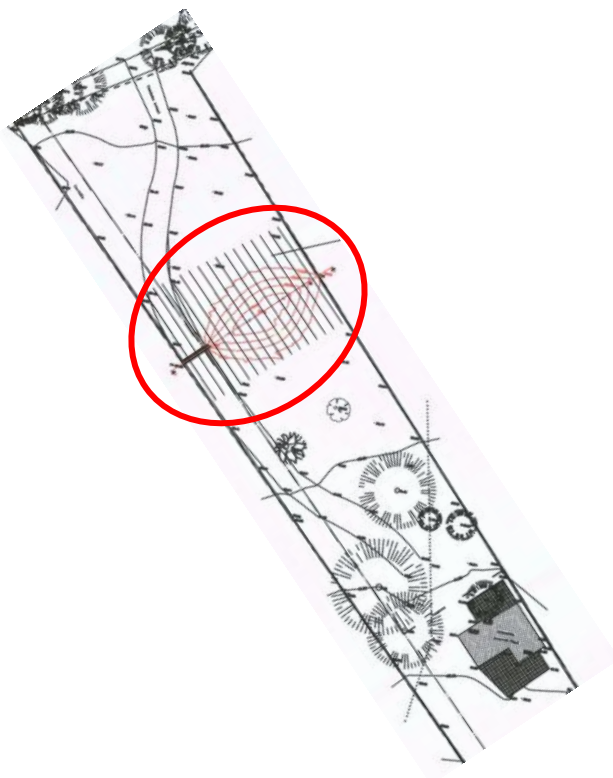


Figura 94 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

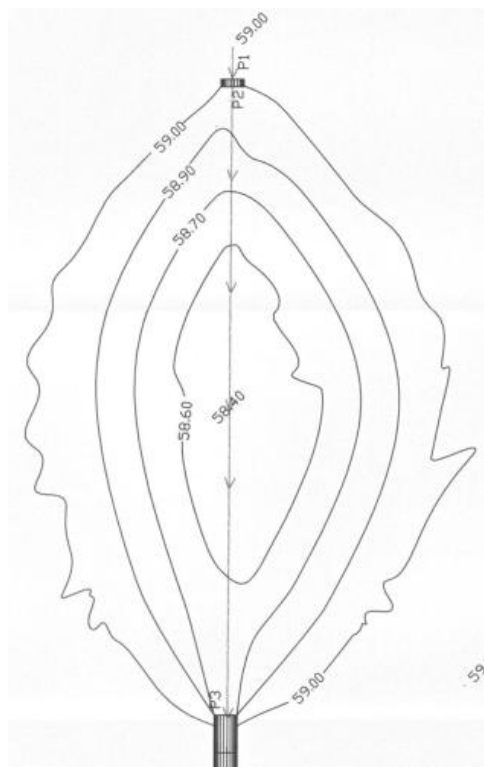


Figura 95 – Planta da bacia de retenção.

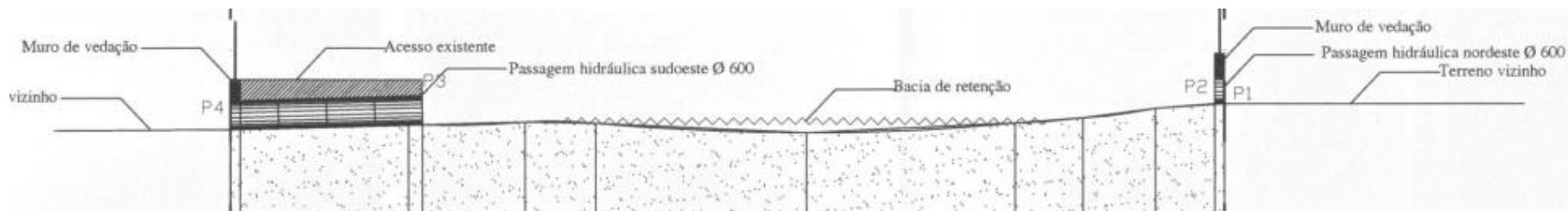


Figura 96 – Corte transversal da bacia de retenção.

Bacia de Retenção 24

Localização

Concelho: Loulé Freguesia: Quarteira

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento de 3 Moradias Unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: 10 minutos.
- Período de Retorno: Não descrito.
- Caudal Máximo: Determinado com recurso à Fórmula Racional.
- Volume da Bacia: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca a céu aberto em série.

Volume: Não descrito.

Área da Bacia Hidrográfica: Não descrito.

Descarregador: Descarregador de soleira espessa (A continuidade da rede de drenagem é feita de acordo com a hidrografia natural).

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras.

Observações

Caudal afluente entregue por uma secção semicircular em betão pré-fabricado com diâmetro ϕ 750 mm.

Fase de Execução – Obra executada.



Figura 97 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.



Figura 98 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

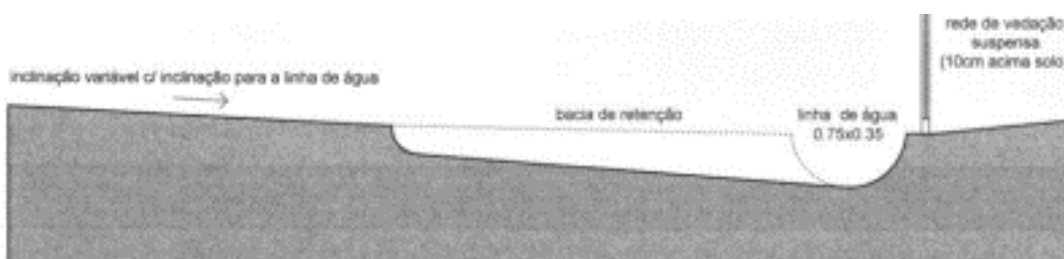


Figura 99 – Corte transversal da bacia de retenção.

Bacia de Retenção 25

Localização

Concelho: Faro Freguesia: Montenegro

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Não aplicável.
- Tempo de Concentração: 10 minutos.
- Período de Retorno: 100 anos.
- Caudal Máximo: Fórmula de Loureiro.
- Volume da Bacia: Determinado pela fórmula do artigo 179º do Decreto Regulamentar 23/95.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca a céu aberto em série.

Volume: 60 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 10 ha

Descarregador: Não descrito.

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras.

Observações

À bacia de retenção aflui o caudal proveniente da drenagem pluvial do loteamento e o caudal naturalmente drenado pela linha de água.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.



Legenda

— Rede Hidrográfica

0 100 200 300 m



Figura 100 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

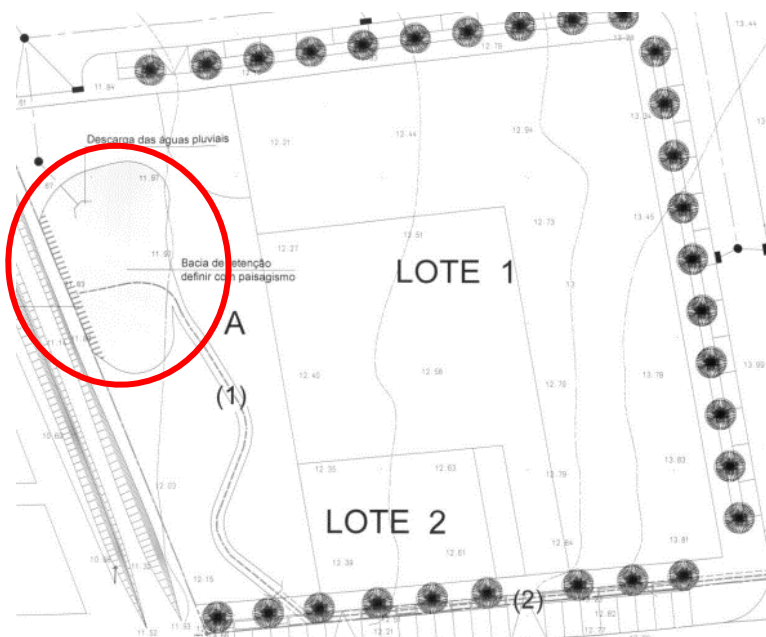


Figura 101 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

Bacia de Retenção 26

Localização

Concelho: Faro

Freguesia: Sta Bárbara de Nexe

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento urbano.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Não descrito.
- Tempo de Concentração: 10 minutos.
- Período de Retorno: 5 anos.
- Caudal Máximo: Não descrito.
- Volume da Bacia: Não descrito.

Descrição da Bacia de Retenção

Bacia de retenção seca a céu aberto em série.

Volume: 504 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 76 ha

Descarregador: Descarregador de soleira espessa.

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras. Tela PEAD (1,5 mm) e manta geotêxtil aplicados nos taludes, pedra da ribeira a revestir a superfície, descarregador de superfície em betão.

Observações

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.

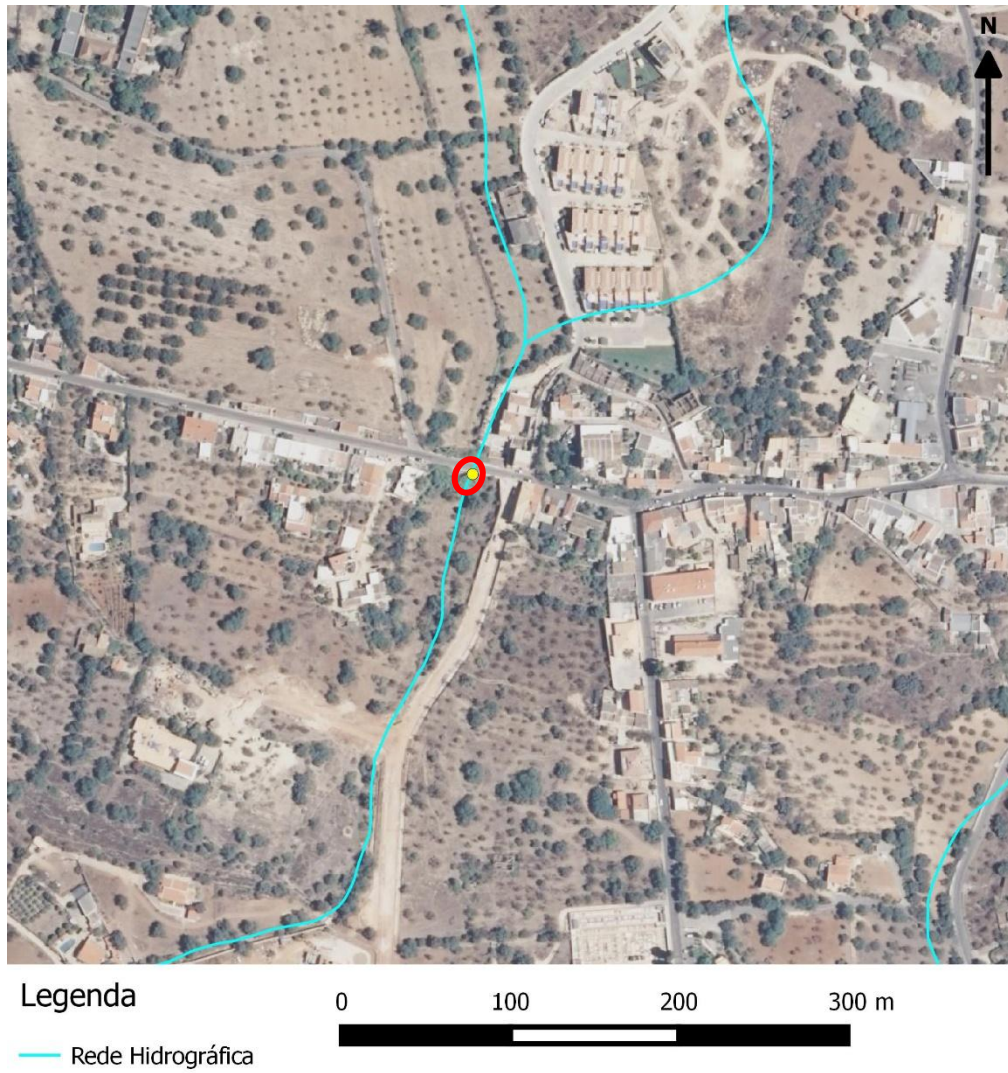


Figura 102 – Localização da bacia de retenção face à rede hidrográfica.

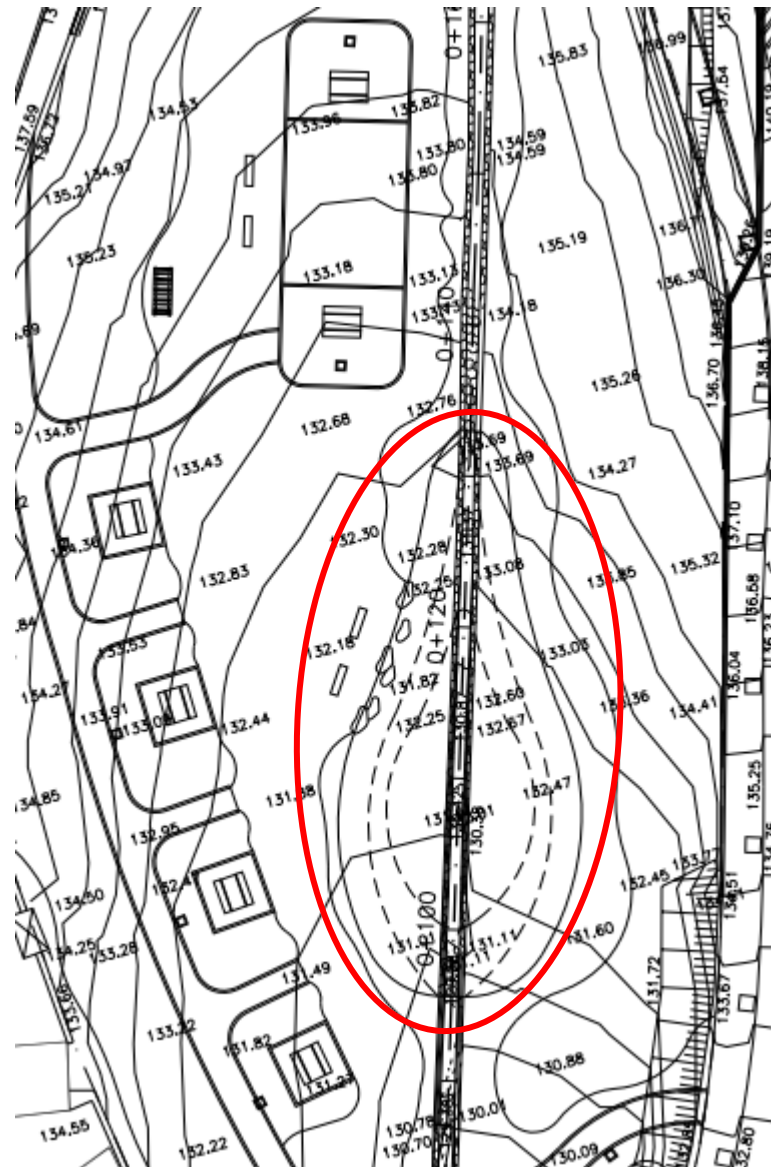


Figura 103 – Localização da bacia de retenção no loteamento.

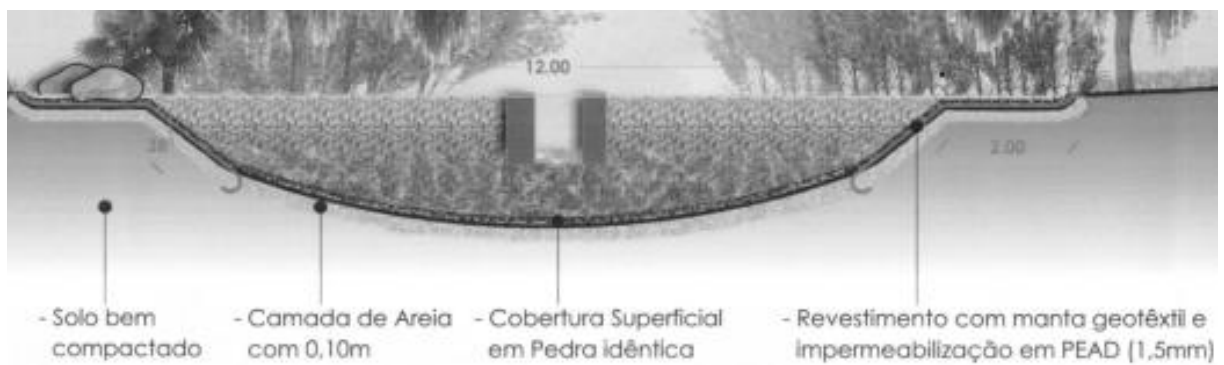


Figura 104 – Corte transversal da bacia de retenção.

Bacia de Retenção 27

Localização

Concelho: Olhão Freguesia: Pechão

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Loteamento de 16 Moradias Unifamiliares.

Metodologia de Dimensionamento

- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Fórmula de Kirpich.
- Período de Retorno: 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.
- Caudal Máximo: O mais gravoso dos resultados obtido após cálculo com recurso à fórmula de Loureiro, fórmula Racional e fórmula de Giandotti.
- Volume da Bacia: Consideraram 60 m² de área de cobertura impermeabilizada por moradia, com um regime médio anual de 300 mm/ano, num total de 16 moradias, obtendo-se um valor de cerca de 270 m³.

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 16 bacias de retenção secas enterradas em paralelo.

Volume: Total das 16 bacias ≈ 270 m³

Área da Bacia Hidrográfica: 11,16 km²

Descarregador: Orifício Φ 200 mm (manilha em betão).

Materiais: Não descrito.

Observações

As bacias de retenção localizam-se sob a zona prevista para estacionamento privado de cada lote e a água captada será aproveitada para rega dos espaços verdes das moradias.

Consultado o histórico das estações meteorológicas¹ de Olhão, Quelfes e Estoi, obtém-se um valor de precipitação média anual de cerca de 500 mm para a freguesia de Pechão, o que indica que o valor de 300 mm utilizado como referência para o cálculo do volume bacias de retenção, terá conduzido a um subdimensionamento destas.

Fase de Execução – Licença emitida. Obra não executada.

¹ Pertencentes à rede de monitorização do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

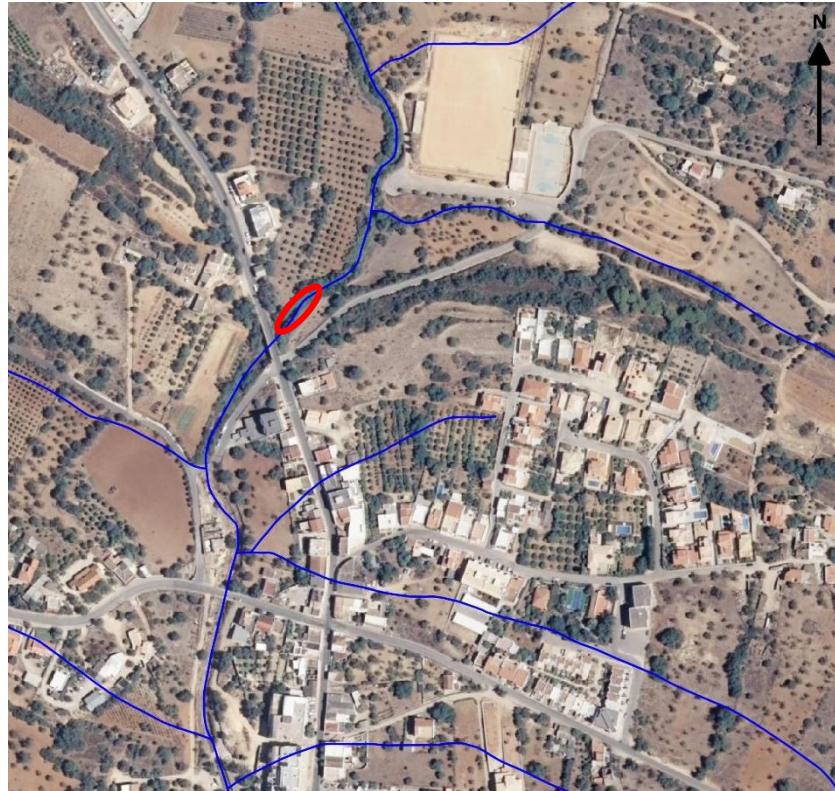


Figura 105 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.

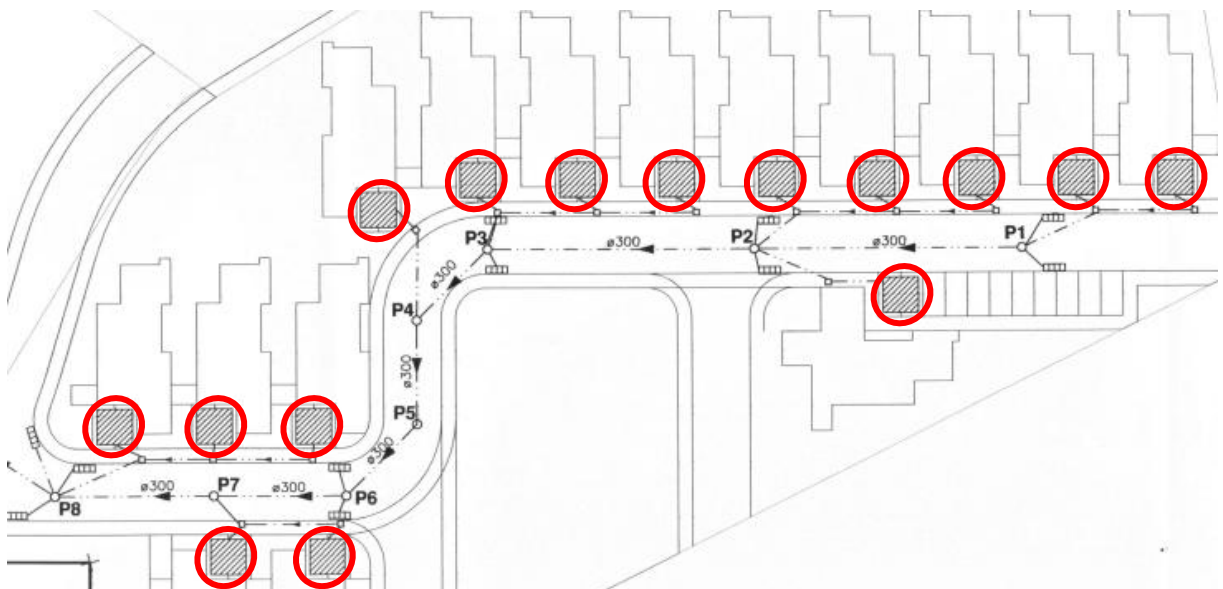


Figura 106 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

Bacia de Retenção 28

Localização

Concelho: Loulé

Freguesia: Almancil

Descrição da obra que desencadeou o projeto da bacia de retenção

Empreendimento Comercial da cadeia IKEA

Metodologia de Dimensionamento

- Caudal Máximo: Determinado pelo Método do *Soil Conservation Service* e pela fórmula Racional.
- Modelação do trânsito de volumes e caudais - Software HEC-HMS.
- Período de Retorno: 2 e 100 anos.
- Intensidade de Precipitação: Curvas IDF de Matos & Silva, 1986.
- Tempo de Concentração: Método do *Soil Conservation Service*.
- Durações das chuvadas de 10, 20, 40, 60 e 120 minutos

Descrição da Bacia de Retenção

Conjunto de 2 bacias secas a céu aberto em série

Volume: $8\ 600 + 4\ 750 = 13\ 350\ m^3$

Descarregadores: Descarregadores de soleira espessa e Orifícios – Dimensões:

	Bacia 1 (BR1)	Bacia 2 (BR2)
Fundo	Φ 200 mm	Φ 200 mm
Meio-Fundo	2 x Φ 1200 mm + Φ 800 mm	Φ 300 mm + Φ 300 mm
Superfície	5 m de largura	1 m de largura

Área da Bacia Hidrográfica: 141,2 ha (BH1 – bacia hidrográfica da BR1) + 10,4 ha (BH2 – bacia hidrográfica da BR2) = 151,6 ha

Materiais: Modelação de terreno com mobilização de terras e revestimento com tela PEAD. Gabiões como estrutura de retenção e descarregadores de fundo e meio-fundo constituídos por manilhas de betão. Zona de aproximação à estrutura de retenção em betão armado.

Observações

Fase de Execução – Obra executada.

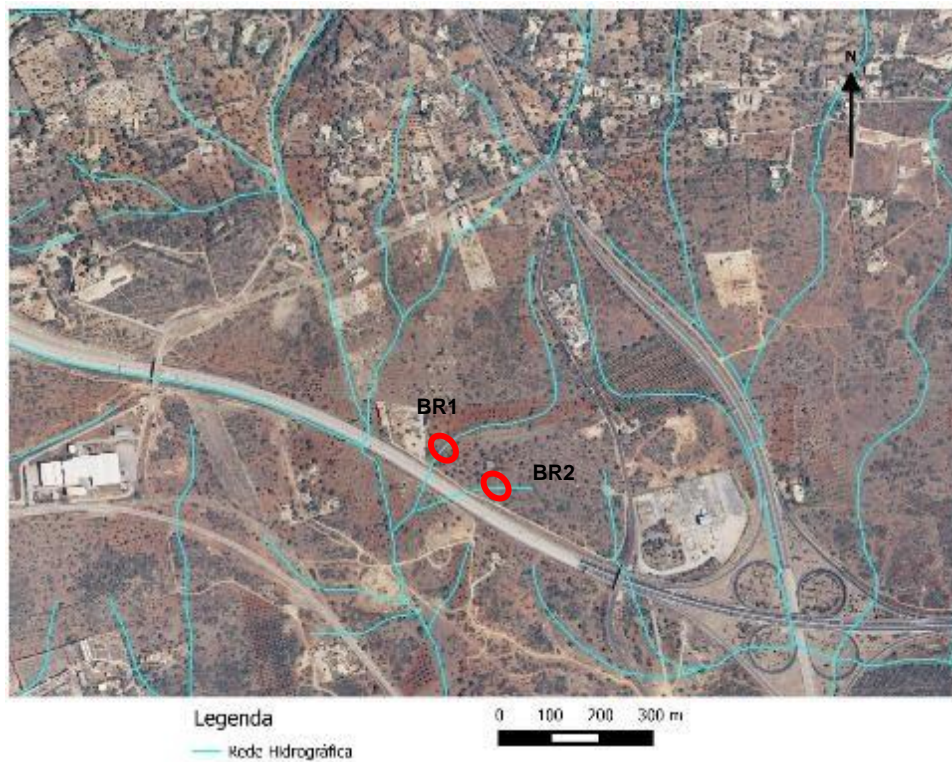


Figura 107 – Localização das bacias de retenção face à rede hidrográfica.

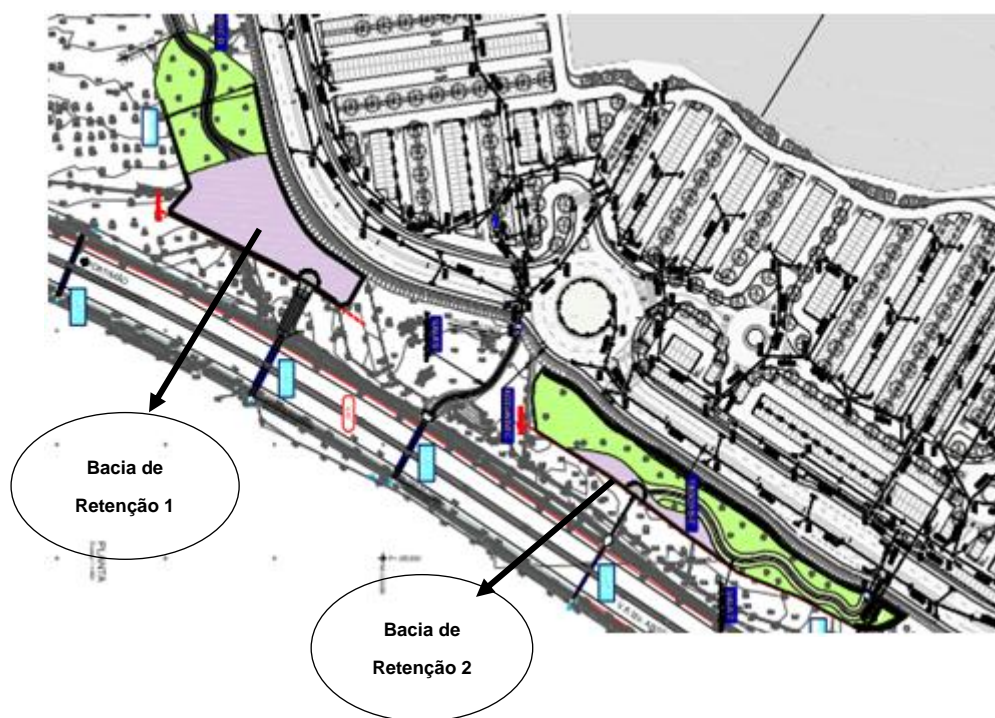


Figura 108 – Localização das bacias de retenção no loteamento.

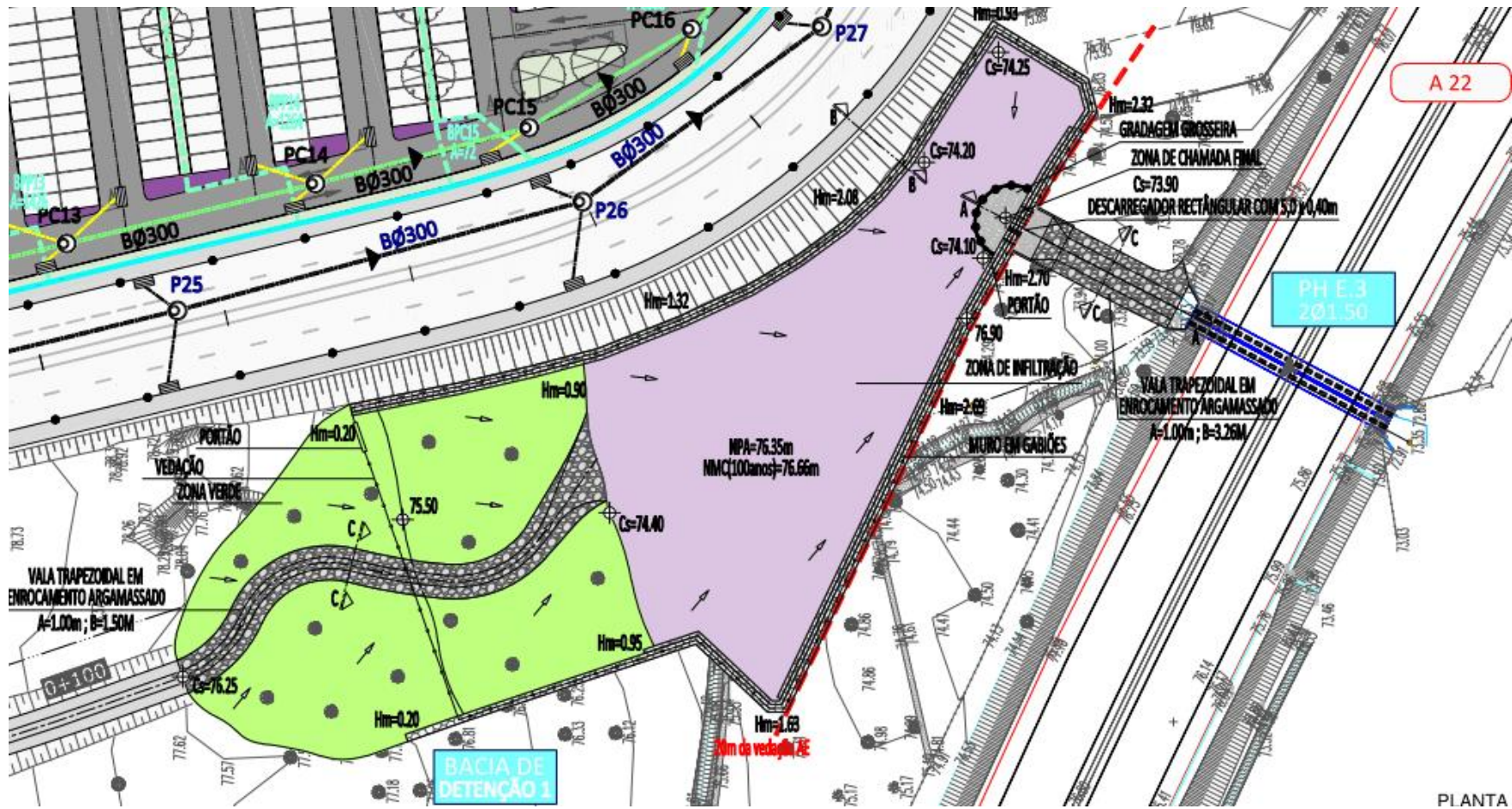


Figura 109 – Planta de localização da bacia de retenção 1.

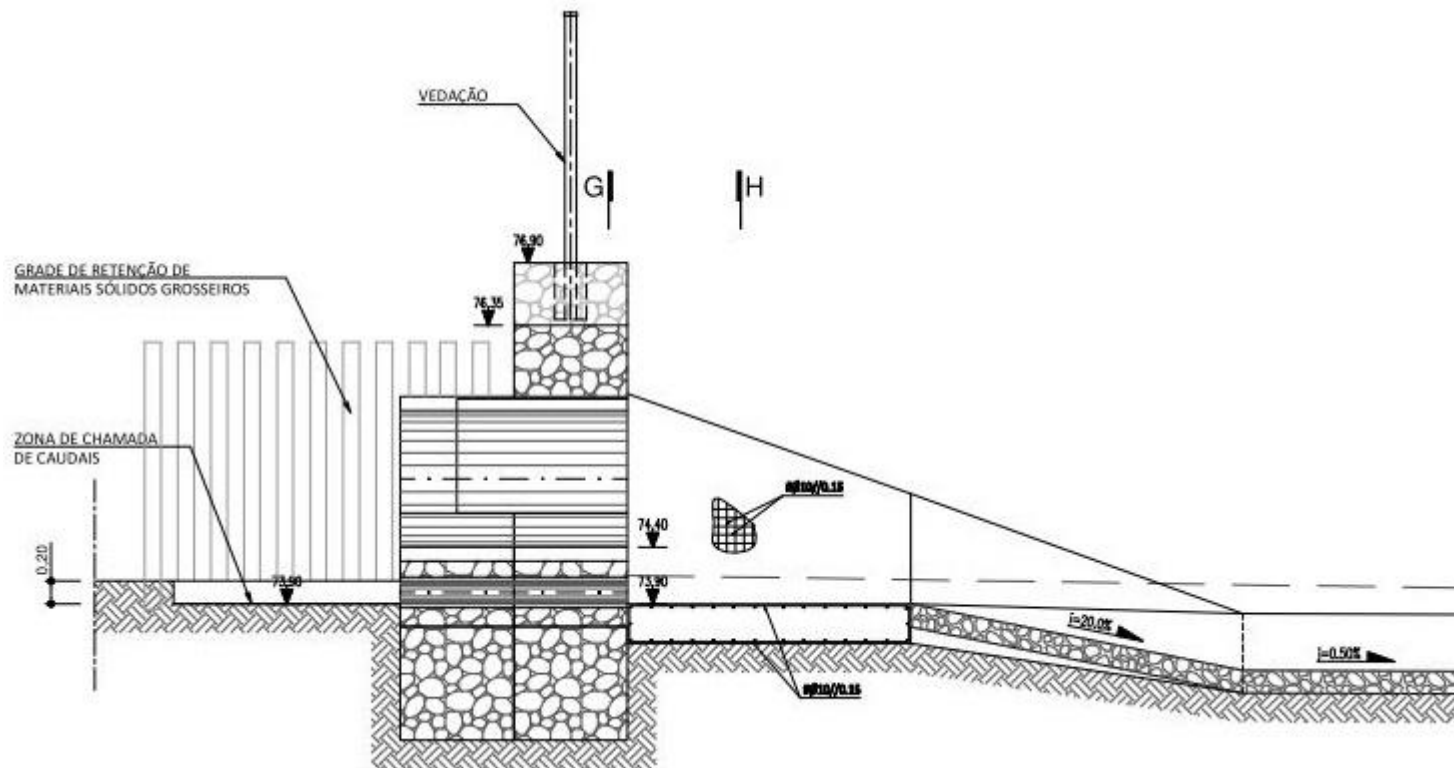


Figura 110 – Corte longitudinal do descarregador da bacia de retenção 1.

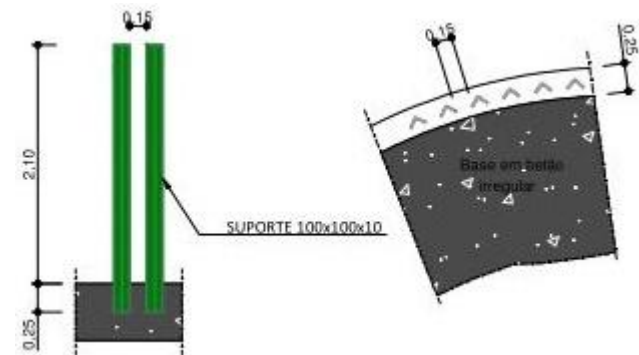


Figura 111 – Pormenor da grade de retenção de materiais sólidos grosseiros, associada ao descarregador da bacia de retenção 1.

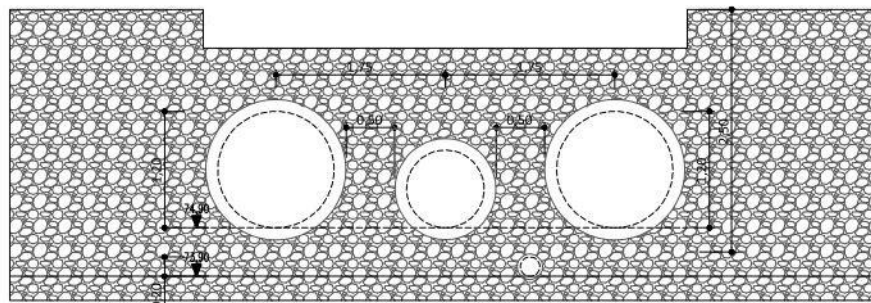


Figura 112 – Corte transversal dos descarregadores da bacia de retenção 1, sendo observáveis os descarregadores de fundo, meio-fundo e superfície.

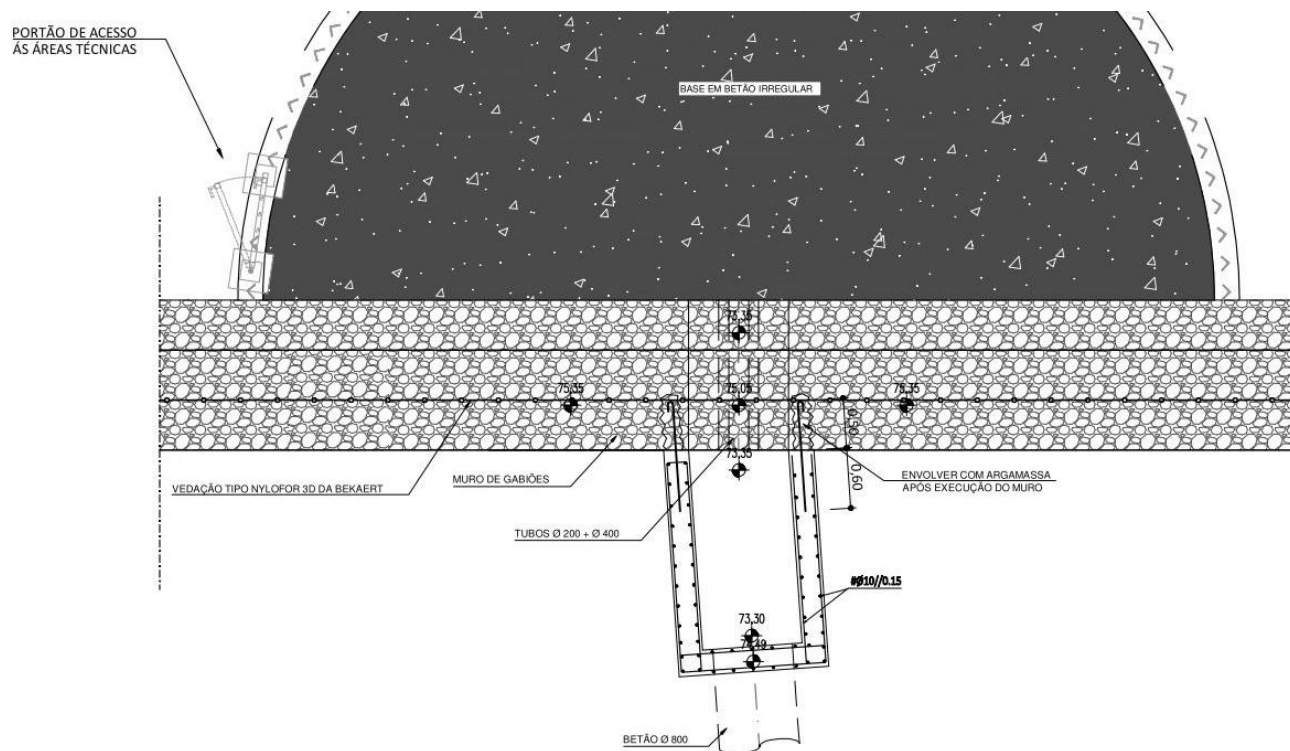


Figura 113 – Planta do descarregador da bacia de retenção 2

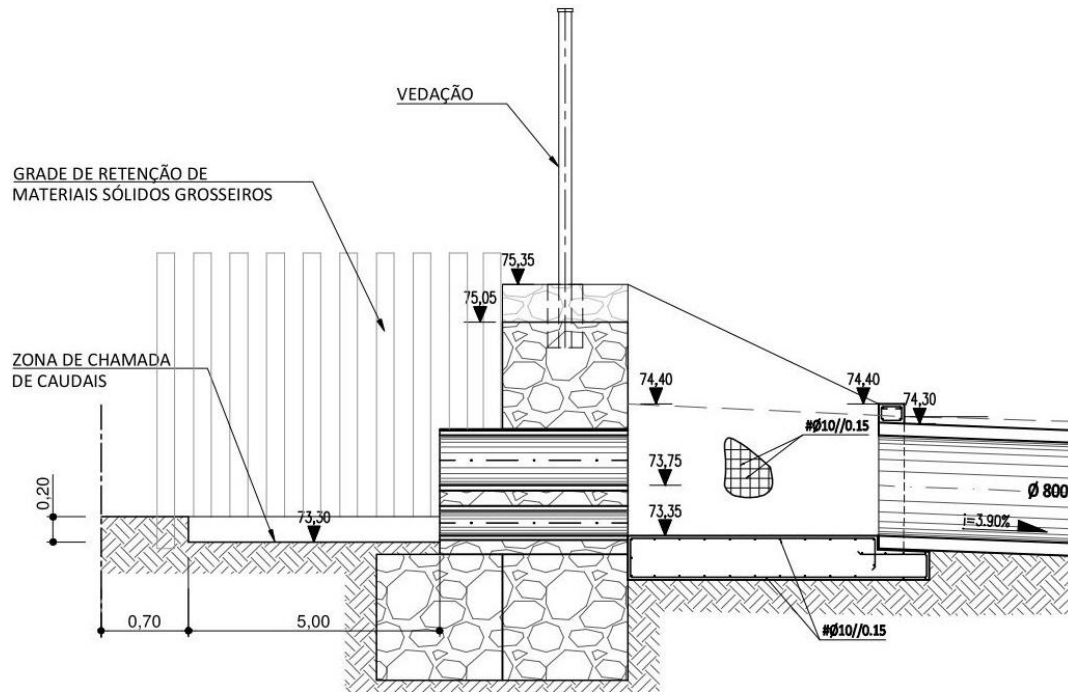


Figura 115 – Corte longitudinal do descarregador da bacia de retenção 2.

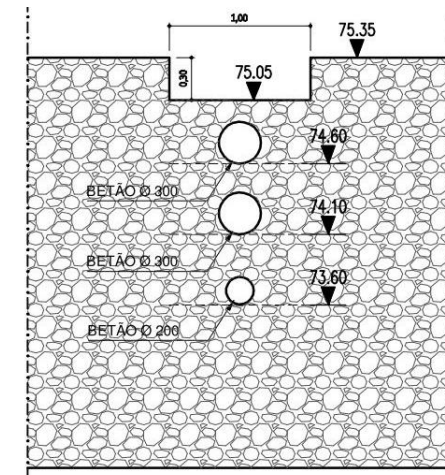


Figura 114 – Corte transversal dos descarregadores da bacia de retenção 2, sendo observáveis os descarregadores de fundo, meio-fundo e superfície.

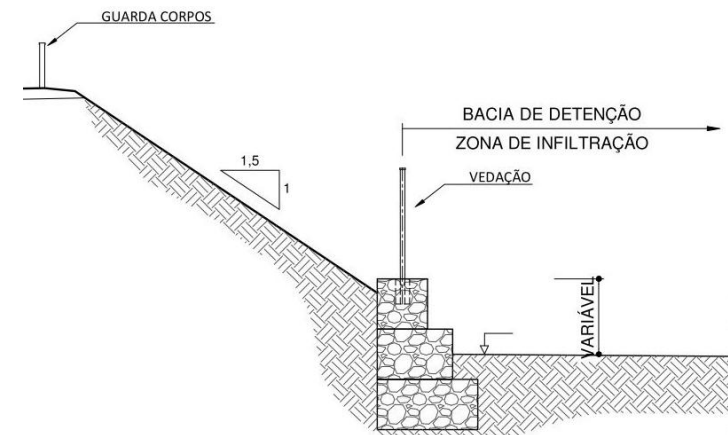


Figura 116 – Corte transversal do talude da bacia de retenção 1.



Figura 117 – Escavação e aplicação de betão de limpeza para colocação de gabiões.



Figura 118 – Início da colocação de gabiões.



Figura 119 – Trabalho de escavação no interior da bacia de retenção 1 para estabelecimento da cota de soleira.



Figura 120 – Aspeto geral da bacia de retenção 1 com a cota de soleira ainda por atingir. Vista de Poente.



Figura 121 – Descarregadores de fundo, meio fundo e superfície da bacia de retenção 1.



Figura 122 – Ensaio para definição da inclinação final do talude da bacia de retenção 1. É possível observar o revestimento com manta geotêxtil e tela PEAD, assim como os negativos que servirão para colocação da vedação metálica.



Figura 123 – Aspeto geral da bacia de retenção 1 com a cota de soleira ainda por atingir. Vista de Nascente.



Figura 124 – Aspeto geral da bacia de retenção 2 com a cota de soleira ainda por atingir.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para o cálculo dos caudais de ponta, utilizaram-se 2 métodos de cálculo distintos:

- Na verificação da capacidade das Passagens Hidráulicas e no dimensionamento de estruturas lineares (valas e coletores) foi utilizada a Fórmula Racional;
- No dimensionamento das bacias de retenção, por ser necessária a obtenção de um Hidrograma de Cheia afluente, determinante para o cálculo do volume das referidas infraestruturas, foi utilizado o método do *Soil Conservation Service* (SCS).

Para além da função de atenuação do caudal de ponta, estas bacias permitem igualmente facilitar a infiltração das águas pluviais, de modo a compensar as perdas de áreas de infiltração na área de construção do empreendimento. É necessário, de modo a evitar a contaminação dos aquíferos, remover os hidrocarbonetos e metais pesados que as águas pluviais provenientes do parque de estacionamento e da rede viária inevitavelmente transportarão. Para o efeito, o projeto prevê a implantação de dois separadores de hidrocarbonetos, assim como um canal revestido com vegetação que promova a retenção de metais pesados a montante da área de infiltração da bacia de retenção.

Para o cálculo das dimensões e alturas máximas de água nas bacias de retenção propostas estabeleceram-se os hidrogramas de cheia afluentes a cada uma das secções de estudo, quer para a situação de referência, quer para a situação após a construção do empreendimento. Para tal, a equipa projetista realizou uma análise de sensibilidade (Quadro 1), ou seja, calculou os caudais de ponta associados a eventos de precipitação com períodos de retorno de 2 e 100 anos e durações de 10, 20, 40, 60 e 120 minutos, de modo a garantir que o caudal libertado pelas bacias de retenção, nunca seja superior ao da situação de referência.

Quadro 1 – Caudais na situação de referência.

Período de retorno (anos)	Duração da precipitação (min)	BH1 (m^3s^{-1})	BH2 (m^3s^{-1})
2	10	1,25	0,08
	20	1,79	0,09
	40	2,25	0,10
	60	2,50	0,11
	120	2,87	0,12
100	10	3,72	0,21
	20	5,84	0,28
	40	7,84	0,32
	60	8,90	0,35
	120	10,60	0,39

No Quadro 2, apresentam-se os caudais de ponta efluentes de cada bacia de retenção para cada evento de precipitação estudado, verificando-se que estes são sempre iguais ou inferiores aos obtidos para a situação de referência.

Quadro 2 – Caudais efluentes após a construção do empreendimento.

Período de retorno (anos)	Duração da precipitação (min)	BH1	BH2
2	10	0,71	0,04
	20	1,23	0,04
	40	1,95	0,06
	60	2,32	0,08
	120	2,80	0,11
100	10	2,91	0,08
	20	5,01	0,13
	40	7,09	0,18
	60	8,45	0,24
	120	10,56	0,39