

# **CARACTERIZAÇÃO DE CHEIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LIMA. DEFINIÇÃO DE HIDROGRAMAS DE CHEIA AFLUENTES À BARRAGEM DO ALTO LINDOSO**

**JOSÉ LUÍS SOUSA ANDRADE GOMES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

---

Orientador: Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia

---

Coorientador: Engenheiro Manuel Augusto Oliveira

MARÇO DE 2021

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família e amigos

*“A ciência é sobre saber, a engenharia é sobre fazer”.*

*Henry Petroski*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Rodrigo Maia por possibilitar a realização desta dissertação e pela orientação contínua ao longo desta.

Ao Eng. Manuel Oliveira pelo incansável apoio e esforço prestado para a execução deste trabalho, assim como a disponibilidade apresentada.

Aos Eng.<sup>os</sup> Javier Andrade e João Miguel Oliveira pelo tempo e trabalho despendidos no apoio a nível dos programas ArcMap e HEC-HMS.

À EDP Gestão da Produção de Energia S.A. adiante designada por EDP Produção, pela possibilidade de realização da dissertação em ambiente empresarial e disponibilização de material e orientação.

A todos os meus amigos por toda a ajuda a nível académico e pessoal, assim como os bons momentos vividos ao longo dos últimos 5 anos.

À minha família por me fazerem crescer como pessoa e me acompanharem e apoiarem sempre.

À minha namorada Inês pelo seu amor, paciência e correção da parte escrita deste trabalho.



## **RESUMO**

Uma das principais causas de rutura de barragens está ligada ao inadequado comportamento dos respetivos órgãos de segurança e exploração, particularmente dos descarregadores de cheias. Este facto está essencialmente relacionado com questões hidrológicas (cheia de projeto subestimada) ou hidráulicas e operacionais (deficiente conceção e dimensionamento destas estruturas, mudança das suas condições de operação e mau funcionamento de equipamentos instalados).

A consciência destas questões originou que na regulamentação portuguesa sobre segurança de barragens (RSB) fosse imposto, relativamente às barragens em exploração, a reanálise dos respetivos projetos.

A presente dissertação, realizada em ambiente empresarial (EDP Produção), tem como principal objetivo a revisão do estudo da cheia de projeto da barragem do Alto Lindoso, tendo em conta as exigências da atual legislação portuguesa sobre segurança de barragens. Este estudo envolve também uma análise simplificada da vazão das novas cheias calculadas, através dos descarregadores que esta barragem dispõe.

O cálculo da nova cheia de projeto é realizado recorrendo ao método de simulação hidrológica. É utilizado o programa HEC-HMS v3.5 desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) do U.S. Army Corps of Engineers, o qual permite simular os processos de formação, propagação e amortecimento das cheias naturais.

Este estudo permitiu concluir que, através da definição dos hietogramas de cálculo e da calibração do modelo precipitação-escoamento do programa HEC-HMS, obtiveram-se resultados satisfatórios relativamente aos hidrogramas de cheia calculados para os períodos de retorno de 100, 1000 e 5000 anos e durações de chuvadas de 12, 18, 24, 30 e 36 horas.

**PALAVRAS-CHAVE:** barragem, cheia de projeto, descarregadores de cheia, simulação hidrológica, Regulamento de Segurança de Barragens (RSB).



## **ABSTRACT**

One of the main causes of dam ruptures is linked to the inappropriate behaviour of their safety and operational devices, particularly spillways. This fact is essentially related with hydrological (underrated design flood), hydraulic or operational (poor conception and design of these structures, change of their operating conditions and bad function of the installed equipment) issues.

The awareness of these issues led to requirement in the Portuguese Dam Safety Regulation (DSR) to review the projects of the dams in operation.

The current dissertation, developed in a corporate environment (EDP Produção), has as its main objective the review of Alto Lindoso dam design flood study, considering the requirements of the present Portuguese legislation on dam safety. This study also involves a simplified analysis of the flow of the new calculated floods, through the spillways of this dam.

The calculation of the new design floods is performed using the hydrologic simulation method. It is used the program HEC-HMS v3.5 developed by the Hydrologic Engineering Center (HEC) of the U.S. Army Corps of Engineers, which allow the simulation of formation, propagation and damping processes of natural floods.

This study allowed to conclude that, through the definition of the calculation hietograms and calibration of the precipitation-runoff model of the HEC-HMS program, satisfactory results were obtained for the flood hydrographs calculated for the return periods of 100, 1000 and 5000 years and rain fall durations of 12, 18, 24, 30 and 36 hours.

**KEYWORDS:** dam, design flood, spillway, hydrologic simulation, Dam Safety Regulation (DSR).



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT .....	V
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
<b>2. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALTO LINDOSO .....</b>	<b>3</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL .....	3
2.2 BARRAGEM E ÓRGÃOS DE DESCARGA .....	4
<b>3. REVISÃO DA CHEIA DE PROJETO DA BARRAGEM DO ALTO LINDOSO .....</b>	<b>7</b>
3.1 ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR .....	7
3.2 DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	9
3.3 CHEIA DE PROJETO INICIAL.....	13
3.4 NOVA CHEIA DE PROJETO.....	14
3.4.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS .....	14
3.4.2 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS .....	14
3.4.2.1 Precipitações máximas anuais em 24 horas.....	14
3.4.2.2 Dados hidrometeorológicos referentes a eventos específicos.....	18
3.4.3 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES EXTREMAS .....	21
3.4.3.1 Precipitações máximas em 24 horas .....	21
3.4.3.2 Precipitações com durações diferentes de 24 horas .....	25
3.4.3.3 Hietogramas de cálculo .....	25
3.4.4 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA .....	29
3.4.4.1 Caracterização do modelo .....	29
3.4.4.2 Calibração do modelo.....	32
3.4.4.3 Simulação das cheias no local da barragem .....	37

<b>3.5 COMPARAÇÃO DA NOVA CHEIA DE PROJETO COM A INICIAL</b> .....	40
--	----

<b>4. ANÁLISE DA VAZÃO DAS NOVAS CHEIAS NA BARRAGEM DO ALTO LINDOSO</b> .....	41
---	----

<b>4.1 DESCRIÇÃO DOS DESCARREGADORES DE CHEIA EXISTENTES</b> .....	41
--	----

<b>4.2 CURVAS DE VAZÃO</b> .....	42
----------------------------------	----

<b>4.3 AMORTECIMENTO DAS CHEIAS</b> .....	42
---	----

<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	47
----------------------------	----

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	51
---	----

<b>ANEXO A- FIGURAS</b> .....	53
-------------------------------	----

<b>ANEXO B- QUADROS</b> .....	65
-------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Planta geral do aproveitamento hidroelétrico do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].	4
Figura 2.2- Vista geral da barragem do Alto Lindoso.	5
Figura 2.3- Vista das estruturas de entrada dos descarregadores de cheia da barragem do Alto Lindoso.	5
Figura 3.1- Períodos de retorno mínimos das cheias a adotar nos projetos de barragens. Fonte: Anexo I da Parte I dos Documentos Técnicos de apoio ao RSB.	8
Figura 3.2- Classe das barragens. Fonte: Decreto-Lei nº21/2018 do RSB.	8
Figura 3.3- Bacia hidrográfica do rio Lima.	9
Figura 3.4- Mapa elevação/declive da bacia hidrográfica em estudo. Fonte: Copernicus- Land Monitoring Service.	10
Figura 3.5- Mapa Corine Land-Cover da bacia hidrográfica em estudo. Fonte: Copernicus- Land Monitoring Service.	10
Figura 3.6- Rede hidrográfica principal da bacia em estudo.	11
Figura 3.7- Características do aproveitamento hidroelétrico de Las Conchas. Fonte: Elementos fornecidos pela Confederação Hidrográfica do Minho-Sil.	12
Figura 3.8- Características do aproveitamento hidroelétrico de Salas. Fonte: Elementos fornecidos pela Confederação Hidrográfica do Minho-Sil.	12
Figura 3.9- Hidrograma da cheia de projeto inicial. Fonte: [EDP (1977)].	13
Figura 3.10- Mapa das isolinhas da precipitação diária máxima anual ( $\bar{P}$ ) e do valor regional do coeficiente de variação (Cv) para a região de Ourense. Fonte: [CEDEX (1999)].	15
Figura 3.11- Relação entre os quantis regionais ( $Y_t$ ), o período de retorno (T), em anos, a probabilidade de não ser excedido o quantil em um ano, em %, e o coeficiente de variação (Cv). Fonte: [CEDEX (1999)].	16
Figura 3.12- Postos de medição de chuva que foram considerados no estudo.	17
Figura 3.13- Localização dos postos pluviométricos com registos udográficos relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019.	19
Figura 3.14- Localização das estações hidrométricas e aproveitamentos hidroelétricos com registos de caudais relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019.	20
Figura 3.15- Mapa das isolinhas da precipitação diária máxima anual ( $\bar{P}$ ) e do valor regional do coeficiente de variação (Cv) para a zona da bacia em estudo. Fonte: [CEDEX (1999)].	21
Figura 3.16- Valores dos quantis regionais associados a vários períodos de retorno ( $Y_t$ ), para a zona da bacia em estudo.	22
Figura 3.17- Lei de Gumbel ajustada às séries de precipitações máximas anuais em 24 horas vs valores obtidos através da metodologia desenvolvida pela CEDEX.	24
Figura 3.17 (continuação)- Lei de Gumbel ajustada às séries de precipitações máximas anuais em 24 horas vs valores obtidos através da metodologia desenvolvida pela CEDEX.	25
Figura 3.18- Organização da componente de precipitação-escoamento do HEC-HMS.	29
Figura 3.19- Divisão de sub-bacias usadas no modelo de precipitação-escoamento HEC-HMS.	31
Figura 3.20- Esquema topológico do modelo de precipitação-escoamento HEC-HMS.	31
Figura 3.21- Polígonos de Thiessen. Cheia de 2010.	33
Figura 3.22- Polígonos de Thiessen. Cheia de 2013.	33
Figura 3.23- Polígonos de Thiessen. Cheia de 2019.	33
Figura 3.24- Simulação da cheia de 2010.	35
Figura 3.25- Simulação da cheia de 2013.	36
Figura 3.26- Simulação da cheia de 2019.	36

Figura 3.27- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso (T=100 anos).....	38
Figura 3.28- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso (T=1000 anos).....	38
Figura 3.29- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso (T=5000 anos).....	39
Figura 3.30- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso.....	40
Figura 4.1- Perfil longitudinal do descarregador de cheias DC1 da barragem do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].....	41
Figura 4.2- Perfil longitudinal do descarregador de cheias DC2 da barragem do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].....	41
Figura 4.3- Curva de vazão total dos dois descarregadores de cheia da barragem do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)]. .....	42
Figura 4.4- Curva de volumes armazenados na albufeira do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)]. .....	43
Figura 4.5- Amortecimento das cheias na albufeira do Alto Lindoso. NPA=338,00. ....	44
Figura 4.6- Amortecimento das cheias na albufeira do Alto Lindoso. NPA=334,00. ....	45

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 3.1- Postos pluviométricos cujas séries foram alvo de análise estatística. ....	18
Tabela 3.2- Postos pluviométricos com registos udográficos relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019. ....	19
Tabela 3.3- Estações hidrométricas com registos de caudais relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019. ....	20
Tabela 3.4- Tempos de concentração obtidos pelas fórmulas de Temez e de Kirpich. ....	26
Tabela 3.5- Precipitação total em cada sub-bacia para diferentes durações de chuvadas. T=100 anos. ....	27
Tabela 3.6- Precipitação total em cada sub-bacia para diferentes durações de chuvadas. T=1000 anos. ....	27
Tabela 3.7 - Precipitação total em cada sub-bacia para diferentes durações de chuvadas. T=5000 anos. ....	28
Tabela 3.8- Parâmetros que caracterizam os modelos das perdas e do escoamento base, resultantes do processo de calibração. ....	34
Tabela 3.9- Caudais de ponta das cheias calculadas. ....	39



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

A gestão eficaz dos recursos hídricos requer a construção de barragens que permitam a retenção de água tendo em vista, nomeadamente, o abastecimento às populações, a rega, o controlo de cheias, a produção de energia e a navegação.

A consciencialização do risco potencial associado às barragens tem sido reforçada ao longo dos anos devido aos acidentes, nalguns casos catastróficos, ocorridos em barragens, quer antigas, quer recentes.

Uma das principais causas de rutura de barragens está ligada ao inadequado comportamento dos respetivos órgãos de segurança e exploração, particularmente dos descarregadores de cheias. Este facto está essencialmente relacionado com questões hidrológicas (cheia de projeto subestimada) ou hidráulicas e operacionais (deficiente conceção e dimensionamento destas estruturas, mudança das suas condições de operação e mau funcionamento de equipamentos instalados).

Estas questões originaram que na regulamentação portuguesa sobre segurança de barragens (RSB) fosse imposto, relativamente às barragens em exploração (com particular atenção no caso das mais antigas), a reanálise dos respetivos projetos.

Tendo em vista satisfazer os requisitos dessa legislação, a EDP Produção tem definido e implementado um programa abrangente para verificação e eventual revisão dos critérios de projeto das suas barragens. Esta reanálise requer, para cada barragem, a realização de uma série de estudos que cobrem geralmente as seguintes etapas: revisão dos estudos de cheias, tendo em vista validar a cheia de projeto anterior ou estabelecer uma nova; análise da adequação dos órgãos de descarga (descarregadores de cheias e descargas de fundo) e, quando necessário, a definição de medidas estruturais ou não estruturais corretivas; projeto e implementação das medidas corretivas previstas, após a sua aprovação pela Autoridade Portuguesa da Água (APA).

O presente trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, inserida no Mestrado Integrado em Engenharia Civil com especialização em Hidráulica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). O estudo teve lugar em ambiente empresarial, na empresa EDP Produção, mais concretamente no Departamento de Hidráulica da Direção de Engenharia de Barragens.

A dissertação tem como tema a caracterização de fenómenos hidrológicos extremos na bacia do rio Lima, nomeadamente o estudo das cheias afluentes à barragem do Alto Lindoso, que é uma das maiores barragens existente em Portugal (com 110 m de altura) e o seu projeto e início de construção, é anterior à da entrada em vigor da primeira versão do RSB (1990).

## **1.2 OBJETIVOS**

Esta dissertação tem como principal objetivo a revisão do estudo da cheia de projeto da barragem do Alto Lindoso, tendo em conta as exigências que a atual legislação portuguesa sobre segurança de barragens (RSB) tem sobre esta matéria. O estudo realizado envolve também uma análise simplificada da vazão das novas cheias calculadas, através dos descarregadores que esta barragem dispõe.

## **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Com o intuito de apresentar a dissertação de uma forma estruturada e clara, o trabalho foi organizado segundo os seguintes 5 capítulos principais:

- Capítulo 1 – Introdução - é feita uma introdução, com a intenção de enquadrar o tema e expor os objetivos e a estrutura do trabalho desenvolvido;
- Capítulo 2 – Aproveitamento Hidroelétrico do Alto Lindoso - é realizada uma caracterização geral do aproveitamento hidroelétrico do Alto Lindoso e uma descrição da respetiva barragem e dos seus órgãos de descarga;
- Capítulo 3 – Revisão da Cheia de Projeto da Barragem do Alto Lindoso - é definida a nova cheia de projeto com base na aplicação de um método de simulação hidrológica e faz-se uma comparação com a cheia de projeto inicial;
- Capítulo 4 – Análise da Vazão das Novas Cheias na Barragem do Alto Lindoso - é apresentada uma simulação da vazão das novas cheias calculadas pelos descarregadores existentes;
- Capítulo 5 – Conclusões – são referidas as principais conclusões retiradas ao longo da dissertação.

# 2

## APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALTO LINDOSO

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

O aproveitamento do Alto Lindoso (Figura 2.1) localiza-se no rio Lima, a cerca de 300 m da fronteira com Espanha, entrou em funcionamento em 1992 e foi, até à entrada em funcionamento do reforço de potência de Venda Nova II em 2005, o mais potente centro produtor hidroelétrico instalado em Portugal constituído pelos seguintes elementos principais [EDP (2018)]:

- Barragem do tipo abóbada de betão de dupla curvatura, na qual estão inseridas duas descargas de fundo;
- Dois descarregadores de cheias, em túnel, situados na margem direita do rio;
- Circuito hidráulico extenso, independente para cada grupo gerador, constituído por duas tomadas de água, duas galerias e poços em carga, uma chaminé de equilíbrio, a jusante da central, e restituição, já comum aos dois grupos, que devolve as águas ao leito do rio Lima;
- Central subterrânea equipada com dois grupos geradores, constituídos por turbinas Francis de eixo vertical;
- Sistema de galerias de acesso à central e às câmaras das válvulas esférica e de borboleta. A principal galeria, tem uma extensão de 1780 metros;
- Subestação exterior de 18/400 kV, contígua ao edifício de comando, equipada com seis transformadores monofásicos, comunicando com a central por intermédio de um poço circular, o qual comporta os barramentos que são blindados e pressurizados.

Este aproveitamento destina-se essencialmente à produção de energia elétrica e tem uma produção média anual de 910 GWh.

O volume de água médio anual afluyente ao Alto Lindoso é cerca de 1344,4 hm<sup>3</sup>, a que corresponde um caudal modular de 42,6 m<sup>3</sup>/s.

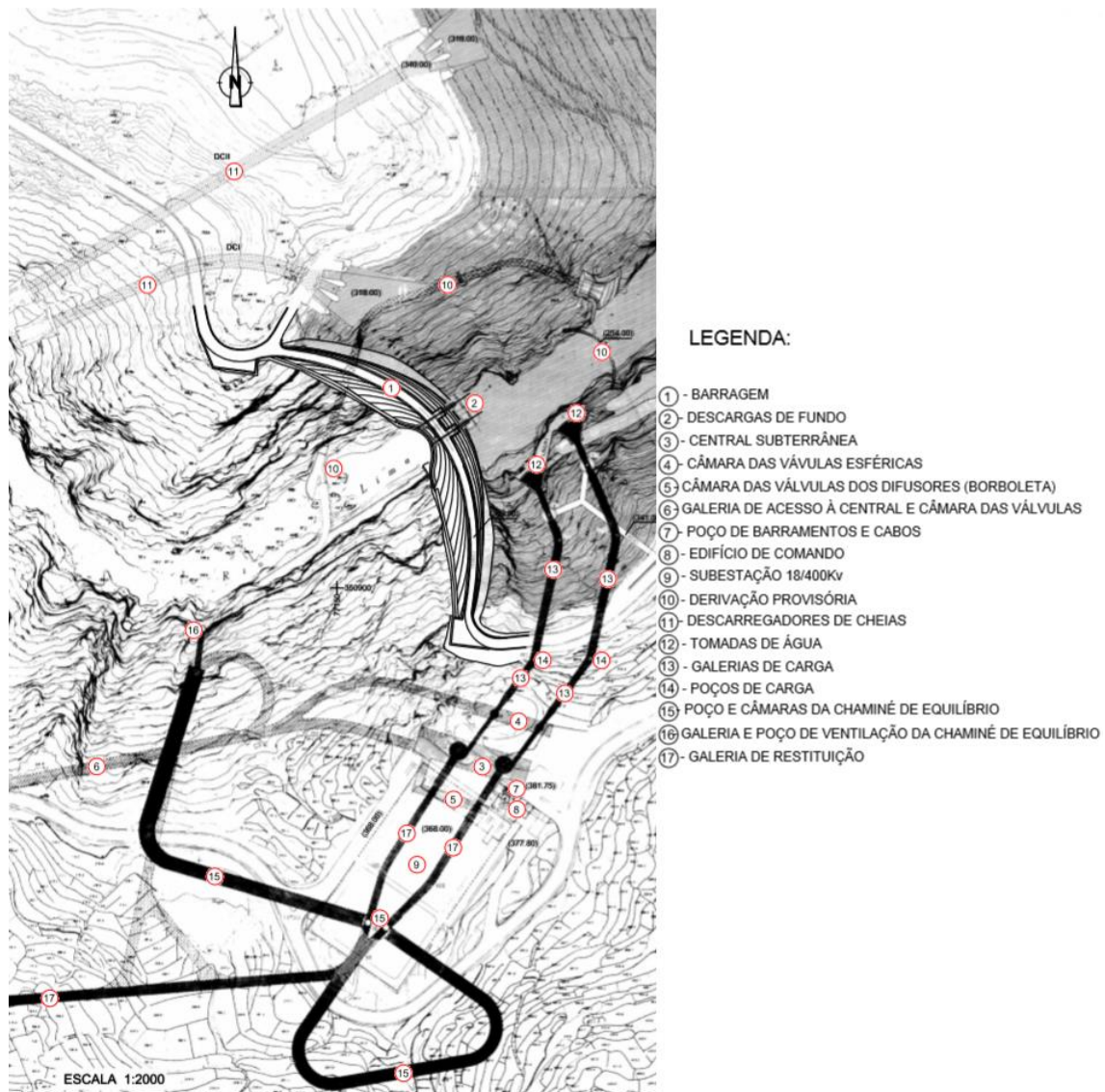


Figura 2.1- Planta geral do aproveitamento hidroelétrico do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].

## 2.2 BARRAGEM E ÓRGÃOS DE DESCARGA

A barragem do Alto Lindoso (Figura 2.2) é do tipo abóbada de betão de dupla curvatura com 110 m de altura acima da fundação. O seu coroamento com comprimento de 297 m, espessura de 4 m à cota (339,00), dispõe de um viaduto que faz uma ligação rodoviária entre os concelhos de Ponte da Barca e Arcos de Valdevez.



Figura 2.2- Vista geral da barragem do Alto Lindoso.

A albufeira criada pela barragem apresenta as seguintes características:

- Nível de Pleno Armazenamento (NPA): 338,00;
- Nível de Máxima Cheia (NMC): 339,00;
- Nível Mínimo de Exploração (NmE): 280,00;
- Capacidade total para o NPA: 379,01 hm<sup>3</sup>;
- Capacidade útil: 347,91 hm<sup>3</sup>.

Esta barragem dispõe de dois descarregadores de cheias em túnel situados na margem direita do rio (Figura 2.3), controlados por comportas, com restituição a jusante da barragem através de salto em ski, cuja capacidade máxima de vazão, em conjunto, é de 2670 m<sup>3</sup>/s para o NMC. A descrição mais detalhada é feita no capítulo 4.

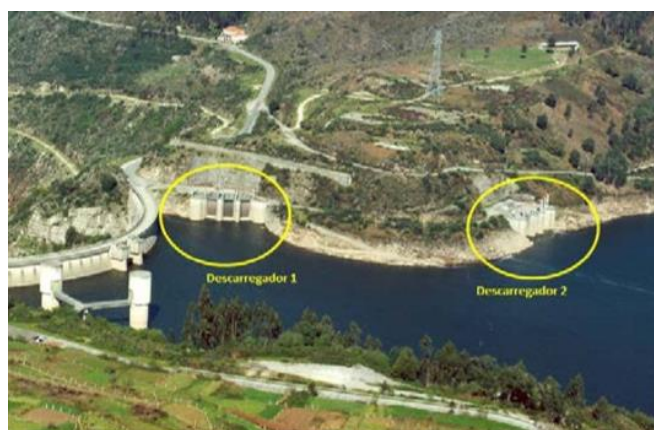


Figura 2.3- Vista das estruturas de entrada dos descarregadores de cheia da barragem do Alto Lindoso.

A barragem está também equipada com duas descargas de fundo localizadas na parte central do seu corpo. Cada uma é constituída por uma boca de entrada com uma comporta de guarda do tipo lagarta, conduta blindada de secção retangular e uma comporta do tipo segmento a jusante. No seu conjunto as duas descargas de fundo possuem uma capacidade de vazão máxima de 400 m<sup>3</sup>/s.



# 3

## REVISÃO DA CHEIA DE PROJETO DA BARRAGEM DO ALTO LINDOSO

### 3.1 ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

A revisão do estudo das cheias justifica-se, especialmente em relação às barragens mais antigas, como consequência natural da necessidade de atualização dos estudos iniciais, em muitos casos realizados com recurso a critérios e métodos de cálculo atualmente considerados obsoletos ou não adequados às condições locais e/ou baseadas em séries de dados hidrometeorológicos (precipitações e caudais) de reduzida extensão e, não raras vezes, fiabilidade.

Nos documentos técnicos de apoio ao RSB, correspondentes à revisão das Normas de Projeto de Barragens (Portaria 846/93, de 10 de Setembro), publicados pela Agência Portuguesa do Ambiente na sequência da recente alteração do RSB (DL 21/2018 de 28 de Março) estabelecem (artigo 6º, ponto 3, alínea e)) que "a cheia de projeto deve ser fixada recorrendo a métodos estatísticos incorporando a informação histórica disponível, de simulação hidrológica (modelos precipitação-escoamento) e fórmulas empíricas, com a análise crítica dos valores obtidos pelas diferentes vias de cálculo, e considerando cheias originadas por precipitação com duração igual e múltipla do tempo de concentração".

Uma condição prévia à determinação da cheia de projeto é a fixação do respetivo período de retorno. Segundo a tabela apresentada na Figura 3.1, retirada do Anexo I da Parte I dos Documentos Técnicos de apoio ao RSB, tal fixação deve ser efetuada tendo como base as características da barragem (tipo e altura) e a sua classe. De acordo com a recente alteração do RSB, a classificação das barragens é feita em função da sua perigosidade e dos danos potenciais associados à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável, tal como apresentado na tabela da Figura 3.2. A perigosidade da barragem é caracterizada por um fator  $X = H^2\sqrt{V}$ , sendo H altura da barragem, em metros e V a capacidade da albufeira, em hm<sup>3</sup>. Os danos potenciais devem ser avaliados na região do vale a jusante da barragem, onde a onda de inundação pode afetar a população, definida pelo número de edificações fixas de carater residencial permanente (Y), os bens e o ambiente.

Tipo de barragem e altura h(m)		Período de retorno da cheia de projeto (anos)	
Betão e enrocamento com laje a montante	Aterro	Classes I e II	Classe III
$h \geq 100$	$h \geq 50$	5 000	2 000
$100 > h \geq 50$	$50 > h \geq 15$	2 000	1 000
$50 > h \geq 15$	$15 > h$	1 000	500
$15 > h$	–	500	100

Figura 3.1- Períodos de retorno mínimos das cheias a adotar nos projetos de barragens. Fonte: Anexo I da Parte I dos Documentos Técnicos de apoio ao RSB.

Classe	Perigosidade da barragem e danos potenciais
I	$Y \geq 10$ e $X \geq 1000$
II	$Y \geq 10$ e $X < 1000$ ou $0 < Y < 10$ , independentemente do valor de X ou existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes
III	$Y = 0$ , independentemente do valor de X

Figura 3.2- Classe das barragens. Fonte: Decreto-Lei nº21/2018 do RSB.

No caso da barragem do Alto Lindoso, considerando que:

- se trata de uma estrutura em betão, com 110 m de altura máxima e a sua albufeira tem uma capacidade de 379 hm<sup>3</sup> e por isso o índice de perigosidade associado é  $X = 235562$ ;
- em termos de danos potenciais associados às ondas de inundação correspondentes aos cenários de acidente, afeta muito mais do que 10 edificações fixas de caráter residencial permanente, assinalando-se também a existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes [Hidrorumo (2000) e EDP (2013)];
- se enquadra na Classe I, tendo em conta o anteriormente referido,

segundo os critérios estabelecidos no RSB, o período de retorno a adotar para a nova cheia de projeto foi fixado em 5000 anos, de acordo com a tabela apresentada na figura acima.

O estudo das cheias seguidamente apresentado foi efetuado para esse período de retorno e ainda para 100 e 1000 anos. Não foi aqui analisada a designada “cheia de verificação”, que de acordo com os mesmos documentos atrás citados, corresponde à cheia de projeto majorada por um fator de 1,2.

### 3.2 DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O rio Lima nasce na serra de S. Mamede, situada na província de Ourense em Espanha, a cerca de 950 m de altitude, possui uma extensão de 135 km e desagua no Oceano Atlântico em Viana do Castelo, Portugal. A sua bacia hidrográfica (Figura 3.3) tem uma área de cerca de 2535 km<sup>2</sup>, dos quais 1200 km<sup>2</sup> (aproximadamente 47%) localizam-se em território português e 1335 km<sup>2</sup> (aproximadamente 53%) em território espanhol, tem uma forma alongada e orientação genérica no sentido ENE-WSW, limitada a norte pela bacia do rio Minho, a este pela do rio Tâmega e a sul pelas dos rios Cávado e Neiva. A altitude da bacia varia entre os 0 (no Oceano Atlântico) e os 1519 metros (na serra do Larouco).



Figura 3.3- Bacia hidrográfica do rio Lima.

Como anteriormente referido, a barragem do Alto Lindoso localiza-se no curso principal do rio Lima, a cerca de 300 metros da fronteira com Espanha, e domina uma bacia hidrográfica com uma área de aproximadamente 1514 km<sup>2</sup>, dos quais 1335 km<sup>2</sup> situam-se em território espanhol (cerca de 88%).

Na Figura 3.4 apresenta-se o Mapa Elevação/Declive da bacia hidrográfica em estudo, obtido a partir da informação cartográfica disponível em *Copernicus- Land Monitoring Service*. Da sua análise constata-se que em termos de relevo a bacia apresenta duas zonas com características marcadamente distintas. Genericamente, a metade de montante apresenta um relevo relativamente plano, enquanto que a metade restante, de jusante, apresenta um relevo com declives bastante acentuados.

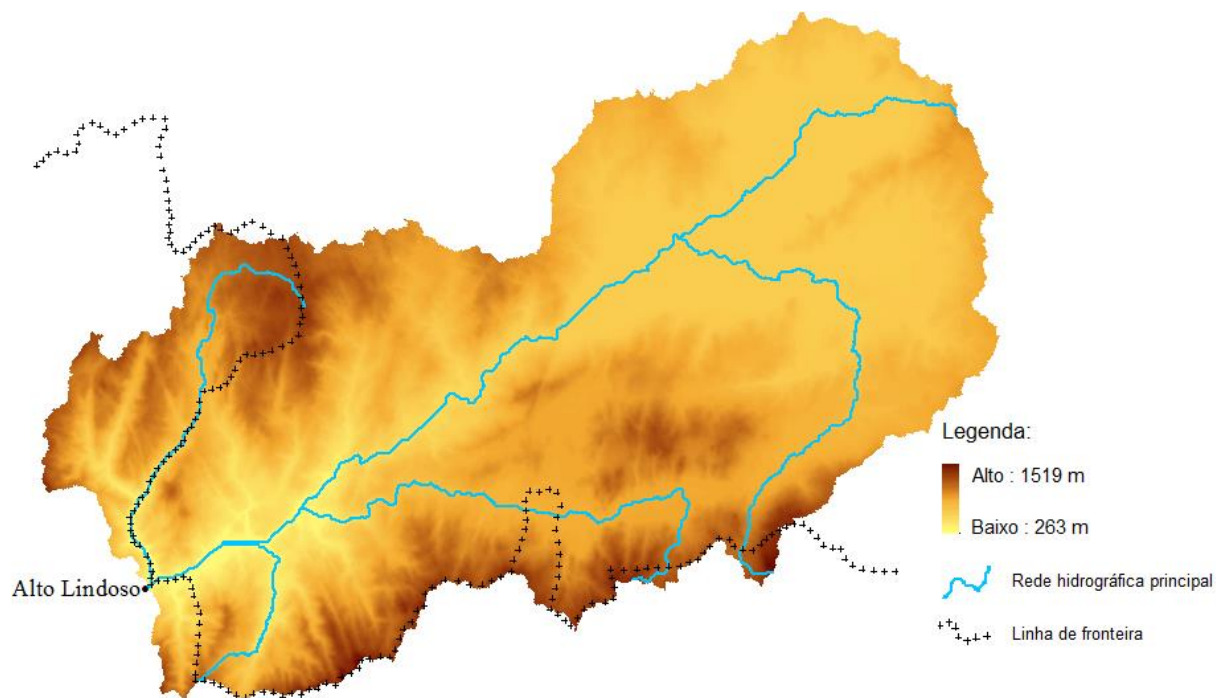


Figura 3.4- Mapa elevação/declive da bacia hidrográfica em estudo. Fonte: Copernicus- Land Monitoring Service.

Quanto à ocupação do solo na bacia em estudo, observa-se no Mapa Corine-Land Cover apresentado na Figura 3.5 que na zona de montante (mais plana) existe uma forte ocupação agrícola e algumas povoações dispersas, enquanto que na zona de jusante (com maiores declives) o solo é predominantemente ocupado por matos e florestas.

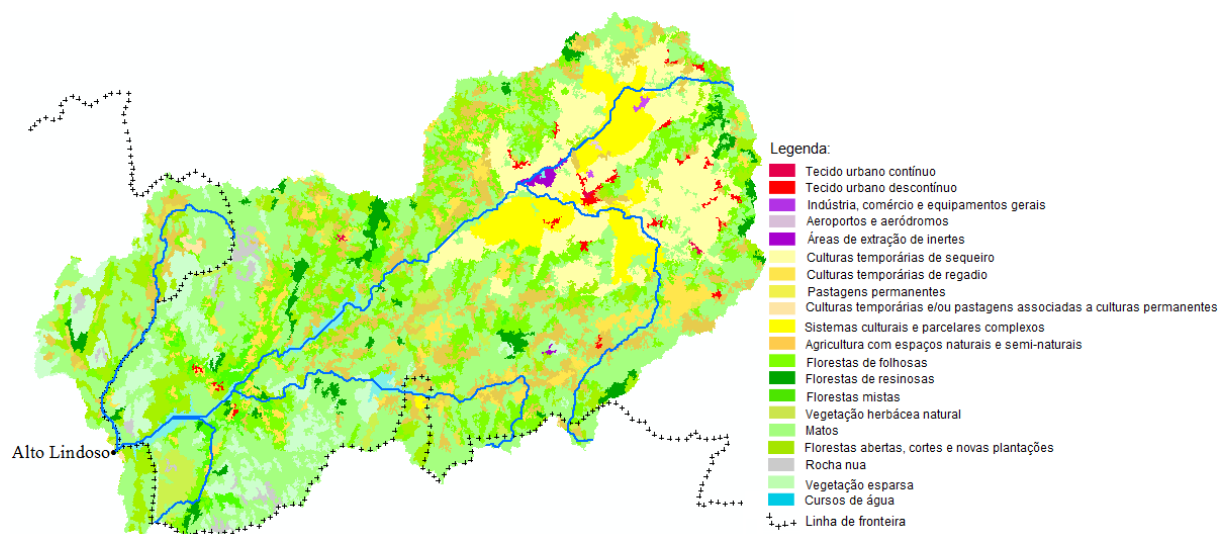


Figura 3.5- Mapa Corine Land-Cover da bacia hidrográfica em estudo. Fonte: Copernicus- Land Monitoring Service.

A rede hidrográfica principal da bacia em estudo (Figura 3.6) é composta pelo curso principal do rio Lima, com um comprimento total de cerca de 90 km entre a cabeceira e a barragem do Alto Lindoso e uma inclinação média de 0,0138 m/m. Na margem direita, os principais afluentes são o Canal Principal da Lagoa de Antela e o Castro Laboreiro. Na margem esquerda, os principais afluentes são o rio Salas e o rio Calde.



Figura 3.6- Rede hidrográfica principal da bacia em estudo.

O regime hidrológico da bacia dominada pela barragem do Alto Lindoso encontra-se há largos anos artificializado pelos dois aproveitamentos hidroelétricos espanhóis de Las Conchas e de Salas. O aproveitamento de Las Conchas, que entrou em exploração em 1949, situa-se no curso principal do rio Lima, cerca de 19 km a montante da barragem do Alto Lindoso e as suas principais características são as apresentadas na Figura 3.7. O aproveitamento de Salas, que entrou em exploração em 1971, situa-se no rio Salas e as suas principais características são apresentadas na Figura 3.8.

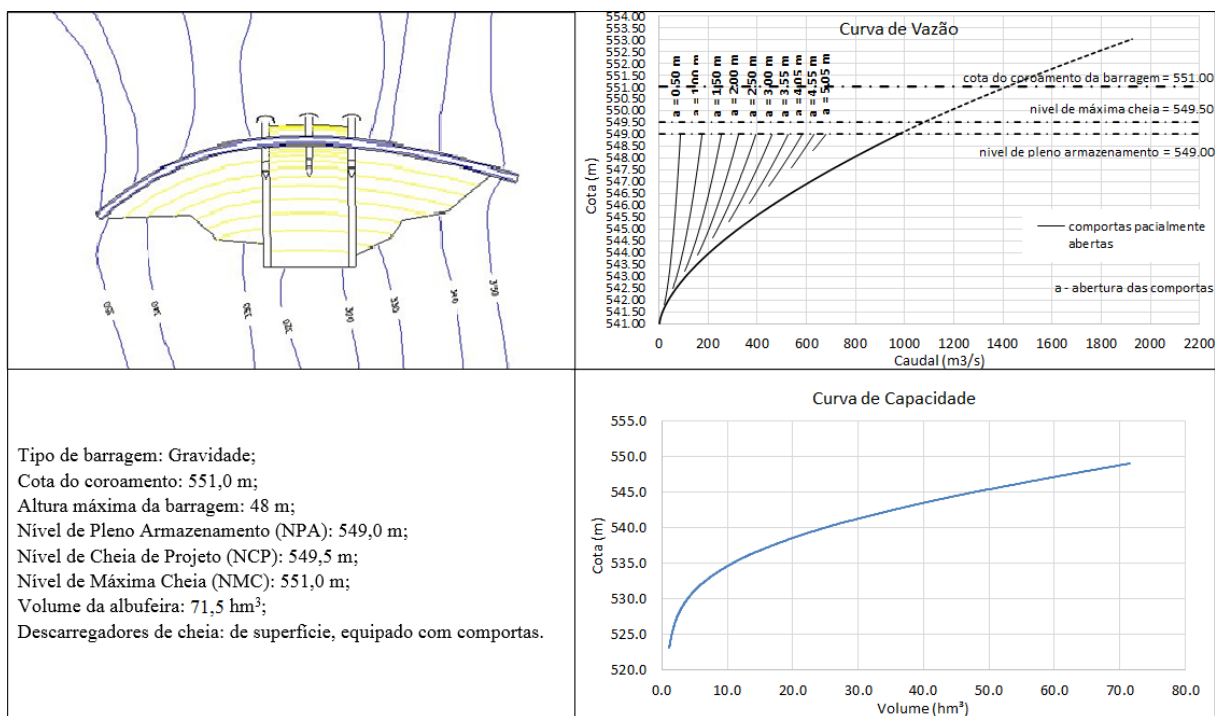


Figura 3.7- Características do aproveitamento hidroelétrico de Las Conchas. Fonte: Elementos fornecidos pela Confederação Hidrográfica do Minho-Sil.

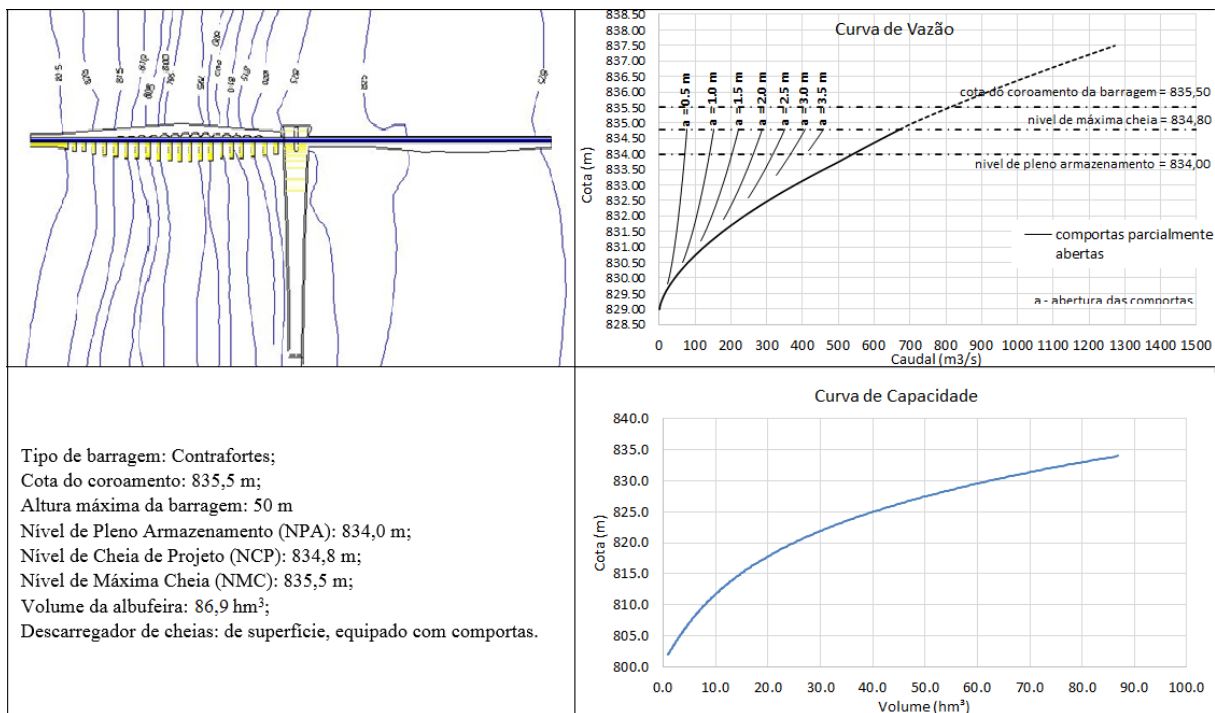


Figura 3.8- Características do aproveitamento hidroelétrico de Salas. Fonte: Elementos fornecidos pela Confederação Hidrográfica do Minho-Sil.

As afluições à albufeira do Alto Lindoso são, em parte, regularizadas por estes dois aproveitamentos espanhóis. A afluição média anual, no período de 1966 a 2005, é cerca de 1344 hm<sup>3</sup> (com um mínimo de 519 hm<sup>3</sup> e um máximo de 2646 hm<sup>3</sup>), a que corresponde um caudal modular de 42,6 m<sup>3</sup>/s [EDP (2018)].

### 3.3 CHEIA DE PROJETO INICIAL

Recorrendo aos documentos de projeto do aproveitamento do Alto Lindoso [EDP (1977)], apresentam-se seguidamente algumas referências associadas ao estudo das cheias e à fixação da cheia de projeto inicial.

O caudal de ponta da cheia de projeto foi estabelecido através da análise estatística da série de caudais instantâneos de cheia verificados no local do aproveitamento do Alto Lindoso relativa ao período de 1933/34 a 1947/48, cujos valores ainda não estavam afetados pelo efeito regularizador dos aproveitamentos espanhóis de Las Conchas, que entrou em exploração em 1949, e Salas, que entrou em exploração em 1971.

Os métodos estatísticos utilizados foram os seguintes:

- Método de Gumbel;
- Método das excedências;
- Método de Jenkinson;
- Método de Gumbel (segundo Jenkinson).

Em face dos resultados dos quatro métodos aplicados tomou-se “*como ponta de cheia milenária afluente o valor de 3 500 m<sup>3</sup>/s*”. Assinalando “*que este valor foi fixado tendo em conta os valores dos caudais sobre os limites superiores das bandas de confiança (68,3%) para T=1000 anos*”, e justificando esta atitude, “*que se pode considerar de segurança*”, pelo facto do número de elementos da série estudada ser bastante diminuto.

Na definição do hidrograma da cheia de projeto foram considerados os métodos de Giandotti e do Soil Conservation Service (S.C.S.). Uma vez que a análise de algumas pontas de cheia ocorridas no rio Lima no local em estudo mostra que o hidrograma obtido a partir desses dois métodos (com pesos de 3, para o de Giandotti e de 1 para o de S.C.S) apresenta uma forma razoável, foi essa que foi adotada e que se apresenta na Figura 3.9.

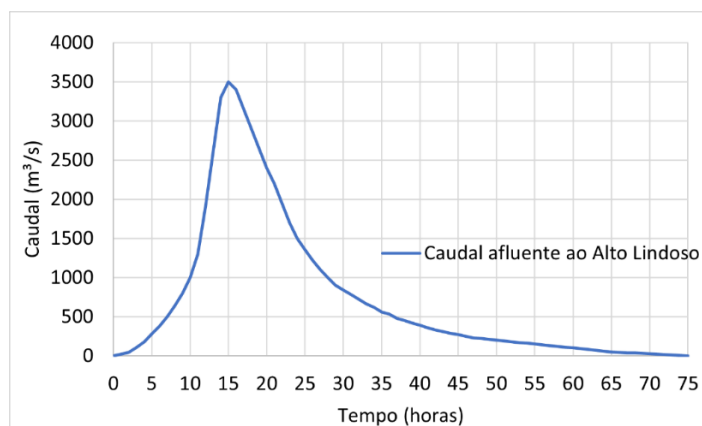


Figura 3.9- Hidrograma da cheia de projeto inicial. Fonte: [EDP (1977)].

### 3.4 NOVA CHEIA DE PROJETO

#### 3.4.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

A especificidade e complexidade do problema do estudo das cheias justificam o grande número e variedade de técnicas ou métodos - empíricos, estatísticos, de simulação hidrológica, de correlação hidrológica, de análise regional - utilizados nesse estudo. Em cada caso, e em particular na avaliação da cheia de projeto, o recurso a esses métodos deve ter em conta não só o tipo e características da obra em questão, mas também a quantidade e a qualidade dos dados disponíveis.

No presente estudo, tendo em conta, por um lado, que a artificialização do regime hidrológico na bacia hidrográfica em análise (devido à existência e características, a ver no ponto 3.2, dos aproveitamentos hidroelétricos de Las Conchas e de Salas), torna difícil a obtenção de séries de caudais de cheia afluentes ao aproveitamento do Alto Lindoso que permitam a utilização do método estatístico de forma consistente, e por outro, que para considerar o efeito de amortecimento da albufeira do Alto Lindoso é necessário que a cheia de projeto seja definida não só pelo valor da ponta mas também pela forma do respetivo hidrograma, neste trabalho recorreu-se à metodologia de simulação hidrológica para calcular as novas cheias de projeto.

#### 3.4.2 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

##### 3.4.2.1 Precipitações máximas anuais em 24 horas

Para caracterizar as precipitações máximas anuais em 24 horas, uma vez que cerca de 88% da área da bacia em análise se localiza em território espanhol, teve-se em conta o estudo realizado pelo Centro de Estudos e Experimentação de Obras Públicas de Espanha (CEDEX), intitulado “*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*” [CEDEX (1999)]. Nesse estudo é apresentada uma metodologia para a determinação dos valores das precipitações máximas anuais em 24 horas em todo o território peninsular espanhol, cujo desenvolvimento seguiu os seguintes passos:

- Seleção dos postos pluviométricos e recolha dos seus registos de precipitações diárias máximas;
- Análise estatística das séries de precipitações diárias máximas anuais, fazendo uma estimativa regional de parâmetros e quantis;
- Análise da distribuição do valor médio das séries de precipitações diárias máximas anuais, estimado a partir das amostras;
- Resumo e apresentação dos resultados alcançados em forma de mapas de todo território peninsular espanhol, com as isolinhas das precipitações diárias máximas anuais ( $\bar{P}$ ) e do valor regional do coeficiente de variação ( $C_v$ ) (ver Figura 3.10).

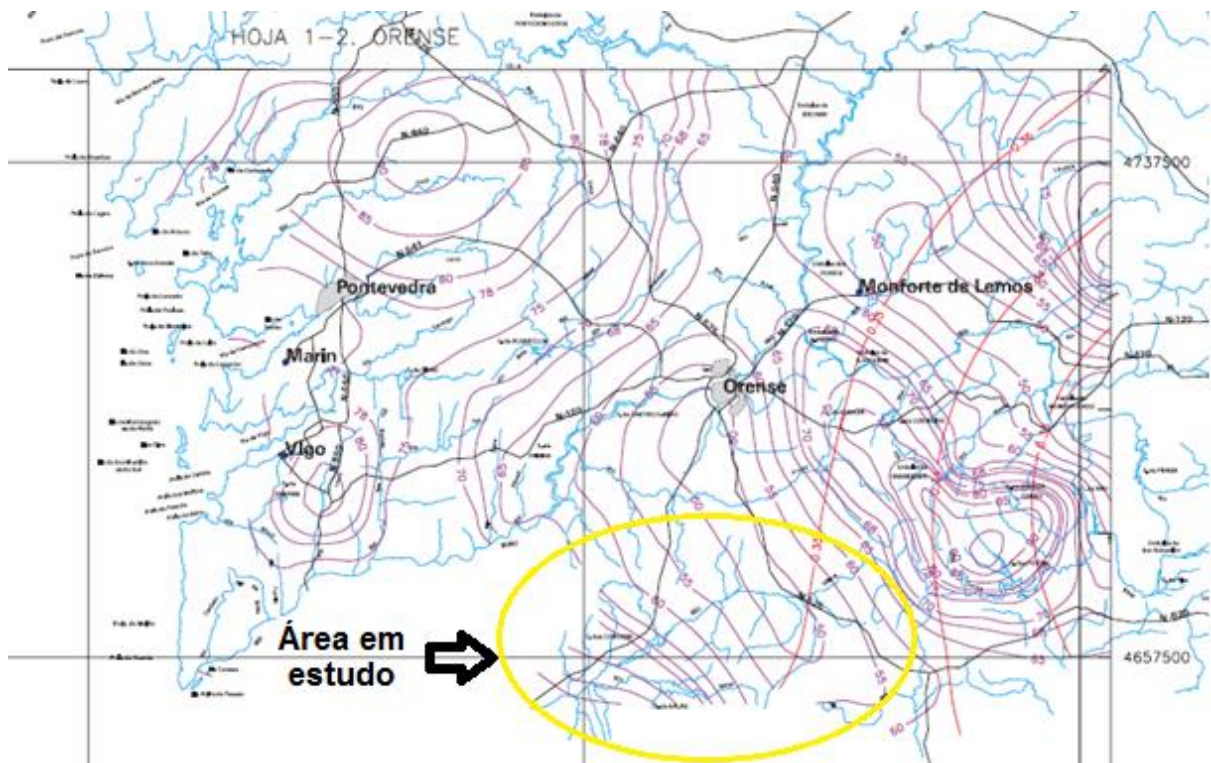


Figura 3.10- Mapa das isolinhas da precipitação diária máxima anual ( $\bar{P}$ ) e do valor regional do coeficiente de variação ( $C_v$ ) para a região de Ourense. Fonte: [CEDEX (1999)].

De acordo com esta metodologia, o processo seguinte para se obterem as precipitações máximas anuais em 24 horas para um dado local consistiu nos seguintes passos:

- Estimativa para o local em estudo dos valores do coeficiente da variação  $C_v$  e da precipitação diária máxima anual ( $\bar{P}$ ) a partir dos mapas da isolinhas atrás referidos;
- Para o  $C_v$  obtido e o período de retorno desejado, obtenção do quantil regional ( $Y_t$ ), mediante o ábaco apresentados na figura seguinte;

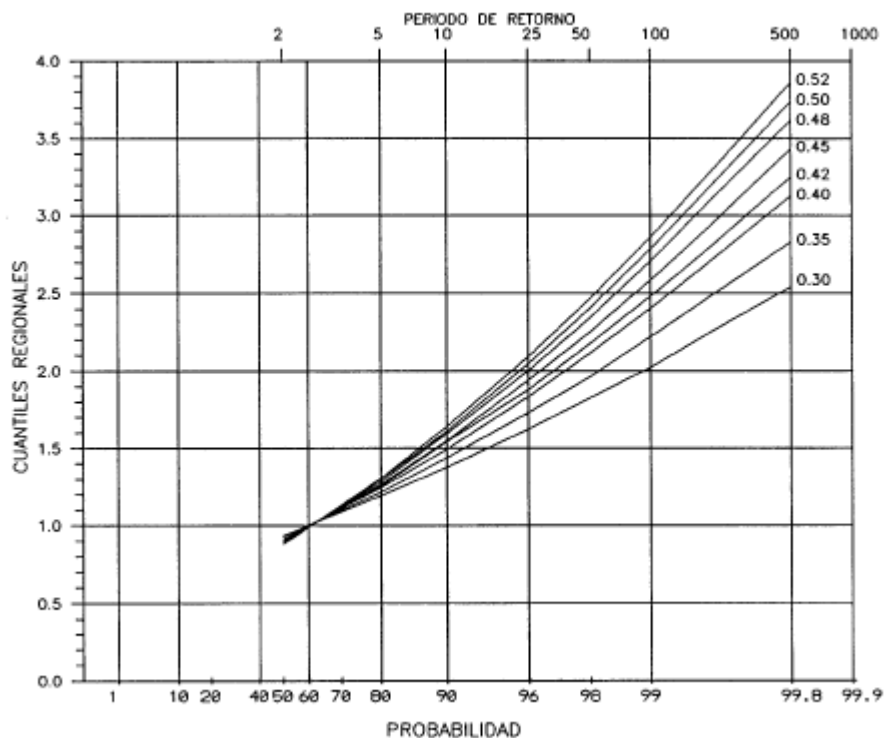


Figura 3.11- Relação entre os quantis regionais ( $Y_t$ ), o período de retorno ( $T$ ), em anos, a probabilidade de não ser excedido o quantil em um ano, em %, e o coeficiente de variação ( $C_v$ ). Fonte: [CEDEX (1999)].

- Por fim é calculado o quantil local ( $X_t$ ) usando a fórmula seguinte (3.1), sendo esse o valor da precipitação máxima em 24 horas no local em estudo:

$$X_t = Y_t \times \bar{P} \quad (3.1)$$

Tendo em vista aferir os resultados obtidos através da metodologia atrás descrita, desenvolvida pela CEDEX, procurou-se também recolher e analisar os registos das precipitações máximas anuais em 24 horas disponíveis na zona em estudo, estando assinalados na Figura 3.12 os postos pluviométricos que foram considerados.

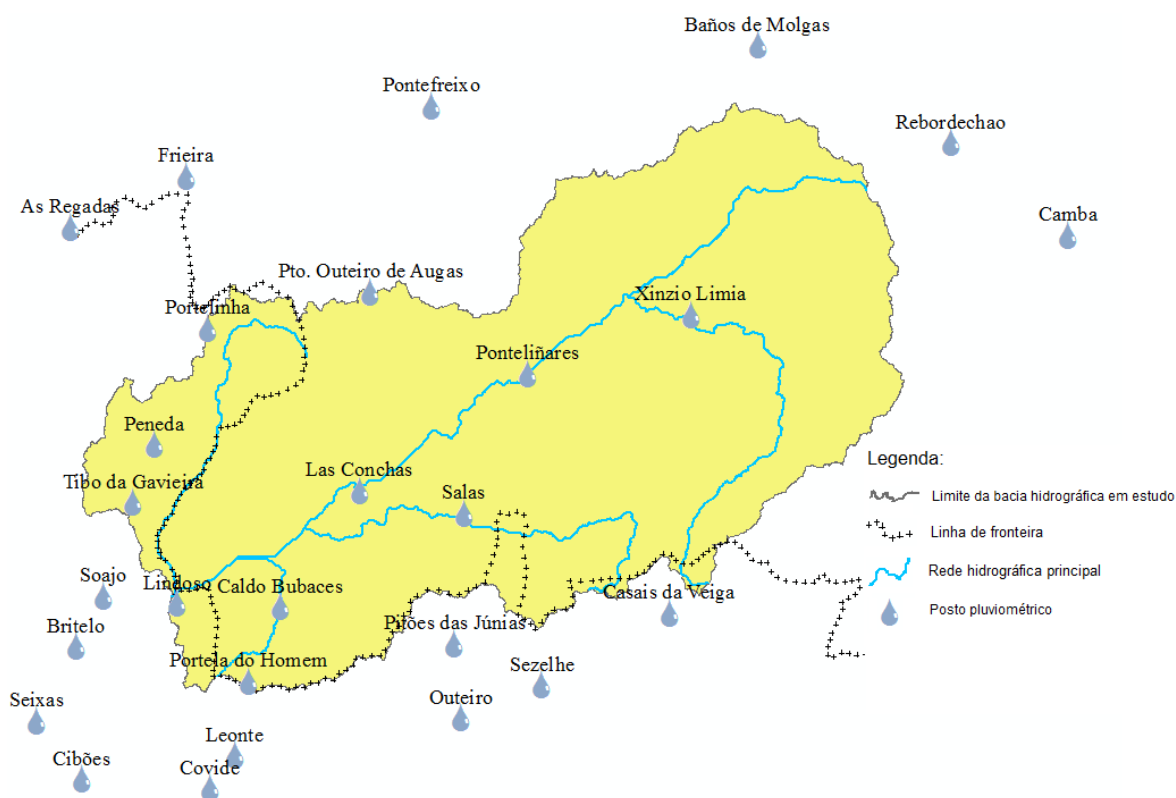


Figura 3.12- Postos de medição de chuva que foram considerados no estudo.

Conforme se pode observar na Figura 3.12, dos 27 postos considerados na análise (15 em Portugal e 12 em Espanha) apenas 11 se localizam dentro do limite da bacia em estudo.

Nos Quadros B.1 e B.2 em anexo são apresentadas as séries de registos das precipitações máximas anuais em 24 horas disponíveis em cada um dos postos. Os registos dos postos espanhóis foram obtidos a partir do site da Confederação Hidrográfica do Minho-Sil, enquanto que os registos observados nos postos portugueses foram obtidos no site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

Da análise desses registos verifica-se que:

- Não é possível estabelecer um período comum que englobe dados dos postos espanhóis e dos postos portugueses;
- Nos postos portugueses, a definição de um período de observação com uma extensão temporal representativa, e ao mesmo tempo englobando um número de postos que permita uma cobertura espacial aceitável, conduziu à fixação de um período de referência de 58 anos, compreendido entre os anos hidrológicos de 1943/44 e 2000/01;
- Nos postos espanhóis, a extensão temporal mais longa comporta apenas um período de 13 anos, compreendido entre os anos hidrológicos de 2007/08 e 2019/20.

Assim, optou-se por retirar da lista de postos analisados aqueles que, na parte portuguesa, apresentavam menos de 54 anos, dentro do período 1943/44 a 2000/01 e os que, na parte espanhola apresentavam menos de 13 anos, dentro do período de 2007/08 a 2019/20. Na tabela seguinte apresenta-se o conjunto de postos cujas séries foram alvo de análise estatística.

Tabela 3.1- Postos pluviométricos cujas séries foram alvo de análise estatística.

Postos Pluviométricos		Ano inicial	Ano final
Referência	Nome	registos	registos
A046	Ponteliñares (ES)	2007/08	2019/20
E033	Frieira (ES)	2007/08	2019/20
E035	Las Conchas (ES)	2007/08	2019/20
E036	Salas (ES)	2007/08	2019/20
M017	Camba (ES)	2007/08	2019/20
N019	Caldo Bubaces (ES)	2007/08	2019/20
P023	Rebordechao (ES)	2007/08	2019/20
01H02	Portelinha (PT)	1943/44	2000/01
02H03	Peneda (PT)	1943/44	2000/01
02H05	Tibo da Gavieira (PT)	1943/44	2000/01
02H07	Britelo (PT)	1943/44	2000/01
02K01	Casais da Veiga (PT)	1943/44	2000/01
03I03	Leonte (PT)	1943/44	2000/01
03J02	Outeiro (PT)	1943/44	2000/01

#### 3.4.2.2 Dados hidrometeorológicos referentes a eventos específicos

A calibração do modelo de precipitação-escoamento (adiante referido) utilizado no presente estudo, exige o conhecimento de alguns eventos de cheia ocorridos na bacia. Após uma análise dos registos disponíveis (em termos de chuvas e de caudais), foi possível obter elementos com a qualidade necessária a este tipo de estudos, relativamente às seguintes cheias:

- De 17/02/2010 a 08/03/2010 (Cheia de 2010);
- De 16/01/2013 a 31/01/2013 (Cheia de 2013);
- De 10/12/2019 a 28/12/2019 (Cheia de 2019).

Para a caracterização das chuvadas que estiveram na origem destas cheias, recorreu-se a registos pluviométricos dos postos existentes na zona da bacia. Os registos observados na parte espanhola foram obtidos a partir do site da Confederação Hidrográfica do Minho-Sil, enquanto que os registos observados na parte portuguesa foram obtidos no site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Após a análise da qualidade dos registos disponíveis, foram selecionados para cada um dos eventos os observados nos postos indicados na Tabela 3.2, cujas localizações podem ser observadas na Figura 3.13.



Figura 3.13- Localização dos postos pluviométricos com registos udográficos relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019.

Tabela 3.2- Postos pluviométricos com registos udográficos relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019.

Referência	Postos Pluviométricos Nome	Hietogramas		
		Cheia 2010	Cheia 2013	Cheia 2019
A046	Ponteliñares (ES)	X	X	X
E033	Frieira (ES)		X	X
E035	Las Conchas (ES)	X	X	X
E036	Salas (ES)	X	X	X
M017	Camba (ES)	X	X	X
M025	Pto. Outeiro de Augas (ES)	X	X	
N019	Caldo Bubaces (ES)		X	X
N029	Pontefreixo (ES)		X	X
N030	Baños de Molgas (ES)		X	
N031	Xinzio Limia (ES)		X	X
N035	As Regadas (ES)		X	X
P023	Rebordechao (ES)	X	X	X
01H02	Portelinhã (PT)	X		
02H10	Soajo (PT)			X
02J01	Pitões das Júnias (PT)			X
02K01	Casais da Veiga (PT)			X
03J01	Sezelhe (PT)			X
03J02	Outeiro (PT)	X		X

Os hietogramas correspondentes a cada um dos eventos são representados nas Figuras A.1, A.2 e A.3 em anexo.

No que diz respeito aos caudais resultantes dessas chuvadas, a sua caracterização foi efetuada a partir dos registos das estações hidrométricas de Xinzio Lima, Ponteliñares e Caldo Bubaces e também dos registos de exploração dos aproveitamentos de Las Conchas, Salas e Alto Lindoso. Na figura 3.14 estão indicados todos esses locais:



Figura 3.14- Localização das estações hidrométricas e aproveitamentos hidroelétricos com registos de caudais relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019.

Na tabela 3.3 são indicadas, para cada um dos eventos de cheia, as estações hidrométricas que dispõem de registos consistentes de caudais e nas Figuras A.4, A.5 e A.6 em anexo apresentam-se os hidrogramas de cheia respetivos. Será de referir que foi considerado um atraso de 4 dias e 19 horas no registo da estação hidrométrica de Caldo Bubaces, relativo à cheia de dezembro de 2019, essa correção foi considerada necessária para que tal registo fosse compatível com o das restantes estações.

Tabela 3.3- Estações hidrométricas com registos de caudais relativos às cheias de 2010, 2013 e 2019.

Referência	Estações Hidrométricas			Registos considerados		
	Nome	Rio	Área (Km <sup>2</sup> )	Cheia 2010	Cheia 2013	Cheia 2019
A046	Ponteliñares	Lima	693	X	X	X
N019	Caldo Bubaces	Caldo	35			X
N031	Xinzio Limia	Lima	296		X	X

Os dados de exploração dos aproveitamentos espanhóis (Las Conchas e de Salas) foram fornecidos pela Confederação Hidrográfica do Minho-Sil, estando representadas nas figuras A.7, A.8 e A.9 em anexo as evoluções horárias dos caudais afluentes e efluentes nestes aproveitamentos, durante os eventos de cheias considerados.

Os dados de exploração do Alto Lindoso foram fornecidos pela EDP Produção, estando representadas nas figuras A.10, A.11 e A.12 em anexo as evoluções horárias dos caudais afluentes a este aproveitamento observados durante os eventos de cheias considerados.

### 3.4.3 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES EXTREMAS

#### 3.4.3.1 Precipitações máximas em 24 horas

Conforme foi já referido no ponto 3.4.2.1, para calcular as precipitações máximas anuais em 24 horas na bacia em estudo usou-se a metodologia desenvolvida pelo CEDEX. Na Figura 3.15 apresentam-se as isolinhas do valor médio da precipitação diária máxima anual e do coeficiente de variação para a bacia em estudo e área envolvente.

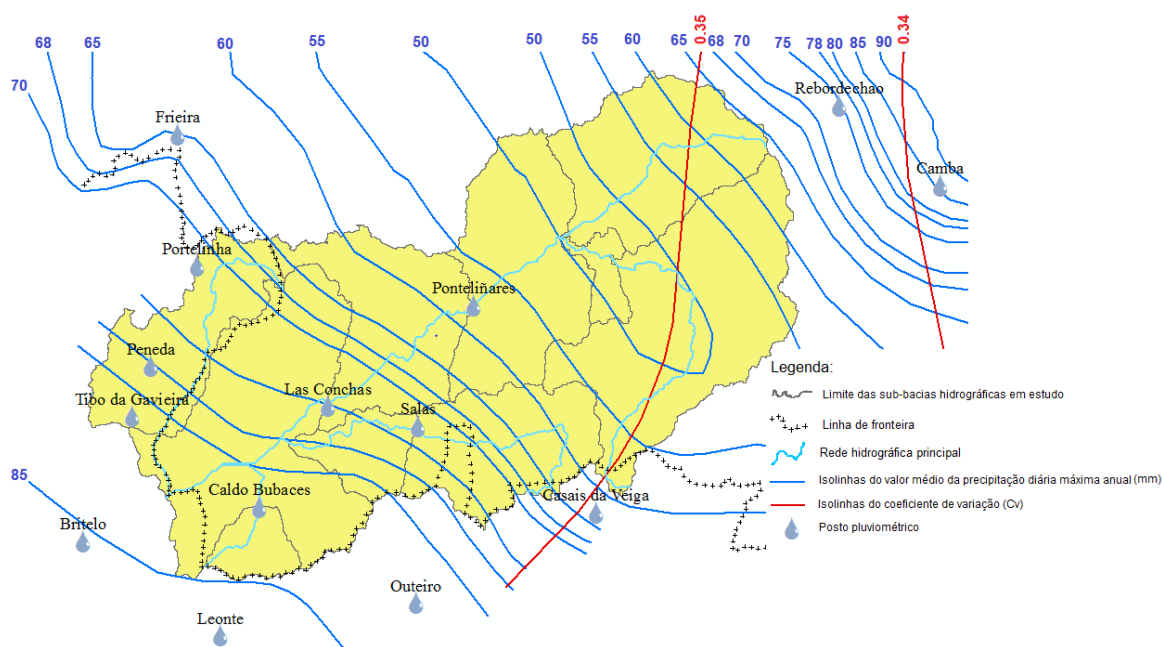


Figura 3.15- Mapa das isolinhas da precipitação diária máxima anual ( $\bar{P}$ ) e do valor regional do coeficiente de variação ( $C_v$ ) para a zona da bacia em estudo. Fonte: [CEDEX (1999)].

Tendo por base as correspondentes isolinhas, foi admitido um coeficiente de variação para toda a bacia em estudo  $C_v=0,35$ , o que, de acordo com o procedimento anteriormente referido (em 3.4.2.1), permitiu definir os quantis regionais associados aos vários períodos de retorno considerados pelo estudo do CEDEX (1999), até 500 anos. Com base nesses valores e por extrapolação com base na expressão de ajuste dos mesmos, foram obtidos ainda valores correspondentes a períodos de retorno superiores a 500 anos (não incluídos no estudo da CEDEX). Todos esses valores e procedimento de extrapolação são sintetizados na Figura 3.16.

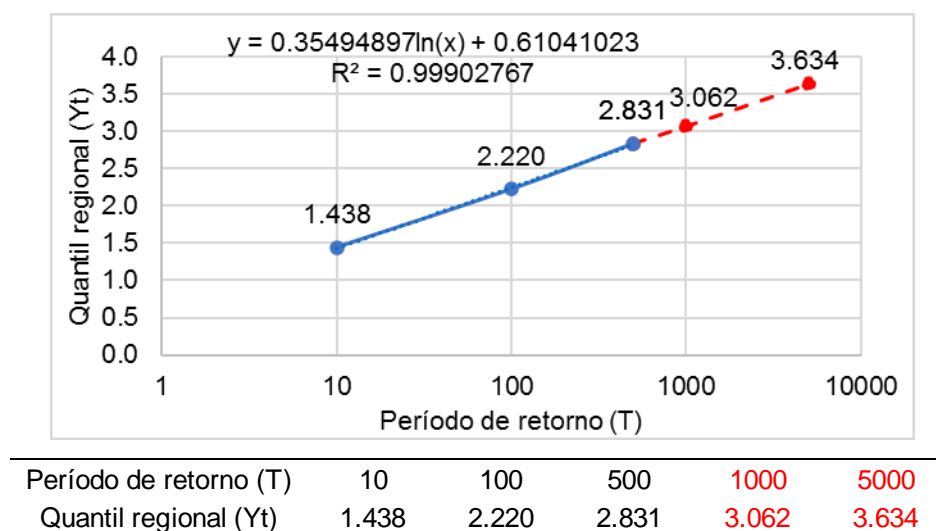


Figura 3.16- Valores dos quantis regionais associados a vários períodos de retorno (Yt), para a zona da bacia em estudo.

Foi também realizada a análise estatística das séries de valores das precipitações máximas anuais em 24 horas registadas nos postos pluviométricos que foram identificados no ponto 3.4.2.1, a qual compreendeu os seguintes passos:

- Verificação da aleatoriedade, homogeneidade e consistência;
- Ajuste de funções de distribuição;
- Avaliação da qualidade do ajuste das distribuições;
- Extrapolação das precipitações máximas anuais em 24 horas, para vários períodos de retorno.

Como decorre do exposto nesse ponto, foi fixado o período de estudo de 58 anos hidrológicos, para os postos da parte portuguesa, e de 13 anos hidrológicos, para os postos da parte espanhola, compreendidos, respetivamente, entre os anos 1943/44 a 2000/01 e 2007/08 a 2019/20.

a) Testes de aleatoriedade e homogeneidade das séries

Para analisar a aleatoriedade das séries dos valores da precipitação máxima anual em 24 horas foram utilizados os seguintes testes estatísticos não paramétricos [Oliveira (1997)]:

- Teste do coeficiente de autocorrelação;
- Teste de Wald-Wolfowitz;
- Teste do número de extremos locais;
- Teste do desvio à média acumulado;
- Teste da máxima verosimilhança;
- Teste bayesiano.

Os resultados da aplicação dos testes de aleatoriedade com um nível de confiança de 95% são apresentados no Quadro B.3 apresentado em anexo. Usando como critério para a efetiva rejeição de uma série de precipitações que esta seja rejeitada por mais de dois testes de aleatoriedade e homogeneidade, conclui-se, pela análise do quadro referido, que a hipótese de aleatoriedade e homogeneidade foi rejeitada para as séries dos postos udométricos de Peneda, Casais da Veiga, Leonte e Outeiro.

b) Ajuste de lei teórica de distribuição de probabilidade

Entende-se por função de distribuição de probabilidade, ou simplesmente função de distribuição, a função real de variável real que a cada elemento  $x$  atribui a probabilidade  $F(x)$  de este não ser ultrapassado.

No presente estudo aplicou-se a lei de Gumbel. A função densidade de probabilidade que lhe está associada é definida pela seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{x-\xi}{\alpha} \exp \left( 1 - \frac{x-\xi}{\alpha} \right) \right]; \quad -\infty > x > \infty \quad (3.2)$$

Os valores obtidos para os parâmetros da lei teórica de distribuição de probabilidade considerada, calculados pelo método dos mínimos quadrados, são apresentados no Quadro B.4 apresentado em anexo. Na Figura 3.17 é feita a representação gráfica dessa função.

c) Avaliação da qualidade do ajuste da lei teórica

No sentido de se avaliar o ajustamento, ou adaptabilidade, do modelo de distribuição teórico considerado à distribuição empírica da amostra, para além da visualização gráfica e da determinação do coeficiente de correlação ( $r$ ), foram aplicados dois testes estatísticos de rejeição: o teste do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e um teste baseado na função de distribuição empírica da amostra (Kolmogorov-Smirnov).

Os resultados da análise da qualidade dos ajustes com nível de confiança de 95%, obtidos com base nos testes do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) e Kolmogorov-Smirnov (Ksv), bem como os valores obtidos para os coeficientes de correlação, são apresentados no Quadro B.5 apresentado em anexo. Verifica-se que a hipótese de as séries serem ajustadas pela lei de Gumbel apenas é rejeitada por um dos testes no posto de Britelo.

d) Extrapolação para vários períodos de retorno

As precipitações máximas anuais em 24 horas ( $P_{24}$ ) em cada posto pluviométrico, para diferentes períodos de retorno ( $T$ ), são calculadas a partir da inversa da função de probabilidade acumulada, que para a distribuição de Gumbel é traduzida pela seguinte expressão:

$$P(T) = \xi - \alpha \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.3)$$

No Quadro B.6 apresentado em anexo são apresentados os valores das precipitações máximas em 24 horas, para vários períodos de retorno, calculados nos diferentes postos por aplicação da lei de Gumbel às séries consideradas. Na Figura 3.17 é feita a representação gráfica dessas leis conjuntamente com os valores obtidos no local de cada um dos postos, aplicando a metodologia desenvolvida pelo CEDEX.

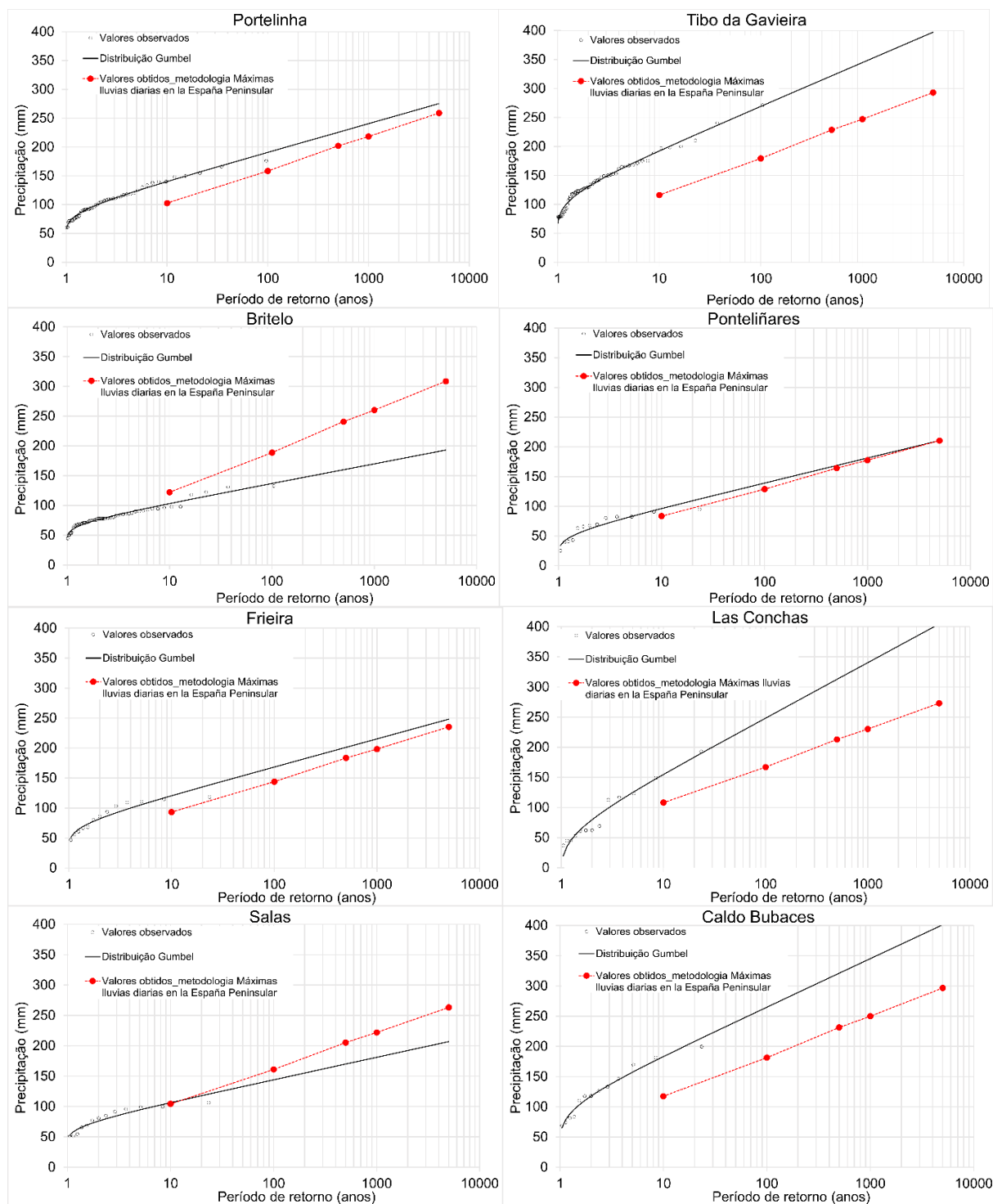


Figura 3.17- Lei de Gumbel ajustada às séries de precipitações máximas anuais em 24 horas vs valores obtidos através da metodologia desenvolvida pela CEDEX.

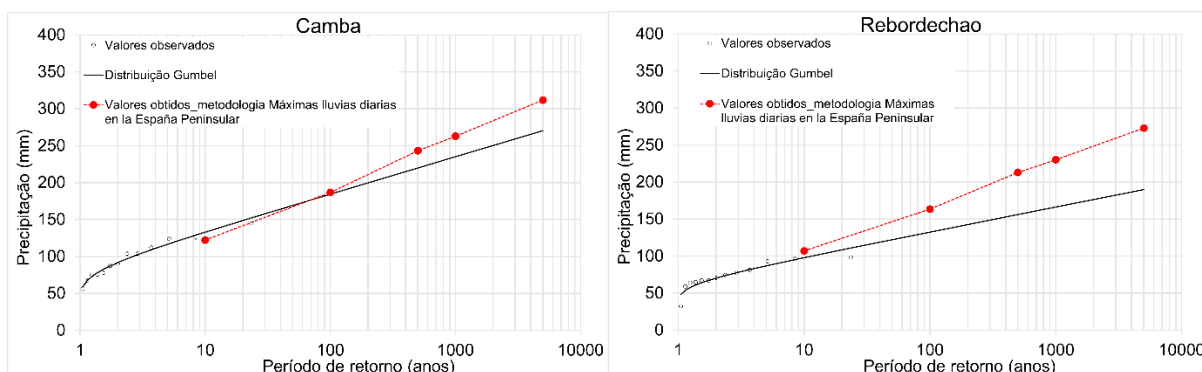


Figura 3.17 (continuação)- Lei de Gumbel ajustada às séries de precipitações máximas anuais em 24 horas vs valores obtidos através da metodologia desenvolvida pela CEDEX.

Quando se comparam os valores obtidos pelos dois métodos considerados para estimar as precipitações máximas anuais em 24 horas, sem deixar de ter presente as limitações da análise estatística (períodos das séries dos postos portugueses e espanhóis não coincidentes e séries dos postos espanhóis relativas a um período de apenas 13 anos), verifica-se que, salvo algumas exceções (como é o caso de Britelo e Salas), aparentemente na parte de montante da bacia a metodologia CEDEX fornece valores superiores, enquanto que na parte de jusante, junto à fronteira com Portugal, esses valores tendem a ser inferiores.

Globalmente e ao nível da bacia, julga-se confirmada a adequação da metodologia proposta. Assim, no prosseguimento do estudo foram usados os valores das precipitações máximas anuais em 24 horas obtidos a partir da metodologia desenvolvida pelo CEDEX.

#### 3.4.3.2 Precipitações com durações diferentes de 24 horas

As precipitações com duração diferente de 24 horas foram definidas tendo em conta as conclusões do estudo *Análise de Precipitações Intensas* realizado por Cláudia Brandão em 1995, adaptadas no *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Lima* em 1999 [INAG (1999)], no qual se estabelece a relação:

$$\frac{Pd}{P_{24}(T)} = \left(\frac{d}{24}\right)^a \quad (3.4)$$

em que:

- d – duração da chuvada;
- Pd – precipitação total para uma duração de chuvada igual a d;
- $P_{24}(T)$  – precipitação total em 24 horas para um período de retorno T;
- $a = 0,2937$ .

#### 3.4.3.3 Hietogramas de cálculo

Para a aplicação do modelo precipitação-escoamento é necessária a caracterização das chuvadas que irão dar origem ao escoamento. Neste contexto torna-se necessária a definição de hietogramas de cálculo a simular para a obtenção dos respetivos hidrogramas de cheia.

É um facto reconhecido que na Natureza não se verifica a existência de uma relação inequívoca e direta entre o período de retorno das chuvadas e o período de retorno das cheias por elas provocadas, uma vez

que outros fatores, para além da precipitação, condicionam a geração do escoamento. No entanto, considerando perdas de precipitação adequadas, pode aceitar-se que o período de retorno da cheia é idêntico ao da precipitação que a provoca, principalmente no caso de estarem em causa elevados períodos de retorno [NERC (1975)].

A definição do hietograma de cálculo pressupõe o conhecimento da duração da chuvada, a sua quantidade total (associada à duração e frequência de ocorrência) e a respetiva distribuição ao longo do tempo. Nas alíneas seguintes são apresentadas as metodologias com que cada um destes aspetos foi abordado, assim como os resultados obtidos.

a) Duração da chuvada

Para que a chuvada caída sobre uma bacia seja geradora do caudal máximo de cheia que lhe corresponde, deverá ter uma duração igual ou superior ao tempo de concentração ( $t_c$ ) dessa bacia [Correia (1983a)].

Genericamente, a consideração de precipitações com duração superior ao tempo de concentração justifica-se, especialmente em relação às bacias hidrográficas dominadas por barragens cujas albufeiras possibilitam o amortecimento de cheias, como é o caso da albufeira do Alto Lindoso. Com efeito, com essas precipitações obtêm-se hidrogramas de cheia afluentes que, apesar de poderem apresentar menores caudais de ponta, têm associados maiores volumes, pelo que o seu amortecimento poderá exigir maior capacidade de encaixe na albufeira.

Para obter o valor do tempo de concentração na secção em estudo utilizaram-se as seguintes fórmulas:

- Temez

$$t_c = 0.3 \times \left( \frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (3.5)$$

- Kirpich

$$t_c = 0.0663 \times \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}} \quad (3.6)$$

em que:

- $t_c$  – Tempo de concentração da bacia hidrográfica (h);
- $L$  – Comprimento da linha de água principal (Km);
- $i$  – Inclinação média da linha de água principal (m/m).

Da aplicação destas duas fórmulas, obtiveram-se os seguintes valores:

Tabela 3.4- Tempos de concentração obtidos pelas fórmulas de Temez e de Kirpich.

Comprimento L (Km)	Inclinação i (m/m)	Tempo de concentração - $t_c$ (horas)	
		Temez	Kirpich
90,44	0,0138	21	11

Tendo em conta os resultados obtidos, no cálculo das cheias seguidamente apresentado, foram consideradas chuvadas com duração similar ou superior ao tempo de concentração de 12, 18, 24, 30 e 36 horas.

b) Valor da precipitação total

Os valores da precipitação total para diferentes durações de chuvas e períodos de retorno considerados foram calculados do seguinte modo:

- Com base na metodologia apresentada no ponto 3.4.2.1 e os valores dos quantis regionais obtidos em 3.4.3.1, foram calculadas as precipitações máximas anuais em 24 horas para diferentes períodos de retorno em cada sub-bacia considerada no modelo de simulação hidrológica (ver Figura 3.19).
- Aplicando a relação (3.4) apresentada no ponto 3.4.3.2 às precipitações acima referidas, obtiveram-se os valores das precipitações máximas anuais para diferentes durações e períodos de retorno (T= 100, 1000 e 5000 anos), que se apresentam nas tabelas 3.5 a 3.7, seguintes.

Tabela 3.5- Precipitação total em cada sub-bacia para diferentes durações de chuvas. T=100 anos.

Sub-bacias	Precipitação Total (mm)				
	P <sub>12</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>36</sub>
SB_CPLA	100	112	122	130	137
SB_SAL1	122	137	149	159	168
SB_SAL2	140	158	172	184	194
SB_CAL	151	170	185	198	208
SB_LAB	136	153	167	178	188
SB_LIM1	96	108	118	126	133
SB_LIM2	91	102	111	119	125
SB_LIM3	99	111	121	129	136
SB_LIM4	117	131	143	153	161
SB_LIM5	140	158	172	184	194

Tabela 3.6- Precipitação total em cada sub-bacia para diferentes durações de chuvas. T=1000 anos.

Sub-bacias	Precipitação Total (mm)				
	P <sub>12</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>36</sub>
SB_CPLA	138	155	169	180	190
SB_SAL1	168	189	206	220	232
SB_SAL2	193	218	237	253	267
SB_CAL	209	235	256	273	288
SB_LAB	188	212	231	247	260
SB_LIM1	133	150	163	174	184
SB_LIM2	126	142	154	164	173
SB_LIM3	136	153	167	178	188
SB_LIM4	162	182	198	211	223
SB_LIM5	193	218	237	253	267

Tabela 3.7 - Precipitação total em cada sub-bacia para diferentes durações de chuvadas. T=5000 anos.

Sub-bacias	Precipitação Total (mm)				
	P <sub>12</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>36</sub>
SB_CPLA	163	184	200	214	225
SB_SAL1	199	224	244	261	275
SB_SAL2	230	259	282	301	318
SB_CAL	247	278	303	324	341
SB_LAB	224	252	274	293	309
SB_LIM1	158	178	194	207	219
SB_LIM2	148	167	182	194	205
SB_LIM3	162	182	198	211	223
SB_LIM4	192	216	235	251	265
SB_LIM5	229	258	281	300	317

c) Distribuição temporal

Determinadas as precipitações totais correspondentes aos períodos de retorno considerados, resta conhecer a respetiva distribuição temporal. Este é um problema da maior importância, dado que a resposta da bacia em termos de evolução dos hidrogramas de cheia pode ser bastante diferente conforme o tipo de distribuição adotado. Se as durações de precipitação superiores ao tempo de concentração se associarem a hidrogramas com distribuição temporal uniforme, os caudais de ponta de cheia daí resultantes diminuem com o aumento da duração da chuvada (por diminuição da intensidade média da precipitação com o aumento da duração, para um dado período de retorno). Para contornar esta questão, a diferentes durações de chuvadas, superiores ao tempo de concentração da bacia, são associados hidrogramas com distribuição temporal não uniforme, de forma a detetar as situações mais gravosas relativas a caudais de ponta e/ou volumes afluentes.

Existem vários modelos de curvas de distribuição temporal de precipitação para a determinação de hidrogramas não uniformes, nomeadamente, modelos empíricos, modelos baseados nas curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) e modelos baseados em registos de estações udrográficas.

De acordo com [Correia (1983b)] as curvas de distribuição temporal elaboradas por Huff "...são representadas de uma forma adimensional e constituem uma técnica adequada para obter hidrogramas de precipitação realista. ...Escolhida uma distribuição, é possível saber, para cada duração expressa em percentagem total, qual a percentagem da precipitação total excedida com probabilidades diversas. Para efeitos de projeto é corrente considerar-se o valor mediano, correspondente à curva dos 50%".

A metodologia de Huff, baseada em registos de estações udrográficas, consistiu em agrupar acontecimentos pluviosos em quatro grupos, consoante a localização da precipitação máxima, isto é, os acontecimentos pluviosos pertencem ao 1º, 2º, 3º ou 4º grupo, respetivamente, quando a precipitação máxima acumulada estiver no 1º, 2º, 3º ou 4º quartil da duração total. Para cada quartil desenhou várias curvas de distribuição temporal de precipitação consoante a sua probabilidade de ocorrência, possibilitando, assim, expressar a grande variabilidade dos acontecimentos pluviosos intensos [Brandão (1995)]. Neste estudo será considerado apenas o 2º quartil de Huff, cujas distribuições adimensionais relativas às diferentes durações de chuvadas estão apresentadas no Quadro B.7 em anexo.

### 3.4.4 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

#### 3.4.4.1 Caracterização do modelo

Para se realizarem as simulações hidrológicas foi utilizado o programa HEC-HMS v3.5 desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) do U.S. Army Corps of Engineers. Este software permite simular os processos de formação (componente precipitação-escoamento), propagação e amortecimento das cheias naturais.

A componente precipitação-escoamento utilizada pelo HEC-HMS organiza-se segundo o esquema apresentado na Figura 3.18. Da precipitação definida sobre a bacia, parte escoam-se superficialmente e parte é interceptada ou infiltra-se (de acordo com as características de permeabilidade dessa bacia). A quantidade de água infiltrada pode ser estimada por vários modelos, tais como: taxa de infiltração constante, método do SCS (Soil Conservation Service), método de Holtan ou pela função de Green e Ampton antecedida de uma infiltração inicial. O escoamento superficial pode ser simulado através de um hidrograma unitário sintético ou pelo método da onda cinemática. Os hidrogramas unitários sintéticos disponíveis no programa HEC-HMS são os de Snyder, Clark e SCS, podendo ser usado qualquer outro fornecido pelo utilizador. O escoamento total da bacia obtém-se somando o escoamento superficial ao escoamento base, sendo este último simulado, correntemente, por uma função de recessão empírica.

A componente de propagação e amortecimento da cheia inclui vários modelos matemáticos simplificados (métodos hidrológicos) da equação do movimento de uma onda de cheia através de um canal ou reservatório, nomeadamente: método da onda cinemática, método de Muskingum, método de Muskingum-Cunge e método de Puls modificado.

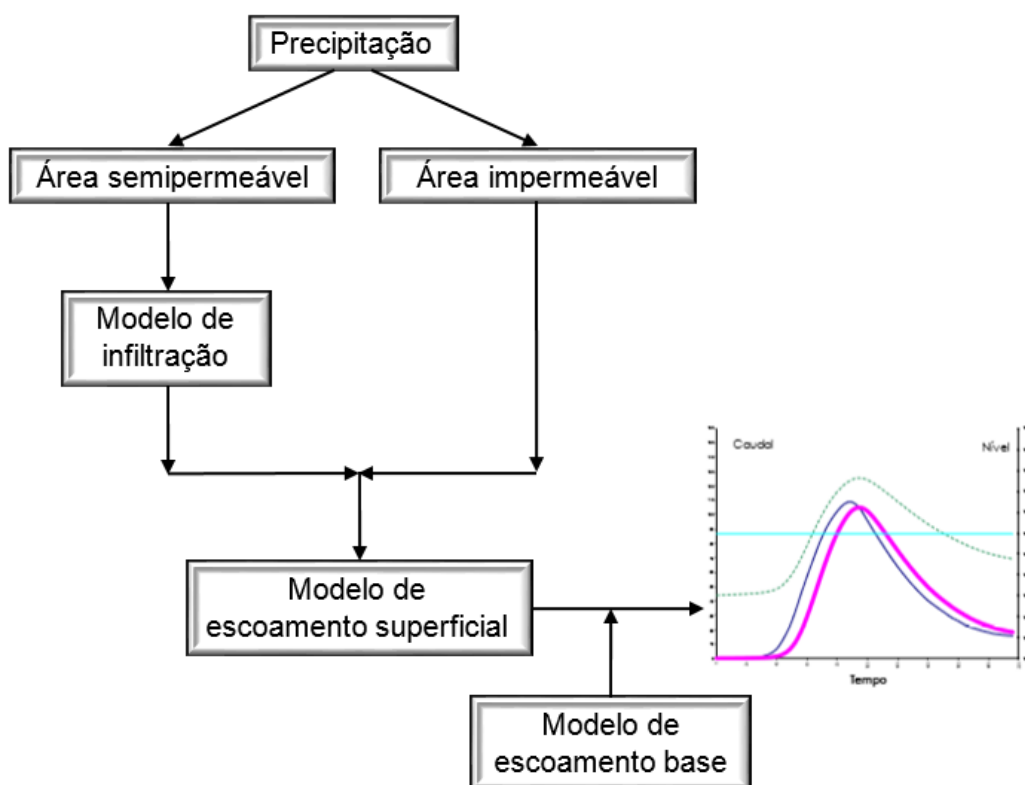


Figura 3.18- Organização da componente de precipitação-escoamento do HEC-HMS.

O programa HEC-HMS permite, ainda fazer a calibração dos modelos adotados. Essa calibração consiste em otimizar os parâmetros que definem os modelos de perdas e de escoamento superficial selecionados e, também, os parâmetros do modelo do escoamento base, com o objetivo de obter um hidrograma calculado que melhor reproduza o hidrograma observado. Através de hietogramas observados e dos correspondentes hidrogramas, os parâmetros do modelo de perdas e do escoamento superficial podem ser estimados por calibração automática ou manual.

No modelo de precipitação-escoamento adotado neste estudo recorreu-se ao método do S.C.S. para simular o processo de intercepção/infiltração (perdas de precipitação), ao método da onda cinemática para simulação dos processos de formação do escoamento superficial e ao método de Muskingum-Cunge para simular a propagação da onda de cheia ao longo dos canais.

O método do S.C.S. assenta fundamentalmente na consideração de dois parâmetros: o número de escoamento (N) e as perdas iniciais da chuvada (Ia) antes de se iniciar o escoamento superficial. O número de escoamento (N) tem em conta as características do solo, a utilização que lhe é dada e as condições da superfície do mesmo (nomeadamente a sua permeabilidade e rugosidade).

O método da onda cinemática considera cada sub-bacia como um sistema constituído por duas componentes fundamentais: superfícies de escoamento e canais coletores. As superfícies de escoamento são assimiladas a canais planos definidos pelo comprimento, inclinação e coeficiente de rugosidade, enquanto os canais coletores são caracterizados pelo comprimento, secção transversal, inclinação e coeficiente de rugosidade.

O escoamento base numa dada secção do curso de água pode ser caracterizado por três parâmetros:

- Escoamento no início da cheia (Ebo);
- Escoamento no final da cheia (Ebf);
- Constante de recessão (f).

Sendo Ebo e Ebf traduzidos, respetivamente, pelas relações  $Ebo/A$  e  $Ebf/Qp$ , em que A é a área de cada sub-bacia e  $Qp$  o caudal de ponta do hidrograma gerado na mesma, e a constante de recessão f definida a partir da reta de recessão ajustada ao troço final do ramo descendente do hidrograma de cheia (representado em papel semi-logarítmico).

Para aplicação deste modelo de precipitação-escoamento à bacia do Lima dominada pela barragem do Alto Lindoso, esta foi dividida nas 10 sub-bacias (Figura 3.19), sendo cada uma delas constituída por duas superfícies de escoamento, correspondentes às zonas em que é dividida pela linha de água principal que a atravessa. Nessa divisão teve-se em consideração a rede hidrográfica principal e os locais das estações hidrométricas e dos aproveitamentos hidroelétricos existentes.



Os parâmetros necessários para caracterizar fisiograficamente as sub-bacias são os seguintes:

- Superfícies de escoamento:  
Área (Km<sup>2</sup>);  
Largura média (m);  
Inclinação média (m/m);  
Coeficiente de rugosidade de Manning ( $m^{1/3}/s$ ).
- Linhas de água:  
Comprimento (m);  
Inclinação média do talvegue (m/m);  
Secção transversal (trapezoidal):  
Largura média da base (m);  
Inclinação média das margens (m/m);  
Coeficiente de rugosidade de Manning ( $m^{1/3}/s$ ).

Nos Quadros B.8 e B.9 em anexo são apresentados os valores que foram adotados para estes parâmetros.

#### 3.4.4.2 Calibração do modelo

Como foi referido anteriormente, a calibração consiste em otimizar os parâmetros que definem os modelos de perdas e escoamento superficial selecionados, bem como os que caracterizam o escoamento base.

A calibração do modelo foi realizada a partir da simulação dos três eventos referidos no ponto 3.4.2.2 (Cheias de 2010, 2013 e 2019).

##### a) Definição das chuvadas

As chuvadas que originaram as cheias em análise, foram definidas através da sua distribuição temporal e espacial.

A distribuição temporal foi obtida a partir dos hietogramas observados nos postos pluviométricos existentes na zona da bacia em estudo, já referidos no ponto 3.4.2.1.

Para definir a variação espacial foi utilizado o método de Thiessen, apresentando-se nas Figuras 3.21, 3.22 e 3.23 os polígonos respetivos, associados a cada um dos eventos de cheia. Nos Quadros B.10, B.11 e B.12 em anexo, são apresentadas as áreas de influência nas sub-bacias de cada um dos postos considerados.

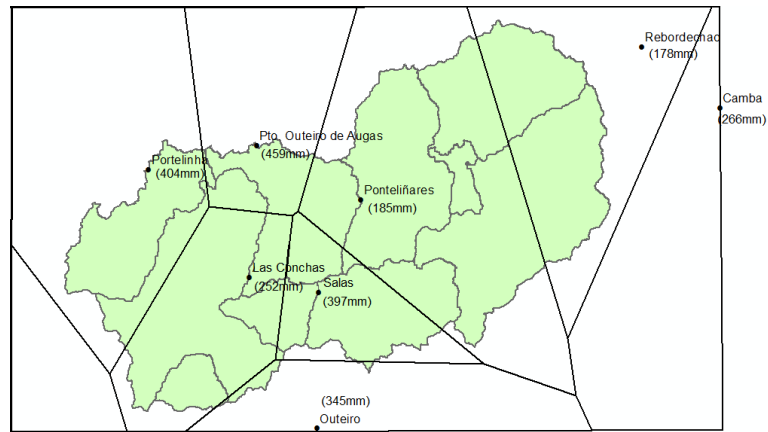


Figura 3.21- Polígonos de Thiessen. Cheia de 2010.

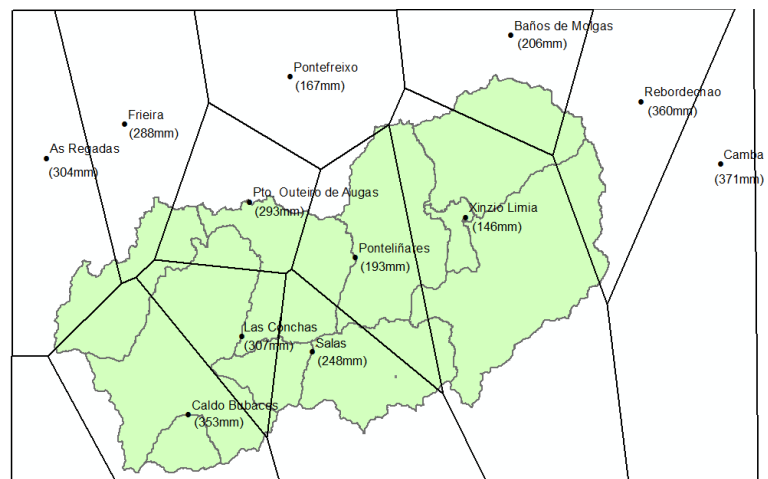


Figura 3.22- Polígonos de Thiessen. Cheia de 2013.

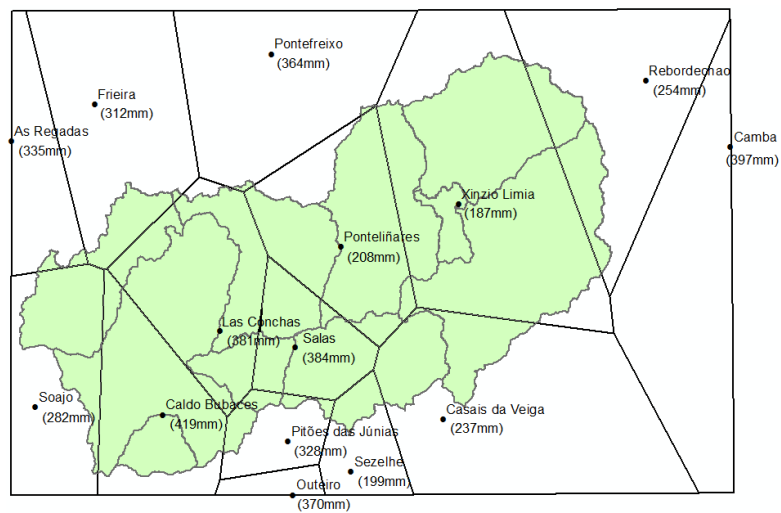


Figura 3.23- Polígonos de Thiessen. Cheia de 2019.

b) Caudais

A evolução dos caudais durante o período de ocorrência dos eventos considerados foi caracterizada a partir dos hidrogramas já referidos no ponto 3.4.2.2, os quais são apresentados nas Figuras A.1, A.2 e A.3 em anexo.

c) Simulação dos eventos

Através de um processo não automático de aproximação dos hidrogramas calculados aos hidrogramas observados, foram fixados os valores dos vários parâmetros (já atrás referidos) que caracterizam o modelo.

Nesse processo foram aferidos os parâmetros que caracterizam fisiograficamente a bacia. Assim, para os coeficientes de rugosidade das superfícies de escoamento e das linhas de água, consideraram-se os valores apresentados nos Quadros B.8 e B.9 em anexo.

Relativamente aos parâmetros que caracterizam o modelo das perdas e o escoamento base nas linhas de água que atravessam cada sub-bacia, são apresentados na tabela seguinte, para cada uma das cheias analisadas, os valores obtidos no processo de calibração.

Tabela 3.8- Parâmetros que caracterizam os modelos das perdas e do escoamento base, resultantes do processo de calibração.

Sub-bacias	Perdas		Escoamento base			
	Perdas Inic. Ia (mm)	Num. Escoamento N	Ebo/A 2010/2013	Ebo/A 2019	Ebf/Qp	f
SB_CPLA	0.0	40	0.02	0.01	0.3	0.8
SB_SAL1	0.0	45	0.02	0.01	0.3	0.8
SB_SAL2	0.0	65	0.02	0.01	0.2	0.8
SB_CAL	0.0	65	0.02	0.01	0.2	0.8
SB_LAB	0.0	65	0.02	0.01	0.2	0.8
SB_LIM1	0.0	40	0.02	0.01	0.3	0.8
SB_LIM2	0.0	40	0.02	0.01	0.3	0.8
SB_LIM3	0.0	40	0.02	0.01	0.3	0.8
SB_LIM4	0.0	45	0.02	0.01	0.3	0.8
SB_LIM5	0.0	65	0.02	0.01	0.2	0.8

Dos valores apresentados nesta tabela, em particular os correspondentes ao parâmetro do número de escoamento (N), constata-se que a zona de montante da bacia em estudo tem perdas de escoamento significativamente superiores às da zona de jusante, o que está em consonância com as características fisiográficas e de ocupação do solo dessas duas zonas, referidas no ponto 3.2.

Os hidrogramas calculados, assim como os correspondentes hidrogramas observados durante os três eventos analisados são apresentados nas Figuras 3.24, 3.25 e 3.26.

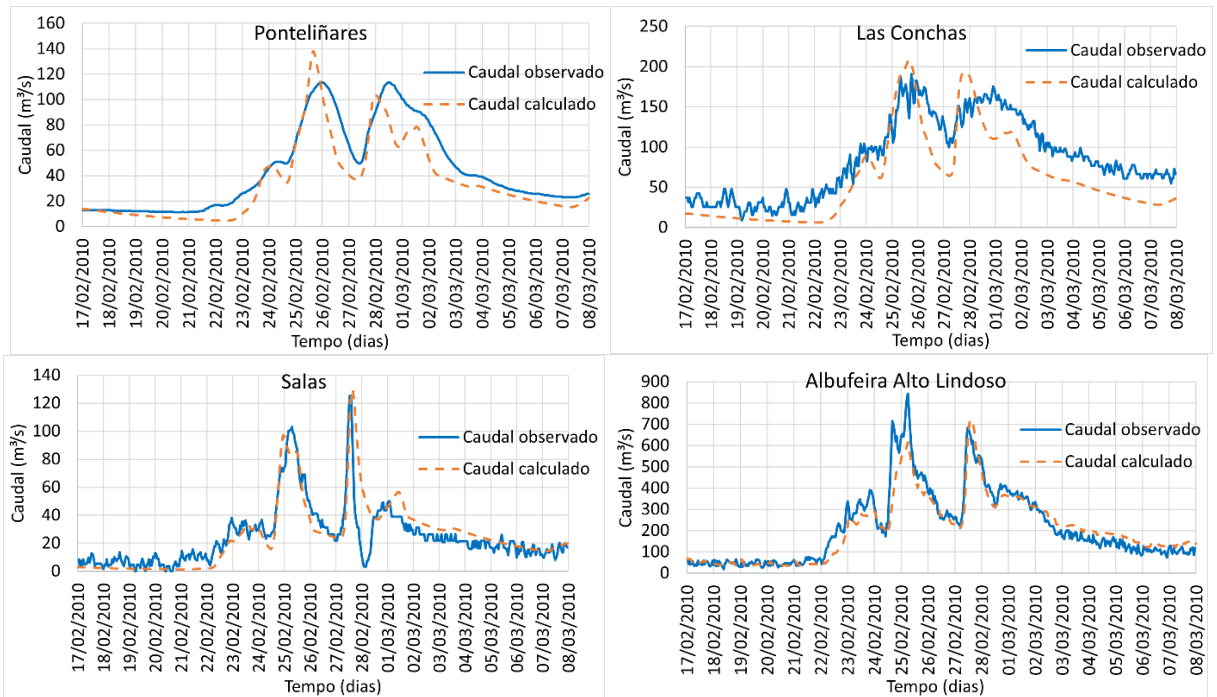
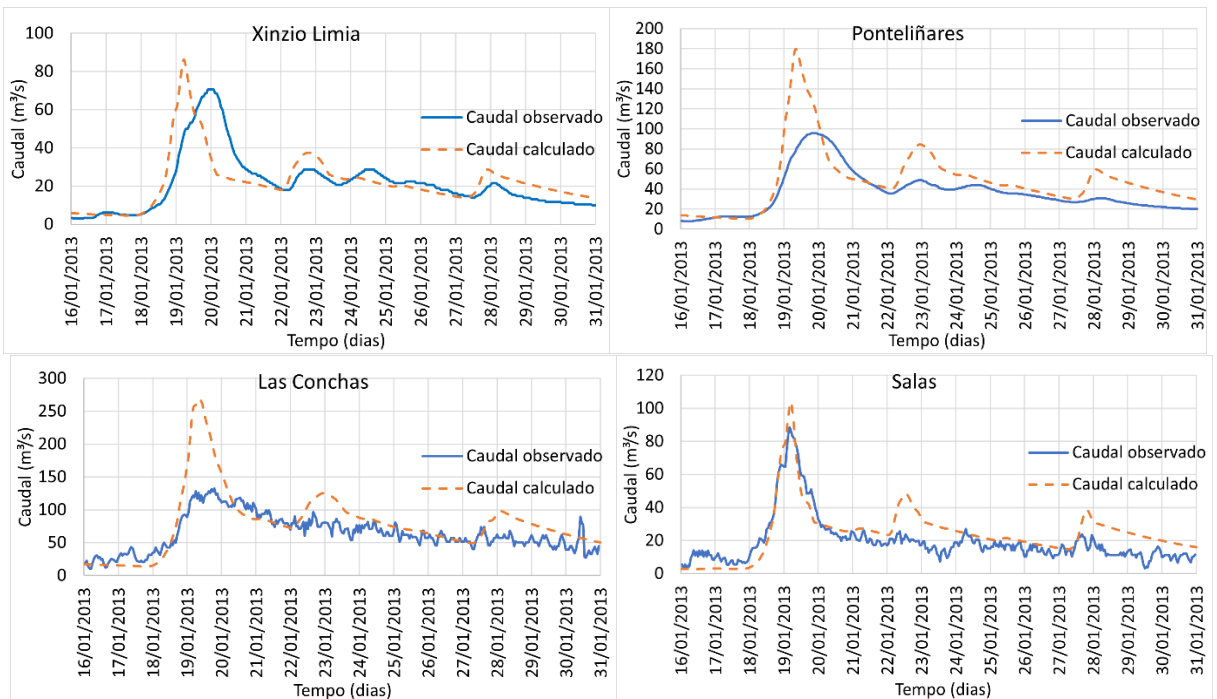


Figura 3.24- Simulação da cheia de 2010.



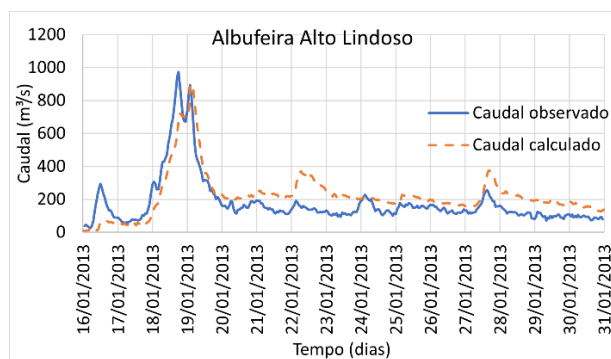


Figura 3.25- Simulação da cheia de 2013.

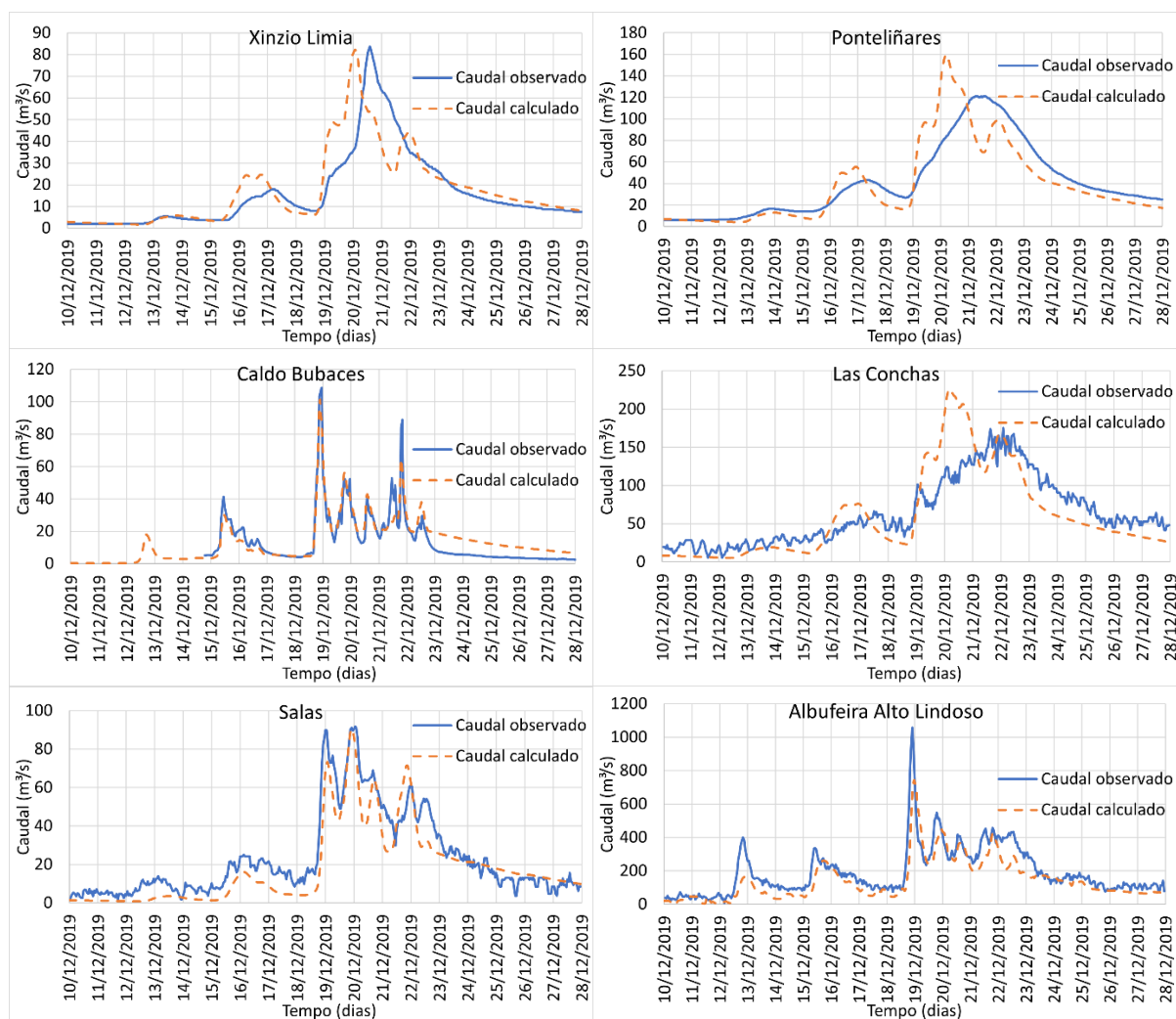


Figura 3.26- Simulação da cheia de 2019.

A análise destas figuras mostra que, de uma forma geral, para cada uma das cheias simuladas os dois hidrogramas (calculado e observado) têm um andamento semelhante e, em alguns casos, as pontas principais apresentam uma razoável aproximação.

d) Conclusões do estudo de calibração do modelo

Pesem embora as limitações inerentes a estes estudos, nomeadamente as dúvidas relativas à definição quer das chuvadas, quer dos caudais medidos nas estações hidrométricas, face aos resultados obtidos com a simulação das cheias consideradas e cuja análise integra também a experiência resultante da aplicação pela EDP Produção deste modelo a um grande número de bacias hidrográficas do nosso país, considera-se poder concluir que o modelo definido pode ser adotado na simulação das cheias na bacia dominada pela barragem do Alto Lindoso.

#### 3.4.4.3 Simulação das cheias no local da barragem

Para além dos parâmetros fisiográficos anteriormente definidos, na aplicação do modelo precipitação escoamento ao cálculo das cheias com períodos de retorno de 100, 1000 e 5000 anos afluentes ao local da barragem do Alto Lindoso, foram adotados os seguintes valores para os parâmetros caracterizadores das perdas e do escoamento base (ver Quadro B.13 em anexo):

- Número de escoamento (N)  
Com base nos elementos referidos na bibliografia da especialidade e tendo em conta não só as características fisiográficas e de ocupação do solo (mencionadas no ponto 3.2), mas também os resultados da calibração apresentados na Tabela 3.8, majorados, de forma a estar do lado da segurança, considerou-se assim:  $N=75$  para a zona de jusante e  $N=65$  para a zona de montante.
- Perdas iniciais da chuvada ( $I_a$ )  
Admitiu-se  $I_a=0$ , tendo em conta que, pelo menos aquando da ocorrência de cheias com período de retorno elevado, é razoável aceitar que a capacidade de retenção da bacia está totalmente esgotada.
- Escoamento base  
Tendo em conta, quer os resultados das simulações anteriormente efetuadas, quer as conclusões de outros estudos análogos, admitiu-se:  
 $E_{bo}/A=0,10 \text{ m}^3/\text{s.km}^{-2}$   
 $E_{bf}/Q_p=0,20$  (zona de jusante) e  $0,30$  (zona de montante)  
 $f=0,8$

Os hidrogramas de cheia afluentes à albufeira do Alto Lindoso para os períodos de retorno de 100, 1000 e 5000 anos e durações de chuvadas anteriormente referidos, estão apresentados nas figuras 3.27 a 3.29, seguintes.

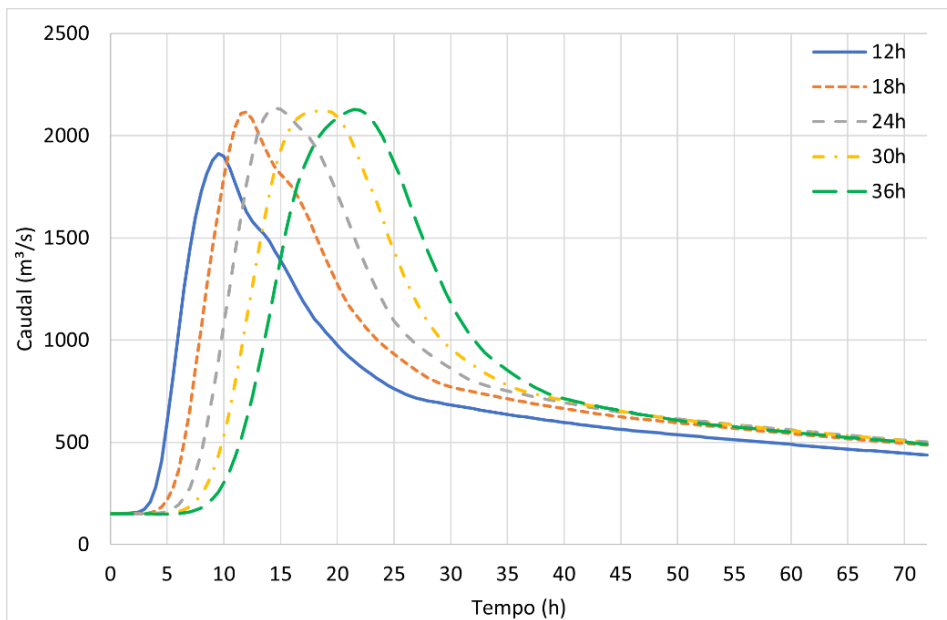


Figura 3.27- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso (T=100 anos).

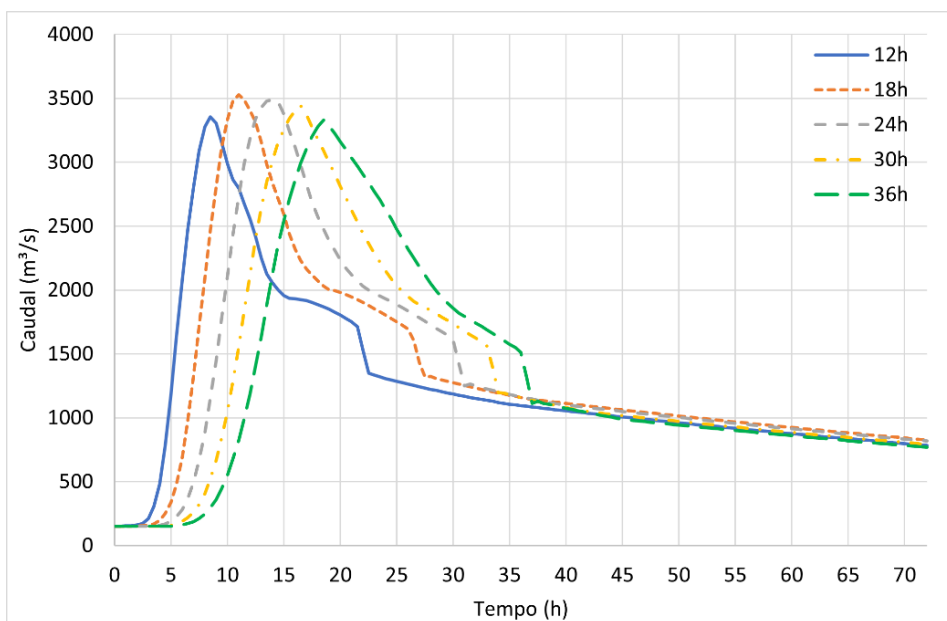


Figura 3.28- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso (T=1000 anos).

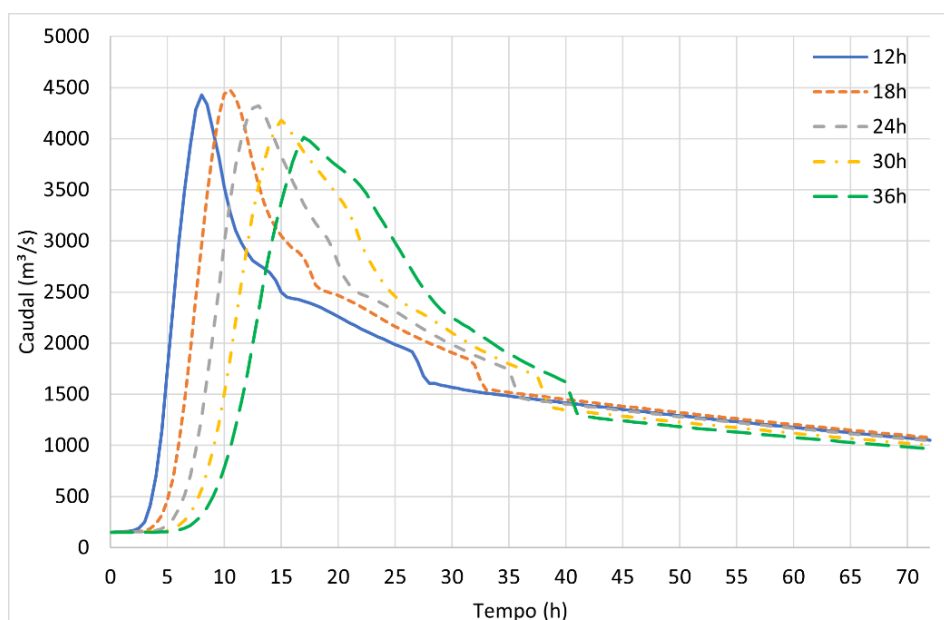


Figura 3.29- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso (T=5000 anos).

Os correspondentes valores dos caudais de ponta são indicados na tabela seguinte.

Tabela 3.9- Caudais de ponta das cheias calculadas.

Período de Retorno T (anos)	Duração da chuvada t (horas)	Caudal de ponta Qp (m³/s)
100	12	1913
	18	2117
	24	2137
	30	2121
	36	2129
1000	12	3354
	18	3529
	24	3488
	30	3443
	36	3330
5000	12	4429
	18	4476
	24	4322
	30	4179
	36	4011

Fazendo uma análise dos hidrogramas de cheia das Figuras 3.27 a 3.29, é possível observar que os caudais de ponta são mais elevados quanto mais próxima for a duração da chuvada ao tempo de concentração da bacia hidrográfica e que os volumes de cheia, que correspondem às áreas dos diferentes hidrogramas, aumentam quando são consideradas durações de chuvadas maiores.

### 3.5 COMPARAÇÃO DA NOVA CHEIA DE PROJETO COM A INICIAL

Quando se confrontam o hidrograma da cheia de projeto inicial com os hidrogramas de cheia calculados no presente estudo, para os períodos de retorno de 1000 e 5000 anos, os quais se encontram representados na Figura 3.30, verifica-se o seguinte:

- Para o período de retorno  $T=1000$  anos, os valores dos caudais de ponta das cheias calculadas no presente estudo são muito próximos do valor do caudal de ponta da cheia de projeto inicial. Para esse período de retorno, os volumes das cheias calculadas só começam a ser significativamente superiores ao volume da cheia de projeto inicial para durações de chuva superiores a 24 horas.
- As novas cheias de projeto, associadas ao período de retorno  $T=5000$  anos, atingem valores de ponta máximos de aproximadamente  $4500 \text{ m}^3/\text{s}$ , que são cerca de 30% superiores ao valor da ponta da cheia de projeto inicial ( $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e os volumes correspondentes também são significativamente superiores para todas as durações de chuva consideradas.

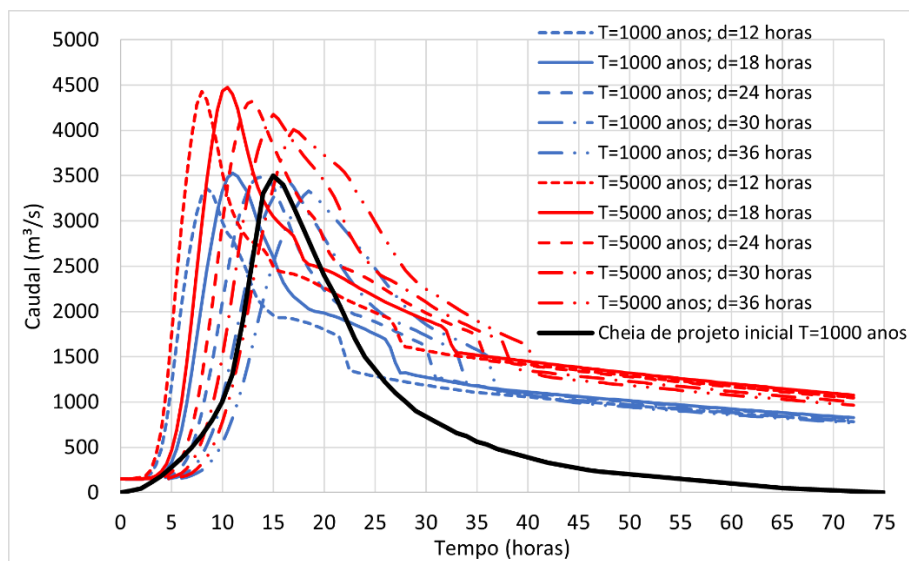


Figura 3.30- Hidrogramas de cheia calculados no Alto Lindoso.

# 4

## ANÁLISE DA VAZÃO DAS NOVAS CHEIAS NA BARRAGEM DO ALTO LINDOSO

### 4.1 DESCRIÇÃO DOS DESCARREGADORES DE CHEIA EXISTENTES

Conforme foi já referido a barragem do Alto Lindoso dispõe de dois descarregadores de cheia em túnel situados na margem direita do rio, controlados por comportas, com restituição a jusante da barragem através de salto em ski à cota de 270 m (Figuras 4.1 e 4.2).

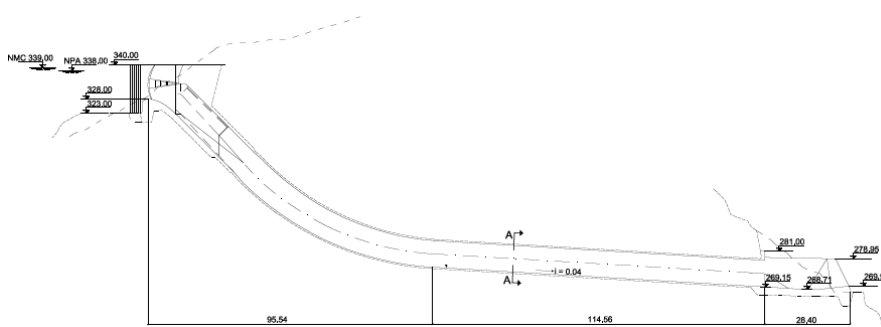


Figura 4.1- Perfil longitudinal do descarregador de cheias DC1 da barragem do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].

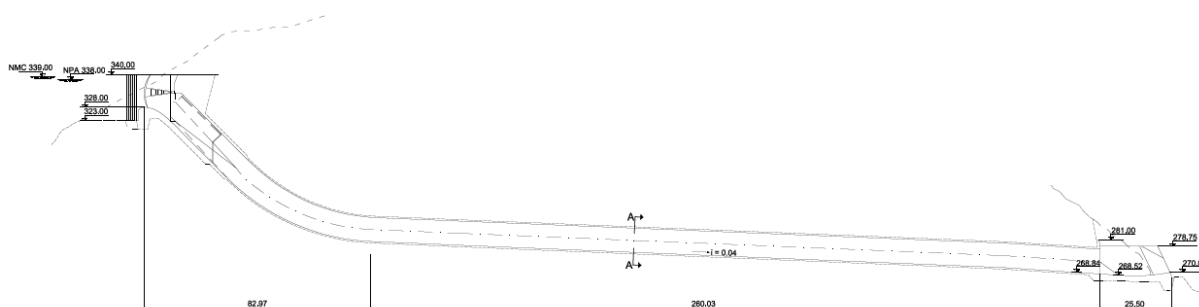


Figura 4.2- Perfil longitudinal do descarregador de cheias DC2 da barragem do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].

A soleira descarregadora de cada um dos descarregadores, cuja crista se situa à cota (328,00) está dividida em três vãos iguais com 5,95 m de largura cada, separados por pilares com espessura máxima de 5,83 m, onde se apoia o monocarril do guincho de colocação e remoção das comportas ensecadeiras.

As únicas diferenças existentes na geometria dos dois descarregadores verificam-se na extensão (o DC1 é cerca de 30 metros mais curto do que o DC2). O comprimento total, em planta, do DC1 é de cerca de 238 metros e o do DC2 de aproximadamente 268 metros. As bocas de saída dos descarregadores são em salto de ski e têm o bordo à cota (270,00).

Cada comporta (seis no total), que obtura os orifícios com 5,95 m de largura por 10,0 m de altura, é manobrada por servomotores hidráulicos de simples efeito.

## 4.2 CURVAS DE VAZÃO

Na Figura 4.3 apresenta-se a curva de vazão total dos dois descarregadores de cheia da Barragem do Alto Lindoso.

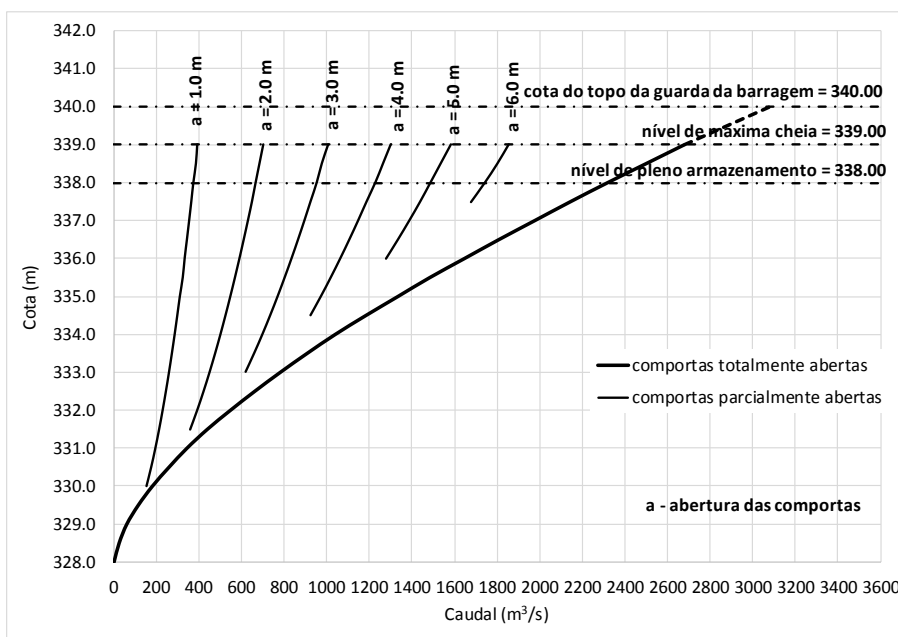


Figura 4.3- Curva de vazão total dos dois descarregadores de cheia da barragem do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].

Verifica-se que para o NMC atual situado à cota (339,00) os descarregadores de cheias têm em conjunto uma capacidade de vazão máxima de 2670 m<sup>3</sup>/s.

## 4.3 AMORTECIMENTO DAS CHEIAS

Foi analisado o efeito regularizador da albufeira no amortecimento das novas cheias calculadas. Para tal, utilizou-se a equação da continuidade aplicada ao caso dos movimentos não permanentes:

$$(Q_{a,m} - Q_{e,m}) \times \Delta t = S_m \times \Delta h \quad (3.7)$$

em que, e no intervalo de tempo  $\Delta t$ :

- $Q_{a,m}$  – caudal médio afluente;
- $Q_{e,m}$  – caudal médio efluente;
- $\Delta h$  – variação da cota da água na albufeira;
- $S_m$  – área média inundada da albufeira.

Na simulação efetuada teve-se em conta, para além dos hidrogramas de cheia calculados no Capítulo 3, a curva de vazão do descarregador (Figura 4.3) e a curva de volumes armazenados na albufeira (Figura 4.4).

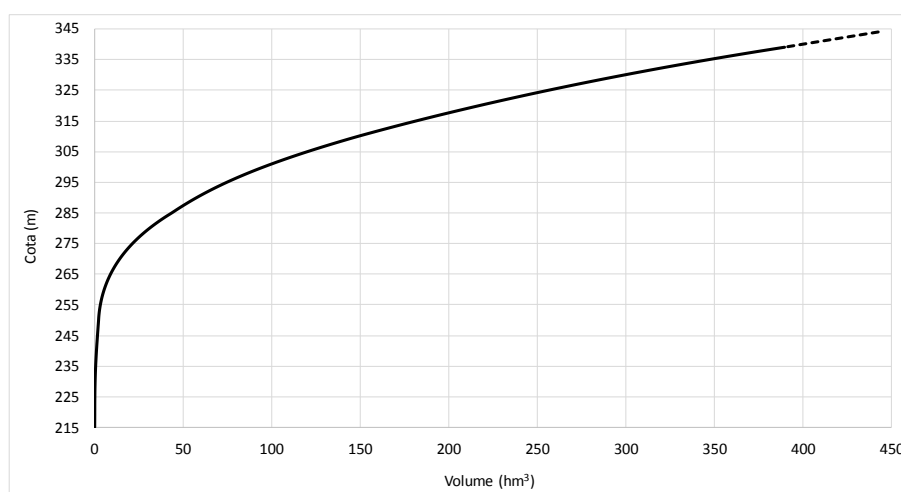


Figura 4.4- Curva de volumes armazenados na albufeira do Alto Lindoso. Fonte: [EDP (2018)].

Relativamente ao caudal descarregado admitiu-se, como é habitual, que no início da cheia a albufeira se encontrava no NPA e que essa cota é mantida à custa de aberturas parciais das comportas do descarregador até o caudal afluente atingir o valor correspondente à capacidade máxima de vazão para aquela cota, passando a partir dessa altura (já com as comportas totalmente abertas) a utilizar-se o efeito regularizador da albufeira.

Os resultados obtidos para as cheias com período de retorno de 1000 e 5000 anos apresentam-se na Figura 4.5, onde se apresentam os hidrogramas afluentes e efluentes e a evolução dos níveis da albufeira.

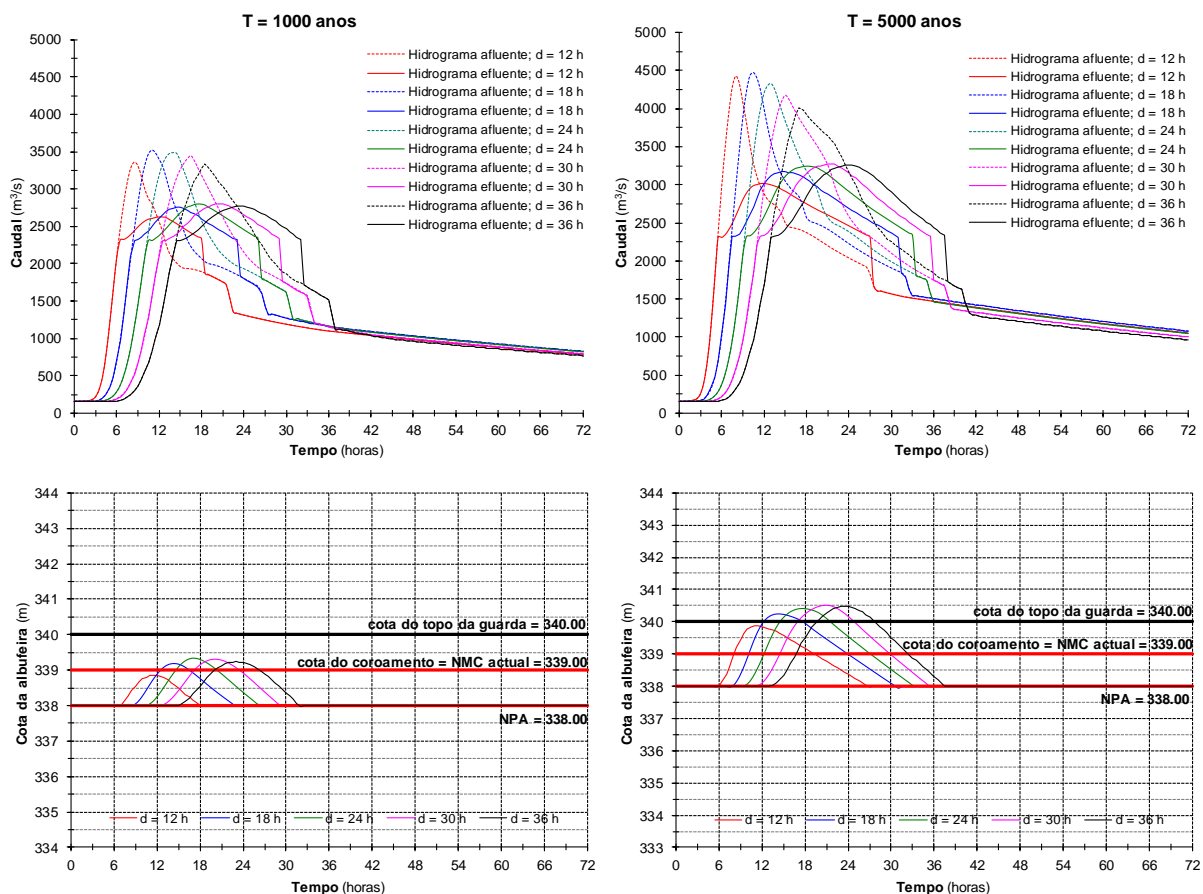


Figura 4.5- Amortecimento das cheias na albufeira do Alto Lindoso. NPA=338,00.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que:

- Para período de retorno de 1000 anos, o nível máximo atingido na albufeira do Alto Lindoso ultrapassa a cota do NMC atual=339,00 em cerca de 0,30 m.
- Para período de retorno de 5000 anos, o nível máximo atingido na albufeira do Alto Lindoso ultrapassa a cota do NMC atual em cerca de 1,5 m.

Conclui-se assim, que nas condições atuais de exploração da albufeira os descarregadores da barragem do Alto Lindoso têm condições para fazer face às novas cheias associadas ao período de retorno de 1000 anos em condições que se consideram aceitáveis, mas não têm capacidade para fazer face às novas cheias de projeto, associadas a um período de retorno de 5000 anos.

Realizando a simulação da vazão das cheias com período de retorno de 5000 anos, considerando que no início das mesmas a albufeira se encontra 4,0 m abaixo do NPA atual, os resultados obtidos são os que se apresentam na Figura 4.6. Para esta situação, o nível máximo atingido na albufeira situa-se cerca de 0,60 m acima do NMC atual. Este facto indicia a possibilidade de resolver as limitações de capacidade de vazão face às cheias de 5000 anos recorrendo à alteração das condições de exploração da albufeira, durante o período das cheias.

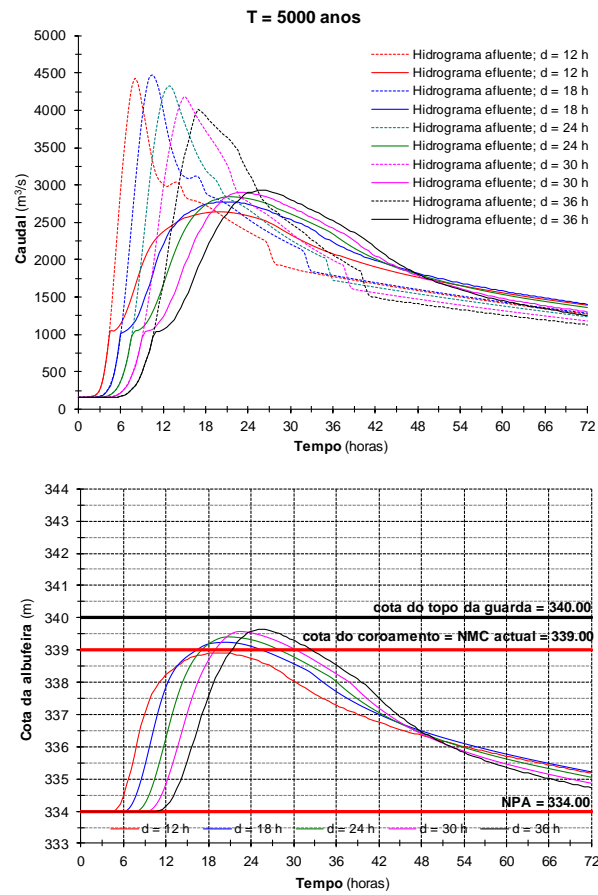


Figura 4.6- Amortecimento das cheias na albufera do Alto Lindoso. NPA=334,00.



# 5

## CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objetivo principal a revisão do estudo da cheia de projeto da barragem do Alto Lindoso, tendo em conta as prescrições que a atual legislação portuguesa sobre segurança de barragens (RSB) tem sobre esta matéria.

A revisão do estudo das cheias justifica-se, especialmente em relação às barragens mais antigas, como consequência natural da necessidade de atualização dos estudos iniciais, em muitos casos realizados com recurso a critérios e métodos de cálculo atualmente considerados obsoletos ou não adequados às condições locais e/ou com base em séries de dados hidrometeorológicos de reduzida extensão e fiabilidade.

Na barragem do Alto Lindoso, concluída em 1992 e projetada antes da entrada em vigor do RSB, o caudal de ponta da cheia de projeto inicial foi estabelecido através da análise estatística da série de caudais instantâneos de cheia verificados no local do aproveitamento do Alto Lindoso relativa ao período de 1933/34 a 1947/48, cujos valores ainda não estavam afetados pelo efeito regularizador dos aproveitamentos espanhóis de Las Conchas, que entrou em exploração em 1949, e de Salas, que entrou em exploração em 1971. O valor do caudal fixado foi de 3500 m<sup>3</sup>/s, associado a um período de retorno de 1000 anos. Na definição do hidrograma da cheia de projeto foram considerados os métodos de Giandotti e do Soil Conservation Service (S.C.S.).

Uma condição prévia à determinação da nova cheia de projeto é a fixação do respetivo período de retorno. Face às características (tipo, altura e volume da albufeira) da barragem do Alto Lindoso e ao risco potencial a ela associado (enquadrada na Classe I), de acordo com a regulamentação atualmente em vigor o período de retorno da cheia de projeto deve ser fixado em 5000 anos.

A especificidade e complexidade do problema do estudo das cheias justificam o grande número e variedade de técnicas ou métodos - empíricos, estatísticos, de simulação hidrológica, de correlação hidrológica, de análise regional - utilizados nesse estudo. Em cada caso, e em particular na avaliação da cheia de projeto, o recurso a esses métodos deve ter em conta não só o tipo e características da obra em questão, mas também a quantidade e a qualidade dos dados disponíveis.

No presente estudo, tendo em conta, por um lado, que a artificialização do regime hidrológico na bacia hidrográfica em análise (devido à existência dos aproveitamentos hidroelétricos de Las Conchas e de Salas), torna difícil a obtenção de séries de caudais de cheia afluentes ao aproveitamento do Alto Lindoso que permitam a utilização do método estatístico de forma consistente, e por outro, que para considerar o efeito de amortecimento da albufeira do Alto Lindoso é necessário que a cheia de projeto

seja definida não só pelo valor da ponta mas também pela forma do respetivo hidrograma, recorreu-se neste trabalho ao método de simulação hidrológica para calcular as novas cheias de projeto.

Para a realização das simulações hidrológicas foi utilizado o programa HEC-HMS v3.5, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) do U.S. Army Corps of Engineers. Este software permite simular os processos de formação (componente precipitação-escoamento), propagação e amortecimento das cheias naturais.

No modelo de precipitação-escoamento adotado neste estudo recorreu-se ao método do S.C.S. para simular o processo de interceção/infiltração (perdas de precipitação), ao método da onda cinemática para simulação dos processos de formação do escoamento superficial e ao método de Muskingum-Cunge para simular a propagação da onda de cheia ao longo dos canais e a uma função de recessão empírica para o escoamento base.

Relativamente à simulação hidrológica realizada, são de referir dois aspetos importantes para o resultado obtido: a análise das precipitações e a calibração do modelo.

Sobre o primeiro aspeto, que vai desde a pesquisa e análise dos dados de base disponíveis até à definição dos hietogramas de cálculo, destaca-se que para caracterizar as precipitações máximas anuais em 24 horas, uma vez que cerca de 88% da área da bacia em análise se localiza em território espanhol, teve-se em conta o estudo realizado pelo Centro de Estudos e Experimentação de Obras Públicas de Espanha (CEDEX), intitulado “*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*” [CEDEX (1999)].

O segundo aspeto consiste em otimizar os parâmetros que definem os modelos de perdas, de escoamento superficial e de escoamento base. O processo de calibração do modelo foi realizado a partir da simulação de três eventos de cheia (2010, 2013 e 2019), sobre quais se conseguiram registos hidrometeorológicos que permitiram a sua caracterização quer em termos de caudais, quer em termos das chuvadas que estiveram na sua origem. Essas chuvadas foram definidas através da sua distribuição temporal e espacial. A distribuição temporal foi obtida a partir dos hietogramas observados nos postos pluviométricos existentes na zona da bacia em estudo. Para definir a variação espacial foi utilizado o método de Thiessen.

Com os hietogramas de cálculo definidos e o modelo de simulação hidrológica calibrado, foram calculados os hidrogramas de cheia afluentes à albufeira do Alto Lindoso para os períodos de retorno de 100, 1000 e 5000 anos e durações de chuvadas de 12, 18, 24, 30 e 36 horas.

Quando se confrontam o hidrograma da cheia de projeto inicial com os hidrogramas de cheia calculados no presente estudo, para os períodos de retorno de 1000 e 5000 anos, verifica-se o seguinte:

- Para o período de retorno  $T=1000$  anos, os valores dos caudais de ponta das cheias calculadas no presente estudo são muito próximos do valor do caudal de ponta da cheia de projeto inicial. Para esse período de retorno, os volumes das cheias calculadas só começam a ser significativamente superiores ao volume da cheia de projeto inicial para durações de chuvada superiores a 24 horas.
- As novas cheias de projeto, associadas ao período de retorno  $T=5000$  anos, atingem valores de ponta máximos de aproximadamente  $4500 \text{ m}^3/\text{s}$ , que são cerca de 30% superiores ao valor da ponta da cheia de projeto inicial ( $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e os volumes correspondente também são significativamente superiores para todas as durações de chuvada consideradas.

O estudo realizado envolveu ainda uma análise simplificada da vazão das novas cheias calculadas, através dos descarregadores que esta barragem dispõe. Nessa análise foi considerado o efeito regularizador da albufeira do Alto Lindoso no amortecimento das cheias.

Relativamente ao caudal descarregado admitiu-se, como é habitual, que no início da cheia a albufeira se encontrava no NPA e que essa cota é mantida à custa de aberturas parciais das comportas do descarregador até o caudal afluente atingir o valor correspondente à capacidade máxima de vazão para aquela cota, passando a partir dessa altura (já com as comportas totalmente abertas) a utilizar-se o efeito regularizador da albufeira.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que:

- Para período de retorno de 1000 anos, o nível máximo atingido na albufeira do Alto Lindoso ultrapassa a cota do NMC atual (339,00) em cerca de 0,30 m.
- Para período de retorno de 5000 anos, o nível máximo atingido na albufeira do Alto Lindoso ultrapassa a cota do NMC atual em cerca de 1,5 m.

Conclui-se, assim, que nas condições atuais de exploração da albufeira os descarregadores da barragem do Alto Lindoso têm condições para fazer face às novas cheias associadas ao período de retorno de 1000 anos em condições que se consideram aceitáveis, mas não têm capacidade para fazer face às novas cheias de projeto, associadas a um período de retorno de 5000 anos.

Realizando a simulação da vazão das cheias com período de retorno de 5000 anos, considerando que no início das cheias a albufeira se encontra 4,0 m abaixo do NPA atual, o nível máximo atingido na albufeira situa-se cerca de 0,60 m acima do NMC atual. Este facto indicia a possibilidade de se resolver as limitações de capacidade de vazão face às cheias de 5000 anos, recorrendo à alteração das condições de exploração da albufeira, durante o período das cheias.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brandão, C. (1995). *Análise de Precipitações Intensas*. Dissertação de Mestrado, IST.
- CEDEX (1999). *Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular*.
- Correia, F. N. (1983a). *Métodos de análise e determinação de caudais de cheia*. LNEC. Tese para investigador auxiliar.
- Correia, F. N. (1983b). “*The use of Huff quartile time distributions and rearrangement techniques in establishing a design storm hyetograph*”, LNEC, memória n°588, Lisboa.
- EDP (1977). *Aproveitamento Hidroelétrico do Rio Lima. Anteprojeto do Escalão do Alto Lindoso*.
- EDP (2013). *Barragem do Alto Lindoso. Plano de Emergência Interno*.
- EDP (2018). *Alto Lindoso. Programa de Exploração da Albufeira*.
- Hidrorumo (2000). *Barragem do Alto Lindoso. Estudo das Ondas de Inundação*.
- INAG (1999). Estudos das cheias realizados pela HIDRORUMO no âmbito do *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Lima* (Tomo 11B).
- NERC (1975). *Flood Studies Report*. Londres.
- Oliveira, R. (1997). *STATWAT – Statistics for Water Resources*. Chiron, Monte da Caparica.
- RSB (1990). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 5/90 série I – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei n° 11/90 de 6 de janeiro.
- RSB (2007). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 1ª série N° 198 – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei n° 344/2007 de 15 de outubro.
- RSB (2018). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 1ª série N° 62 – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei n° 21/2018 de 28 de Março.
- U.S. Army Corps of Engineers (2013). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Quick Start Guide, version 4.0*. Washington, DC.
- <<https://snirh.apambiente.pt/>>. Entre 15 de Outubro e 15 de dezembro de 2020.
- <<https://www.chminosil.es/gl/>>. Entre 30 de Outubro e 15 de dezembro de 2020.
- <<https://land.copernicus.eu/>>. Entre 15 de Outubro e 30 de novembro de 2020.
- <<http://foros.embalses.net/showthread.php/13119-Presa-y-embalse-de-Las-Conchas>>. 20 de novembro de 2020.
- <<http://foros.embalses.net/showthread.php/13121-Presa-y-embalse-de-Salas>>. 20 de novembro de 2020.



## **ANEXO A**

### **Figuras**



## **ÍNDICE DO ANEXO A (FIGURAS)**

Figura A.1– Hietogramas observados nos postos pluviométricos. Cheia de 2010 .....	57
Figura A.2– Hietogramas observados nos postos pluviométricos. Cheia de 2013 .....	59
Figura A.3– Hietogramas observados nos postos pluviométricos. Cheia de 2019 .....	61
Figura A.4– Hidrogramas registados nas estações hidrométricas. Cheia de 2010 .....	61
Figura A.5– Hidrogramas registados nas estações hidrométricas. Cheia de 2013 .....	62
Figura A.6– Hidrogramas registados nas estações hidrométricas. Cheia de 2019 .....	62
Figura A.7– Hidrogramas afluentes e efluentes aos aproveitamentos espanhóis. Cheia de 2010 .....	62
Figura A.8– Hidrogramas afluentes e efluentes aos aproveitamentos espanhóis. Cheia de 2013 .....	63
Figura A.9– Hidrogramas afluentes e efluentes aos aproveitamentos espanhóis. Cheia de 2019 .....	63
Figura A.10– Hidrograma afluente ao aproveitamento do Alto Lindoso. Cheia de 2010 .....	63
Figura A.11– Hidrograma afluente ao aproveitamento do Alto Lindoso. Cheia de 2013 .....	64
Figura A.12– Hidrograma afluente ao aproveitamento do Alto Lindoso. Cheia de 2019 .....	64



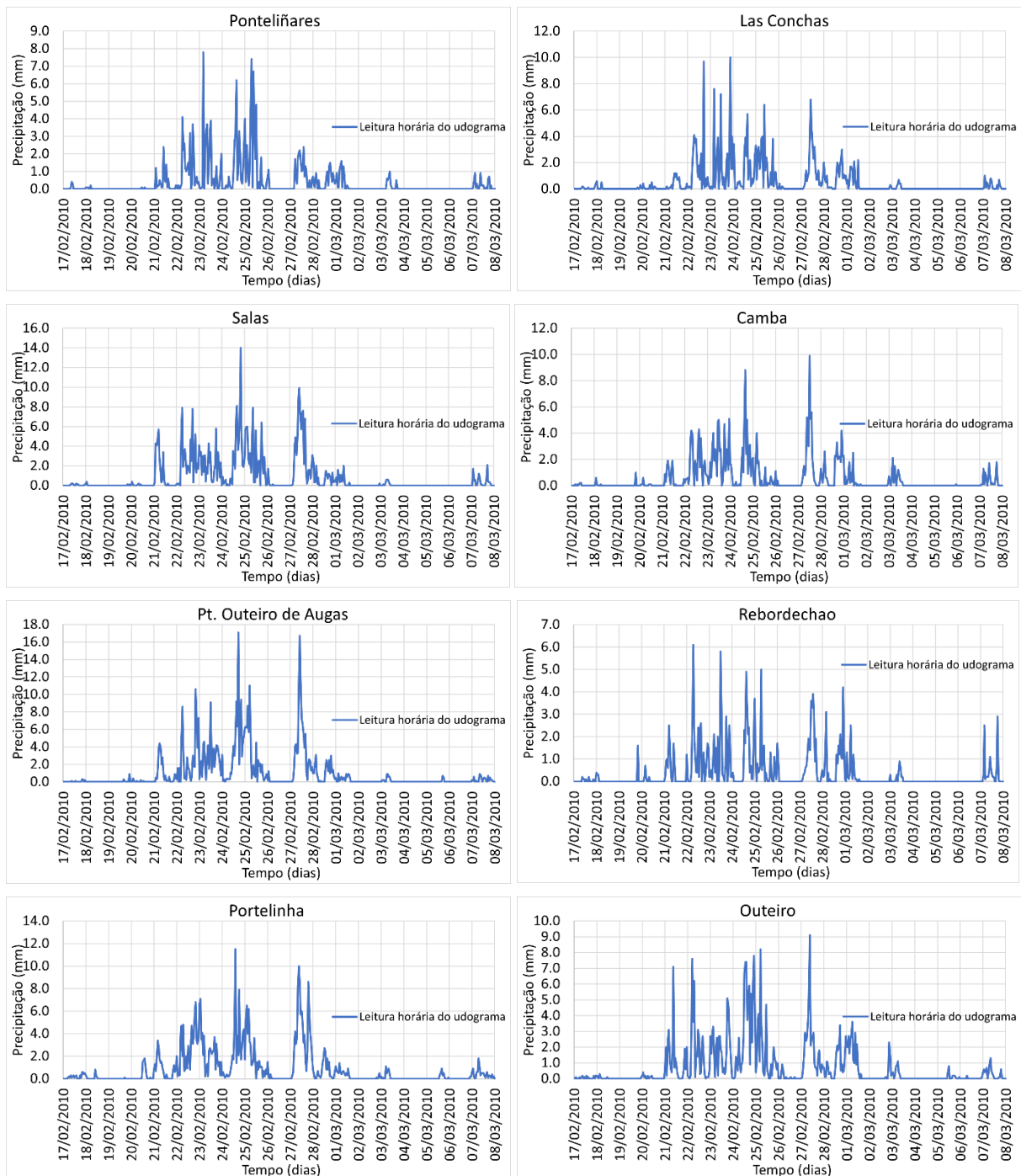
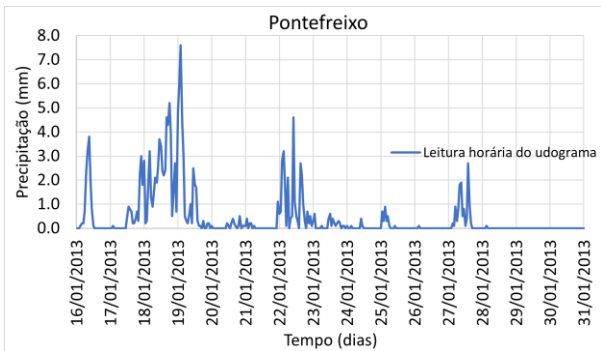
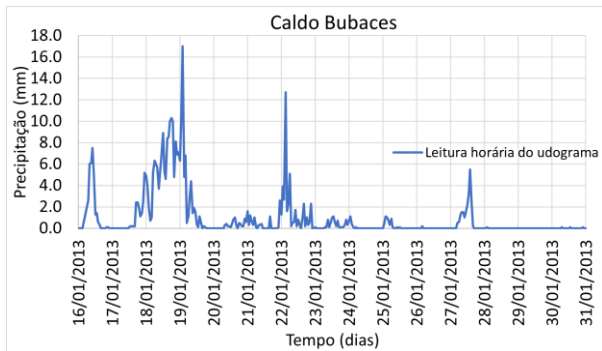
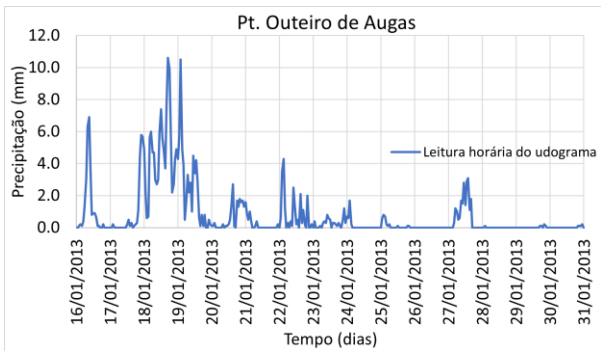
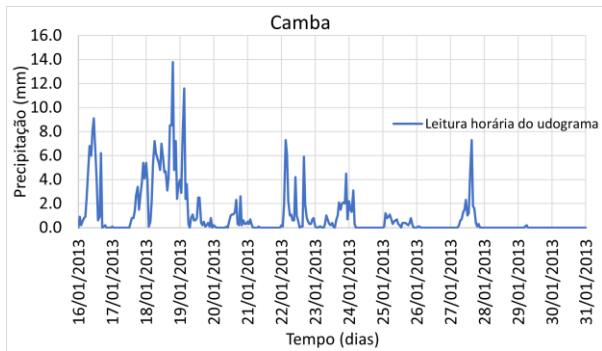
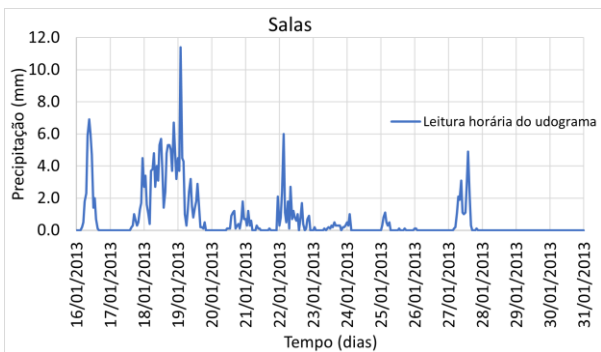
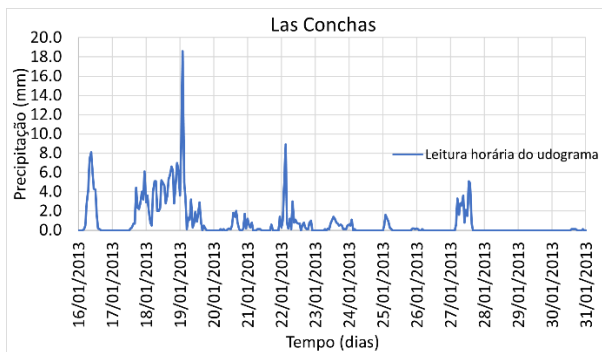
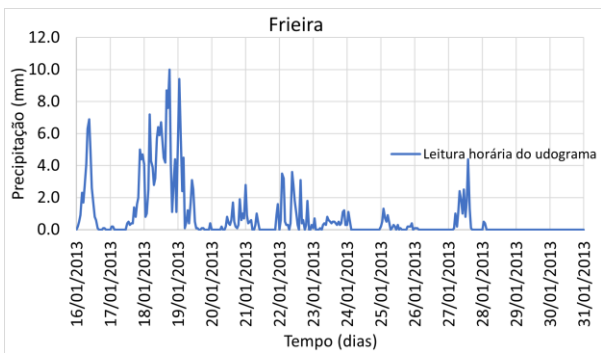
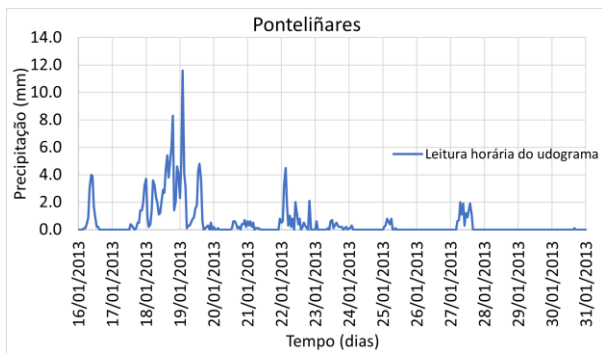


Figura A.1– Hietogramas observados nos postos pluviométricos. Cheia de 2010.



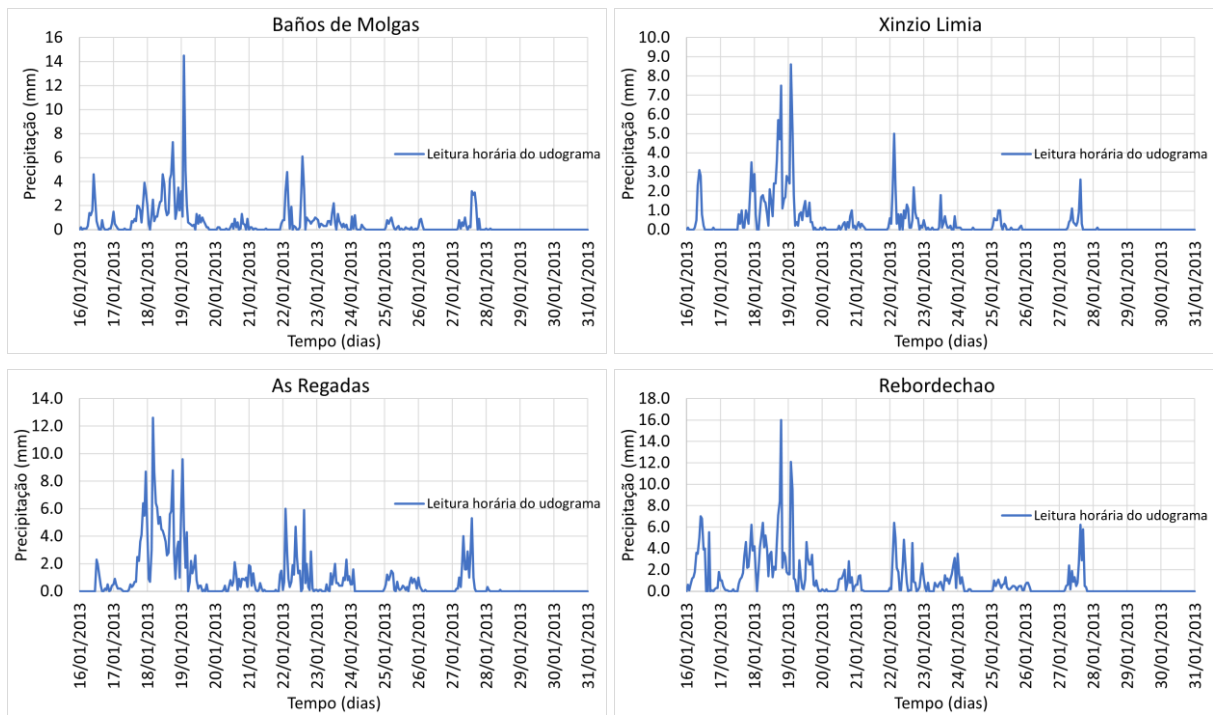
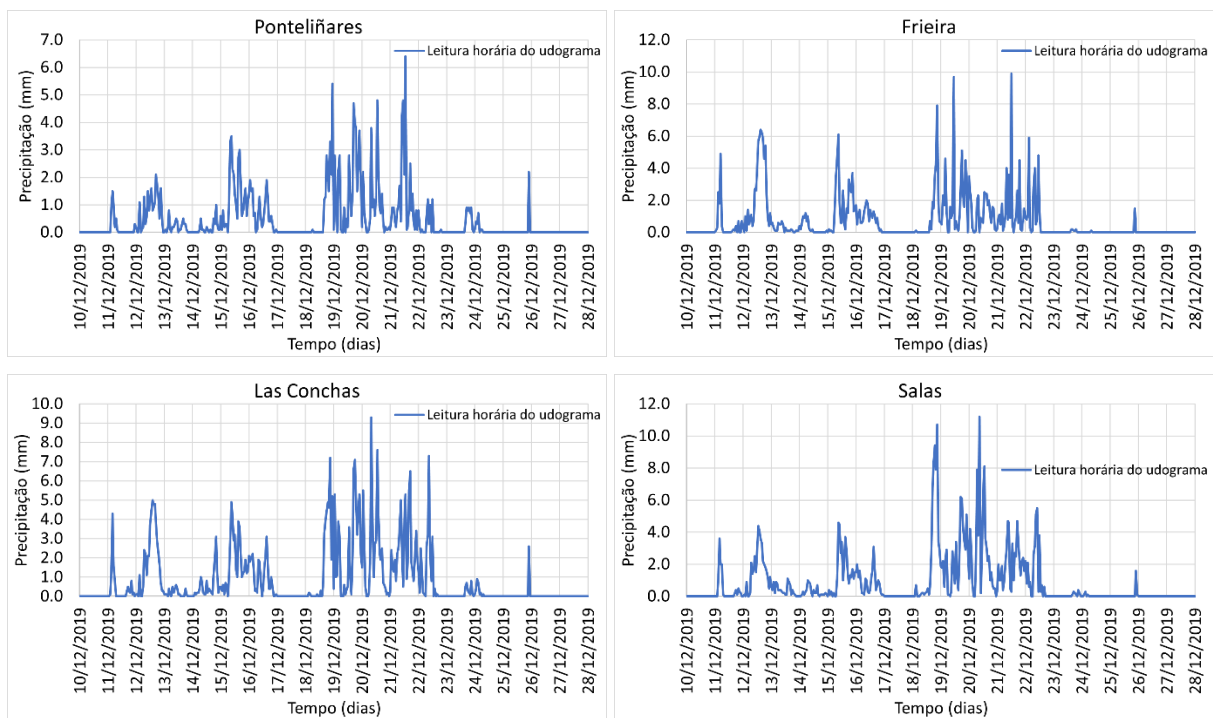
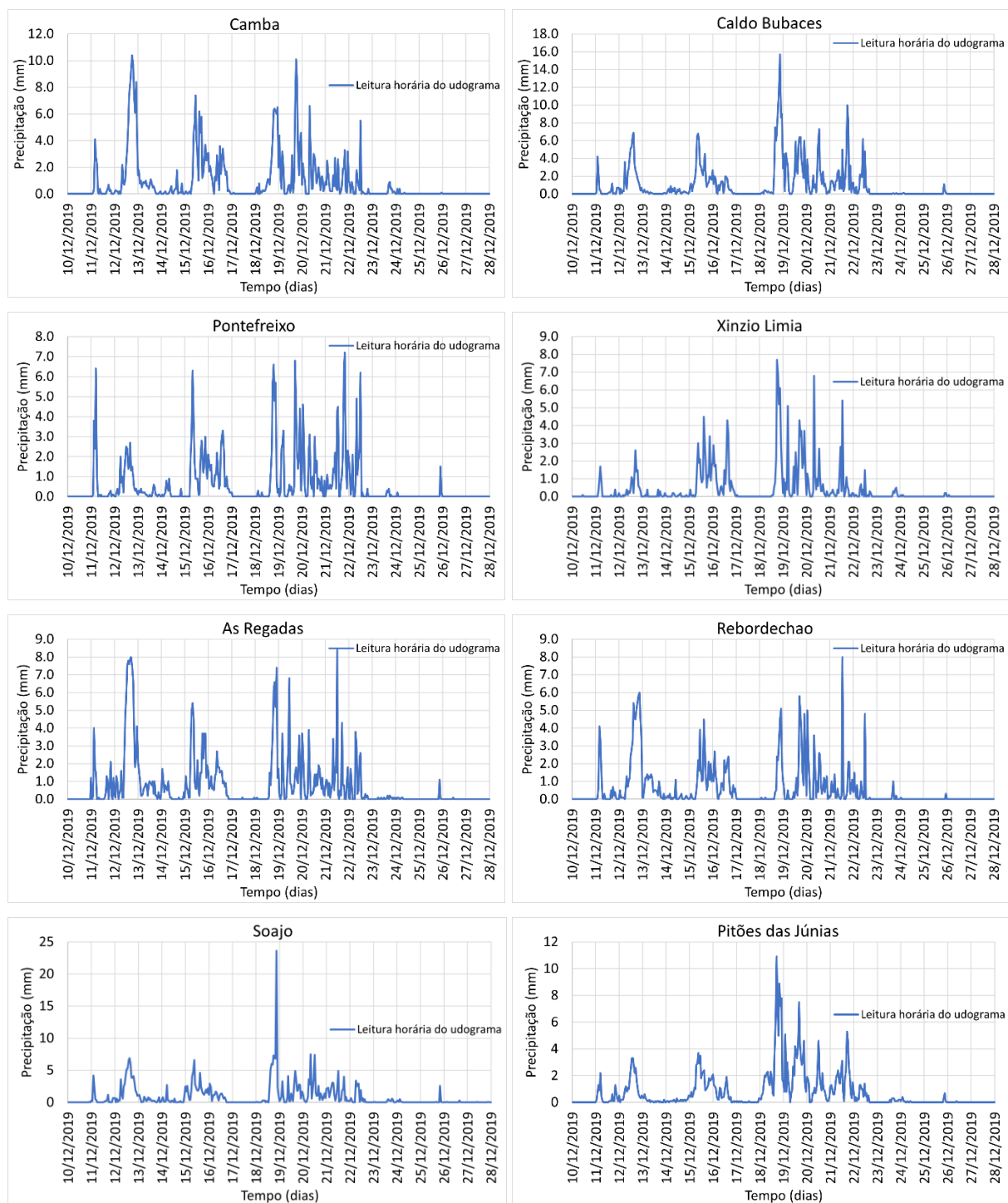


Figura A.2– Hietogramas observados nos postos pluviométricos. Cheia de 2013.





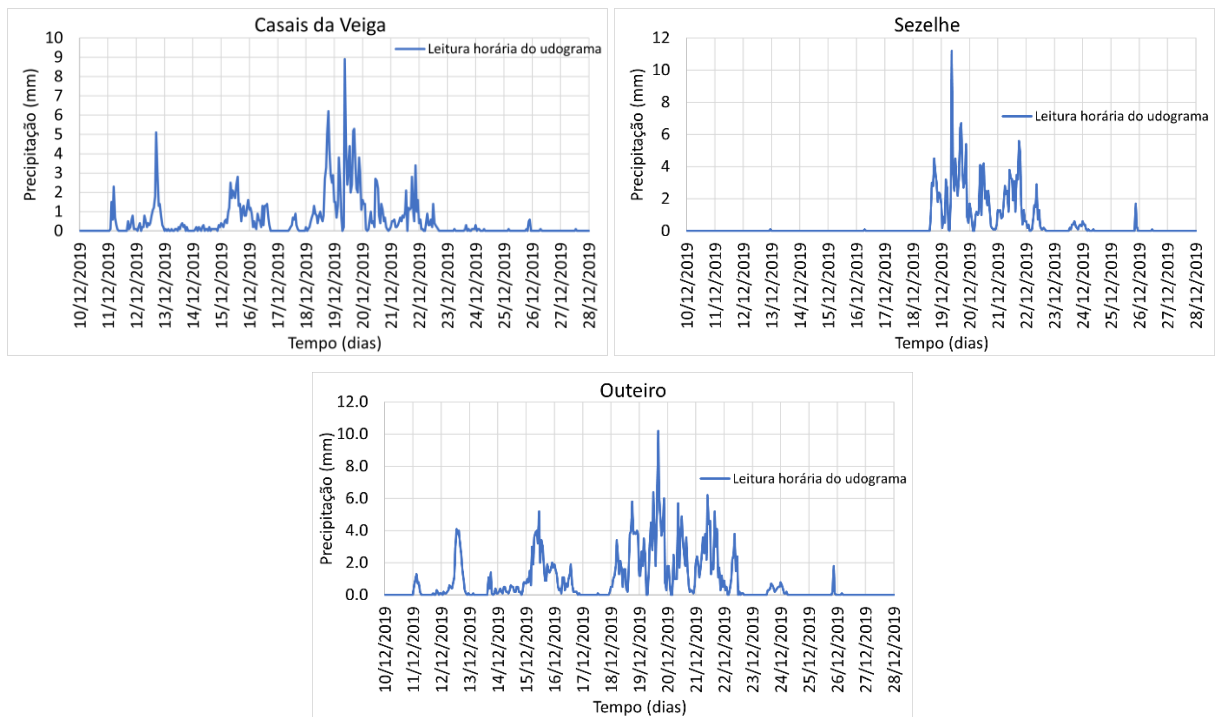


Figura A.3– Hietogramas observados nos postos pluviométricos. Cheia de 2019.

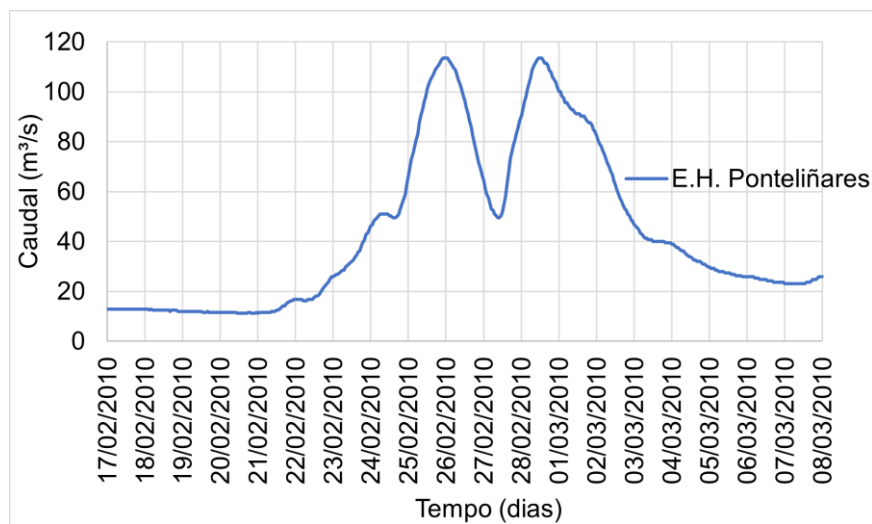


Figura A.4– Hidrogramas registados nas estações hidrométricas. Cheia de 2010.

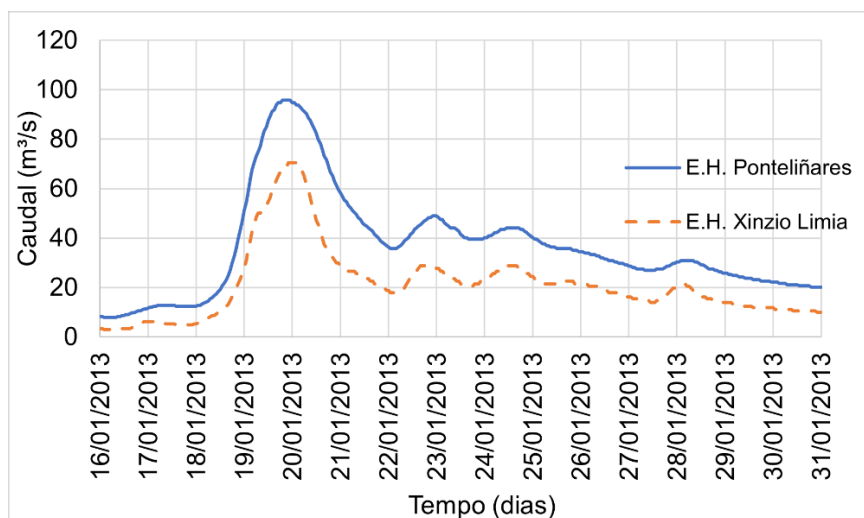


Figura A.5– Hidrogramas registados nas estações hidrométricas. Cheia de 2013.

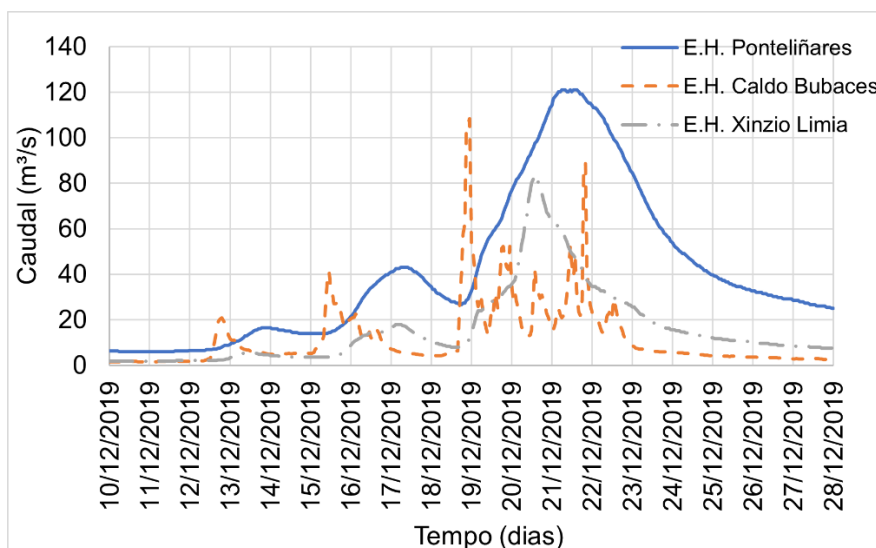


Figura A.6– Hidrogramas registados nas estações hidrométricas. Cheia de 2019.

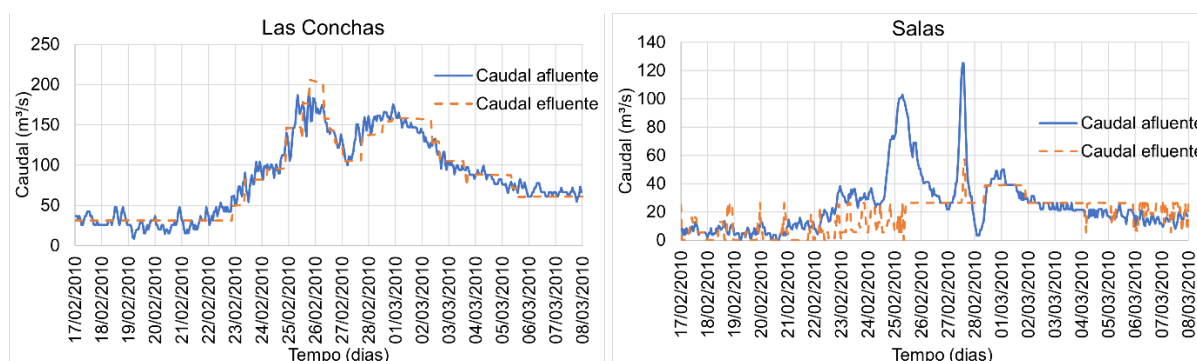


Figura A.7– Hidrogramas afluentes e efluentes aos aproveitamentos espanhóis. Cheia de 2010.

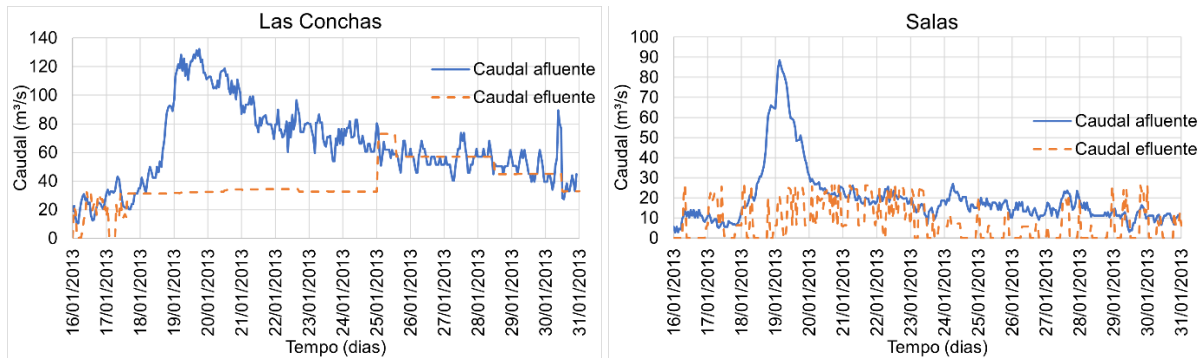


Figura A.8– Hidrogramas afluentes e efluentes aos aproveitamentos espanhóis. Cheia de 2013.

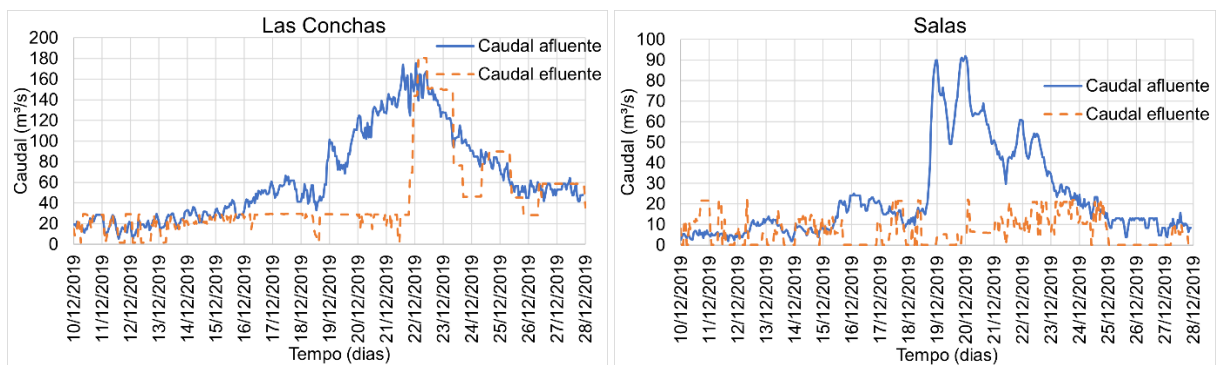


Figura A.9– Hidrogramas afluentes e efluentes aos aproveitamentos espanhóis. Cheia de 2019.



Figura A.10– Hidrograma afluente ao aproveitamento do Alto Lindoso. Cheia de 2010.

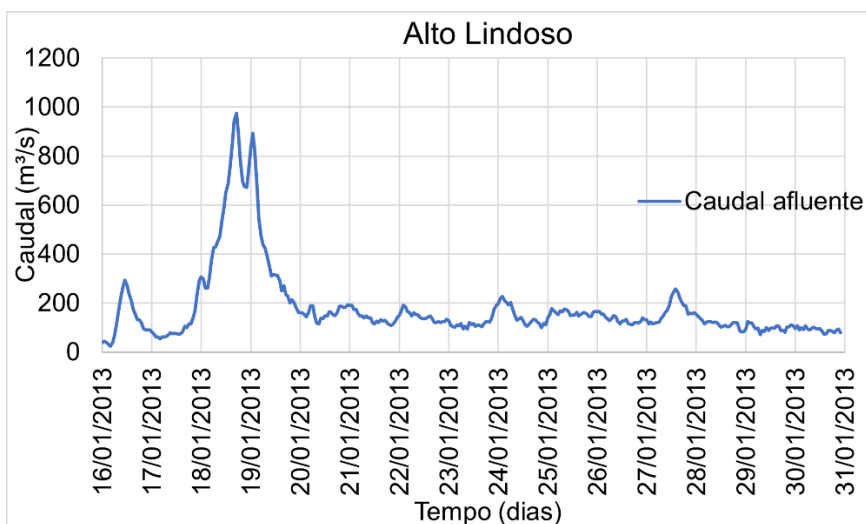


Figura A.11– Hidrograma afluente ao aproveitamento do Alto Lindoso. Cheia de 2013.

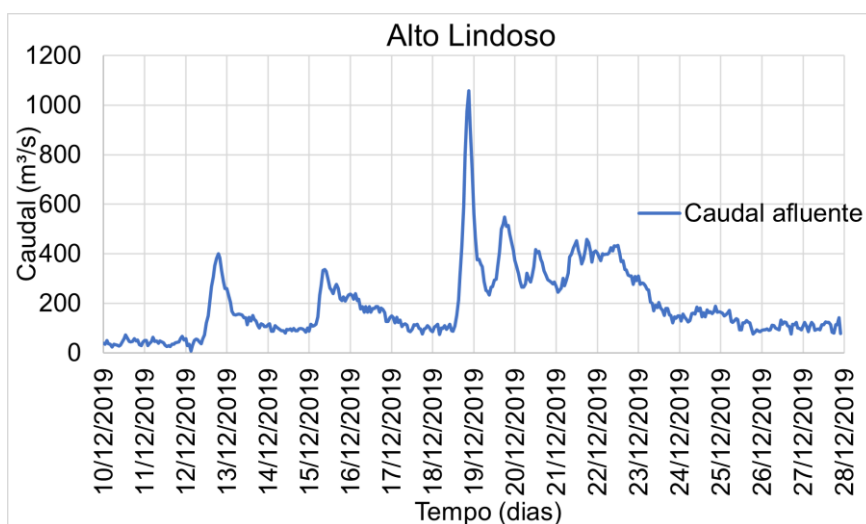


Figura A.12– Hidrograma afluente ao aproveitamento do Alto Lindoso. Cheia de 2019.

## **ANEXO B**

### **Quadros**



## ÍNDICE DO ANEXO B (QUADROS)

Quadro B.1- Séries de precipitações máximas anuais em 24 horas registadas nos postos pluviométricos portugueses (1935/36 a 2019/20) .....	69
Quadro B.2- Séries de precipitações máximas anuais em 24 horas registadas nos postos pluviométricos espanhóis (2007/08 a 2019/20) .....	77
Quadro B.3- Testes de aleatoriedade das séries das precipitações máximas anuais em 24 horas ....	78
Quadro B.4- Ajustes da distribuição de Gumbel às séries das precipitações máximas anuais em 24 horas .....	79
Quadro B.5- Avaliação dos ajustes das séries das precipitações máximas anuais em 24 horas à função de distribuição de Gumbel .....	79
Quadro B.6- Precipitações máximas anuais em 24 horas para os vários períodos de retorno obtidas a partir da função de distribuição de Gumbel .....	80
Quadro B.7- Segundo quartil de Huff .....	81
Quadro B.8- Características fisiográficas usadas no modelo de simulação hidrológica. Superfícies de escoamento.....	84
Quadro B.9- Características fisiográficas usadas no modelo de simulação hidrológica. Linhas de água .....	84
Quadro B.10- Áreas de influência dos postos pluviométricos nas sub-bacias obtidas pelo método de Thiessen. Cheia de 2010 .....	85
Quadro B.11- Áreas de influência dos postos pluviométricos nas sub-bacias obtidas pelo método de Thiessen. Cheia de 2013 .....	86
Quadro B.12- Áreas de influência dos postos pluviométricos nas sub-bacias obtidas pelo método de Thiessen. Cheia de 2019 .....	87
Quadro B.13- Parâmetros dos modelos das perdas e do escoamento base usados no modelo de simulação hidrológica .....	88



Quadro B.1- Séries de precipitações máximas anuais em 24 horas registadas nos postos pluviométricos portugueses (1935/36 a 2019/20).

ANO	01H02 Portelinha		02H03 Peneda		02H05 Tibo da Gavieira		02H07 Britelo	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
1935/36							26/dez	73.4
1936/37							24/jan	116.0
1937/38							22/nov	77.0
1938/39							17/jan	149.0
1939/40							08/fev	73.0
1940/41							20/jan	116.9
1941/42							12/mai	83.8
1942/43							11/dez	99.0
1943/44					03/abr	118.3	03/abr	71.2
1944/45	28/jan	71.7			12/dez	134.8	11/dez	57.6
1945/46	24/dez	89.2			01/set	120.5	28/out	78.0
1946/47	14/fev	93.7	21/fev	238.2	21/fev	240.5	21/fev	75.0
1947/48	06/jan	110.0	29/dez	154.6	06/jan	165.3	07/jan	86.4
1948/49	11/dez	75.0	11/dez	93.2	12/dez	93.2	12/dez	50.0
1949/50	07/nov	133.6	03/fev	242.6	13/fev	78.7	03/fev	122.6
1950/51	21/nov	107.0	10/nov	182.6	16/mar	78.5	10/nov	78.2
1951/52	07/nov	72.0	08/nov	117.6	08/nov	78.5	07/nov	90.6
1952/53	25/nov	73.0	25/nov	192.4	25/nov	200.0	02/dez	69.0
1953/54	28/nov	118.0	28/nov	157.4	28/nov	123.0	28/nov	94.6
1954/55	28/nov	92.0	17/jan	119.8	12/jan	150.0	18/jan	75.0
1955/56	04/nov	91.0	03/nov	212.2	15/dez	138.0	03/nov	96.4
1956/57	09/mai	130.0	08/fev	194.2	08/fev	100.0	08/fev	94.4
1957/58	05/nov	88.0	28/jan	281.6	26/jun	130.0	28/jan	75.6
1958/59	12/dez	85.0	22/jan	152.2	13/dez	92.0	14/abr	78.4
1959/60	22/dez	110.5	25/fev	188.2	27/dez	120.4	04/jun	80.2
1960/61	03/jan	91.5	17/nov	136.0	02/out	81.0	15/nov	70.8
1961/62	01/abr	92.0	30/mar	200.0	30/mar	271.5	30/mar	133.0
1962/63	16/fev	114.0	09/fev	100.0	11/mar	141.0	16/fev	75.4
1963/64	15/nov	117.0	15/nov	120.0	15/nov	175.0	15/nov	68.2
1964/65	10/out	100.0	29/set	126.0	29/set	141.5	29/set	68.0
1965/66	20/fev	138.0	10/jun	144.0	20/nov	114.0	20/fev	71.3
1966/67	05/nov	150.0	05/nov	115.0	05/nov	165.0	05/nov	80.5
1967/68	22/set	166.0	28/ago	89.0	04/nov	88.0	28/ago	91.6
1968/69	17/dez	148.0	17/mar	97.5	17/mar	135.0	18/jan	97.7
1969/70	04/jan	111.0	13/mai	94.5	25/jan	119.0	18/jan	65.7
1970/71	29/nov	90.0	18/mar	61.5	17/nov	83.0	18/mar	53.2
1971/72	11/fev	155.0	14/mai	63.8	13/out	79.0	11/fev	83.2
1972/73	27/out	118.5	03/mai	78.2	27/out	124.2	27/out	131.1
1973/74	07/jan	94.0	06/jan	117.2	07/jan	197.0	26/jun	75.0
1974/75	18/jan	95.0	14/nov	197.5	29/set	107.0	17/jan	78.0
1975/76	29/ago	100.0	29/ago	125.0	01/out	109.5	12/nov	68.0
1976/77	03/dez	96.7	10/fev	145.3	26/jan	123.1	03/dez	66.3
1977/78	08/out	120.0	16/fev	143.5	07/dez	153.0	10/out	67.7
1978/79	08/dez	139.5	25/mar	175.5	24/dez	189.0	08/dez	82.5
1979/80	23/jan	69.3	26/mar	130.4	24/jan	210.0	24/jan	54.0
1980/81	20/dez	108.0	20/dez	154.2	26/set	147.0	26/set	78.0
1981/82	14/dez	140.0	29/dez	185.0	14/dez	117.5	14/dez	73.3
1982/83	13/dez	79.2	12/mai	102.3	13/out	152.7	13/nov	54.4
1983/84	18/dez	103.0	31/mar	130.0	23/dez	142.8	23/dez	78.8
1984/85	22/mar	112.7	09/fev	127.4	16/nov	148.8	19/out	84.5
1985/86	25/dez	105.3	14/set	120.0	25/dez	128.3	15/set	85.8

1986/87	14/nov	73.0	14/nov	120.2	25/mar	128.2	14/nov	71.0
1987/88	15/out	176.0	15/out	155.0	16/out	125.3	15/out	87.5
1988/89	08/nov	73.0	13/out	82.8	06/mar	86.3	08/nov	44.7
1989/90	15/dez	105.0	21/dez	88.0	15/dez	129.2	19/nov	72.7
1990/91	29/out	78.0	07/jan	120.0	07/jan	151.3	15/out	93.1
1991/92	15/nov	125.0	25/nov	95.7	09/jan	79.3	25/nov	69.8
1992/93	04/dez	78.0	12/jan	80.8	07/set	127.3	07/dez	50.3
1993/94	02/out	61.0	21/mai	99.5	06/jan	171.1	12/out	68.9
1994/95	14/fev	76.0	31/dez	125.7	14/fev	161.4	31/dez	77.8
1995/96	25/dez	60.0	1/abr	95.3	25/dez	168.1	28/out	98.1
1996/97	23/nov	80.0	13/out	82.5	25/fev	123.2	23/nov	89.9
1997/98	20/out	110.0	18/nov	140.0	19/out	175.2	19/out	78.6
1998/99			22/set	150.6	22/set	167.2	22/set	85.5
1999/00			14/abr	134.0	14/dez	149.4	14/dez	63.0
2000/01			5/nov	115.0	21/mar	198.3	2/nov	118.1
2001/02								
2002/03								
2003/04			19/out	79.2	18/ago	86.7	18/ago	51.4
2004/05	11/out	63.5	20/out	118.6	21/mar	58.9	20/out	51.8
2005/06			23/set	103.3	18/fev	100.4	30/out	48.4
2006/07					14/jun	129.2	14/jun	61.9
2007/08								
2008/09					7/out	67.8		
2009/10	25/fev	87.1						
2010/11	3/out	75.2						
2011/12								
2012/13								
2013/14								
2014/15								
2015/16	13/fev	151.0	13/fev	99.3	5/out	152.7	13/fev	85.3
2016/17	4/fev	61.9						
2017/18								
2018/19								
2019/20								

---

ANO	02H09 Lindoso		02H10 Soajo		02J01 Pitões das Júnias		02K01 Casais da Veiga	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
1935/36								
1936/37								
1937/38								
1938/39								
1939/40								
1940/41								
1941/42								
1942/43					20/jan	93.5		
1943/44					20/out	75.0	21/ago	44.2
1944/45					11/dez	52.0	11/dez	54.0
1945/46					25/dez	78.4	28/mai	32.4
1946/47					22/fev	90.0	08/dez	37.2
1947/48					30/dez	74.0	28/jan	57.0
1948/49					07/nov	46.2	25/set	83.0
1949/50					03/fev	98.6	22/mai	140.0
1950/51					26/nov	71.4	15/mar	99.2
1951/52					29/mar	60.2	30/mar	123.0
1952/53					25/nov	99.0	26/nov	96.2
1953/54					30/jan	136.2	27/out	53.2
1954/55					13/fev	52.8	07/jun	75.2
1955/56					03/nov	36.8	03/nov	74.2
1956/57					08/fev	34.6	15/fev	85.4
1957/58					06/jun	40.2	27/mar	72.4
1958/59					16/abr	68.2	15/abr	76.4
1959/60					24/jan	82.0	17/fev	76.0
1960/61					02/out	76.0	26/fev	86.4
1961/62							31/mar	82.0
1962/63							16/fev	63.4
1963/64							12/nov	84.2
1964/65					29/set	78.8	30/jan	64.0
1965/66					20/fev	127.0	18/jan	46.2
1966/67					05/nov	90.8	09/mar	46.0
1967/68					18/abr	72.8	17/abr	38.2
1968/69					12/set	106.1	14/mar	48.2
1969/70					08/jan	115.7	04/jan	45.2
1970/71					17/mar	79.5	23/jul	36.2
1971/72					08/jan	97.7	09/fev	34.0
1972/73					27/out	94.9	07/dez	32.4
1973/74					26/jun	97.0	29/jun	42.2
1974/75					15/nov	59.5	22/dez	42.0
1975/76					03/jul	42.3	12/nov	38.2
1976/77					10/fev	75.6	26/jan	32.0
1977/78					07/dez	113.2	19/fev	34.4
1978/79					08/dez	143.5	08/dez	36.4
1979/80					24/jan	72.2	24/jan	28.4
1980/81	26/set	115.0	26/set	81.0	28/fev	93.3	09/abr	32.0
1981/82	31/dez	125.0	14/dez	90.6	12/mai	113.2	03/jan	46.0
1982/83	13/nov	94.7	08/abr	66.7	23/fev	71.3	08/nov	27.2
1983/84	23/dez	85.0	23/dez	88.0	18/dez	84.2	18/dez	28.2
1984/85	30/nov	101.0	16/nov	112.2	09/fev	112.2	10/jun	26.4
1985/86	17/fev	127.0	14/set	95.0	14/set	116.0	14/set	66.0
1986/87	14/nov	71.0	14/nov	64.0	26/set	106.6	26/set	31.0

1987/88	15/out	135.0	06/jan	70.0	15/out	128.0	04/jan	34.0
1988/89	07/nov	72.5	07/mar	52.3	14/out	67.5	14/out	69.0
1989/90	20/dez	86.0	21/dez	96.0	21/dez	122.5	21/dez	77.2
1990/91	15/out	81.0	15/out	92.0	12/mar	68.0	07/jan	69.0
1991/92	15/nov	82.5	13/nov	63.0	25/nov	123.0		
1992/93	04/dez	46.5	05/dez	63.0	07/dez	68.0	11/abr	58.1
1993/94	12/out	82.5	06/jan	116.0	11/out	99.0	21/mai	53.8
1994/95	23/out	89.0	22/out	108.0	31/dez	77.5	31/dez	80.0
1995/96	25/dez	108.0			9/jan	82.5	25/dez	65.8
1996/97	23/nov	96.0			17/dez	78.0		
1997/98	22/out	75.0					20/out	65.5
1998/99	5/mai	18.0			22/set	104.0	22/jan	40.7
1999/00	24/mai	28.0	14/dez	80.0				
2000/01								
2001/02								
2002/03								
2003/04								
2004/05					20/out	88.5		
2005/06			2/dez	69.8				
2006/07	25/nov	62.6			22/out	96.2		
2007/08							8/abr	32.8
2008/09								
2009/10								
2010/11								
2011/12								
2012/13								
2013/14								
2014/15	31/jan	72.0						
2015/16			12/fev	84.7				
2016/17								
2017/18								
2018/19					6/mar	90.9		
2019/20								

ANO	03H02 Covide		03H04 Seixas		03H05 Cibões		03I01 Portela do Homem	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
1935/36								
1936/37								
1937/38								
1938/39								
1939/40								
1940/41								
1941/42								
1942/43								
1943/44								
1944/45								
1945/46								
1946/47								
1947/48								
1948/49	11/dez	89.2					06/nov	103.4
1949/50	03/fev	162.4					03/fev	243.6
1950/51	26/nov	139.0					10/nov	154.0
1951/52	18/nov	126.6					05/nov	146.0
1952/53	25/nov	120.0					25/nov	171.5
1953/54	28/nov	176.8					28/nov	180.6
1954/55	18/jan	195.6					18/jan	152.2
1955/56							03/nov	257.0
1956/57	15/fev	128.8					09/mai	120.0
1957/58	26/jun	226.4					26/jun	161.8
1958/59	19/dez	211.0					13/dez	153.2
1959/60	26/dez	141.6					26/dez	159.2
1960/61	17/nov	120.4	17/nov	88.4			17/nov	200.0
1961/62	30/mar	139.0	31/mar	71.4			31/mar	270.2
1962/63	11/mar	109.6	10/mar	123.8			16/fev	160.4
1963/64	16/fev	126.0	30/out	159.8			15/nov	192.6
1964/65	29/set	195.1	11/mar	112.5			29/set	172.0
1965/66	20/nov	133.5	20/nov	145.0			20/nov	157.1
1966/67	05/nov	159.4	09/mar	119.0			05/nov	179.2
1967/68	22/set	180.2	22/set	108.0			22/set	149.4
1968/69	13/mar	141.3	11/set	126.3			15/mar	127.5
1969/70	25/jan	140.0	25/jan	156.3			05/jan	116.5
1970/71	18/mar	95.3	18/mar	86.0			18/mar	104.5
1971/72	11/fev	168.5	02/fev	103.6			11/fev	140.1
1972/73	07/dez	131.5	27/out	117.9			07/dez	130.9
1973/74	28/jun	124.5	07/jan	121.7			07/jan	160.6
1974/75	14/nov	185.0	14/nov	169.0			14/nov	140.2
1975/76	01/out	95.0	30/jan	98.1			30/jan	95.2
1976/77	26/jan	130.2	10/fev	95.6			07/dez	95.5
1977/78	19/fev	124.0	16/fev	146.0			19/fev	125.1
1978/79	29/dez	140.2	08/dez	210.1			31/dez	118.9
1979/80	24/jan	120.2	24/jan	129.5			24/jan	117.8
1980/81			27/fev	136.1	26/set	88.1	26/set	104.6
1981/82	14/dez	91.5	12/mai	105.5	14/dez	111.4	14/dez	128.0
1982/83	13/out	104.0	23/fev	80.4	13/nov	126.8	13/out	150.5
1983/84	24/mar	63.0	24/mar	83.0	22/dez	127.6	18/dez	129.0
1984/85	19/out	105.6	09/fev	127.3	16/nov	131.4	16/nov	119.0
1985/86	14/set	110.0	14/set	103.5	14/set	133.5	25/dez	117.8
1986/87	25/mar	113.6	26/set	101.4	17/jul	77.5	14/nov	100.2
1987/88	15/out	120.0	16/out	220.6	15/out	108.6	15/out	127.0
1988/89	14/out	85.6	08/nov	66.5	14/out	68.5	14/out	57.6

1989/90	23/out	57.4	21/dez	145.3	12/dez	55.8	21/dez	135.0
1990/91	15/out	71.5	15/out	96.5	15/out	69.5	14/out	87.5
1991/92	25/nov	102.6	25/nov	135.8	04/nov	50.2	25/nov	110.0
1992/93	07/set	59.0	13/jan	107.5	07/set	48.2	12/jan	140.0
1993/94	09/jan	110.0	21/mai	110.5	06/jan	109.7		
1994/95	31/dez	150.0	31/dez	82.4	31/dez	119.5		
1995/96					25/dez	165.5		
1996/97	23/nov	134.0			23/nov	132.5		
1997/98	20/out	162.0			20/out	90.0		
1998/99	22/set	151.0						
1999/00	25/abr	182.0	20/out	110.5	22/out	100.0		
2000/01	4/mar	148.0			21/mar	159.0		
2001/02					22/out	71.2		
2002/03								
2003/04			19/out	101.4			18/ago	110.4
2004/05			20/out	86.6	10/out	80.7	27/mar	61.5
2005/06					24/mar	64.8	2/dez	114.0
2006/07							12/fev	128.8
2007/08	8/abr	78.4						
2008/09								
2009/10								
2010/11								
2011/12								
2012/13								
2013/14								
2014/15			16/set	104.3				
2015/16	4/jan	83.6	5/out	78.9	4/jan	98.7		
2016/17								
2017/18								
2018/19	22/set	59.4			7/jun	31.4		
2019/20								

---

ANO	03I03 Leonte		03J01 Sezelhe		03J02 Outeiro	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
1935/36					19/jan	110.0
1936/37					03/mar	104.0
1937/38					24/out	88.1
1938/39					16/jan	196.0
1939/40					05/nov	138.0
1940/41					22/dez	100.0
1941/42	12/mai	166.2			17/mar	86.0
1942/43	14/jan	127.4			12/jan	108.0
1943/44	20/out	239.3	15/abr	58.2	20/out	201.0
1944/45	12/dez	185.0	25/nov	52.0	26/nov	69.0
1945/46	01/set	144.0	23/mar	54.6	19/dez	106.0
1946/47	21/fev	219.0	20/mar	60.4	21/fev	166.0
1947/48	29/dez	204.2	12/jan	71.2	07/jan	115.0
1948/49	06/nov	153.2	12/dez	50.6	06/nov	84.0
1949/50	03/fev	203.0	05/fev	72.6	03/fev	154.0
1950/51	26/nov	167.4	10/nov	63.3	26/nov	125.0
1951/52	05/nov	102.0	05/nov	66.2	05/nov	104.0
1952/53	25/nov	195.6	25/nov	182.5	25/nov	217.0
1953/54	28/nov	169.0	28/nov	118.4	28/nov	94.0
1954/55	18/jan	166.6	18/jan	88.8	18/jan	180.0
1955/56	13/nov	213.0	03/nov	200.0	17/dez	142.0
1956/57	15/fev	139.4	08/fev	100.0	08/fev	89.0
1957/58	26/jun	210.0	26/jun	140.0	03/abr	152.0
1958/59	19/dez	148.8	19/dez	139.0	21/jan	88.0
1959/60	26/dez	169.0	26/dez	128.5	27/dez	144.0
1960/61	17/nov	190.8	17/nov	144.0	21/nov	148.0
1961/62	31/mar	219.1	31/mar	127.4	31/mar	234.0
1962/63	16/fev	124.0	11/mar	77.0	10/mar	160.0
1963/64	15/nov	168.0	16/fev	90.0	02/jun	98.8
1964/65	29/set	190.7	29/set	88.0	29/set	178.5
1965/66	20/nov	171.0	18/jan	66.3	22/jan	105.4
1966/67	05/nov	156.6	05/nov	64.2	06/nov	100.0
1967/68	22/set	169.5	22/set	65.4	04/nov	82.2
1968/69	13/mar	154.2	13/mar	80.0	15/mar	118.6
1969/70	25/jan	140.9	05/jan	100.3	05/jan	104.0
1970/71	18/mar	96.7	18/mar	65.0	26/jan	80.0
1971/72	11/fev	164.0	13/out	82.0	13/out	84.0
1972/73	07/dez	133.7	01/mai	71.0	01/mai	90.0
1973/74	07/jan	187.5	07/jan	70.0	11/jan	105.0
1974/75	14/nov	168.9	14/nov	59.2	15/nov	125.0
1975/76	01/out	109.5	01/out	50.8		
1976/77	14/jan	127.5	26/jan	111.0	26/jan	130.0
1977/78	07/dez	128.5	07/dez	63.5	16/fev	135.0
1978/79	29/dez	141.8	08/dez	140.0	08/dez	242.0
1979/80	24/jan	117.5	06/out	60.0	24/jan	117.0
1980/81	27/fev	133.1	26/set	80.0	27/fev	140.0
1981/82	12/mai	103.5	29/dez	44.0	05/out	108.0
1982/83	13/nov	125.0	22/abr	67.5	08/nov	195.0
1983/84	23/dez	109.2	18/dez	101.5	18/dez	92.0
1984/85	19/out	141.2	04/out	134.0	04/out	115.0
1985/86	14/set	148.9	14/set	145.0	27/dez	107.0
1986/87	25/mar	116.5	11/nov	70.0	25/mar	80.0
1987/88	15/out	175.2	15/out	212.5	15/out	120.0
1988/89	27/out	38.4	14/out	65.0	14/out	48.0

1989/90	21/dez	89.5	03/jan	72.0	14/out	48.0
1990/91	12/mar	100.4	07/jan	61.0		
1991/92	25/nov	171.0	09/jan	60.5	25/nov	90.0
1992/93	07/dez	140.1	07/dez	67.0	12/jan	64.0
1993/94	21/mai	143.8	06/jan	102.0	03/fev	92.0
1994/95	31/dez	158.0	01/jan	80.0	14/fev	88.0
1995/96	25/dez	182.3			15/nov	68.0
1996/97	23/nov	154.1			9/jan	100.0
1997/98	20/out	132.7			21/out	74.0
1998/99	22/set	194.9			22/set	123.5
1999/00	22/out	123.7			14/dez	122.0
2000/01	21/mar	195.0				
2001/02						
2002/03						
2003/04					12/mar	70.4
2004/05					20/out	107.6
2005/06			24/mar	84.0		
2006/07			23/out	61.5		
2007/08						
2008/09						
2009/10						
2010/11						
2011/12						
2012/13						
2013/14						
2014/15						
2015/16					10/jan	72.8
2016/17						
2017/18						
2018/19						
2019/20						

---

Quadro B.2- Séries de precipitações máximas anuais em 24 horas registadas nos postos pluviométricos espanhóis (2007/08 a 2019/20).

ANO	A046		E033		E035		E036	
	Ponteliñares		Frieira		As Conchas		As Salas	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
2007/08	5/set	25.4	3/jan	46.8	5/set	44.9	3/jan	51.3
2008/09	22/jul	63.2	22/jul	85.9	11/nov	37.1	22/jul	51.4
2009/10	15/nov	65.8	13/jan	55.9	15/nov	69.4	27/fev	84.9
2010/11	3/out	82.4	3/out	109.1	30/out	45.2	3/out	95.7
2011/12	26/out	43.2	24/out	80.2	26/out	62.4	26/out	106.2
2012/13	14/dez	91.0	18/jan	110.5	14/dez	149.2	14/dez	99.6
2013/14	24/dez	82.6	24/dez	103.5	24/dez	193.2	24/dez	99.1
2014/15	15/set	69.7	15/set	93.9	15/set	123.3	8/out	68.7
2015/16	10/jan	80.3	12/fev	118.3	5/out	112.8	10/jan	91.4
2016/17	4/fev	67.3	4/fev	68.1	4/fev	62.5	4/fev	77.1
2017/18	10/dez	95.1	10/dez	114.8	10/dez	117.2	10/dez	80.8
2018/19	6/mar	40.7	31/jan	66.7	31/jan	53.3	6/mar	54.6
2019/20	19/dez	39.2	12/dez	60.9	21/dez	61.1	20/dez	65.8

ANO	M017		M025		N019		N029	
	Camba		Pto. Outeiro de Augas		Caldo Bubaces		Pontefreixo	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
2007/08	19/nov	55.9	5/set	26.9	15/jan	69.0		
2008/09	22/jul	87.2	22/jul	64.6	22/jul	126.1		
2009/10	15/nov	75.8	27/fev	98.2	15/nov	146.8		
2010/11	3/out	112.1	3/out	172.1	3/out	199.6	16/fev	37.4
2011/12	24/out	78.0	26/out	107.3	23/set	83.5	24/out	63.9
2012/13	18/jan	124.1	18/jan	113.7	14/dez	181.5	14/dez	65.3
2013/14	22/out	103.9	24/dez	149.5	24/dez	169.8	24/dez	77.5
2014/15	30/jan	126.3			16/out	110.3	8/out	40.9
2015/16	12/fev	145.6			10/jan	133.3	5/out	43.1
2016/17	4/fev	74.8			4/fev	118.0	4/fev	87.8
2017/18	10/dez	103.9			10/dez	117.9	10/dez	101.3
2018/19	31/jan	67.0			31/jan	74.4	14/out	43.3
2019/20	12/dez	90.3			18/dez	81.9	19/out	63.2

ANO	N030		N031		N035		P023	
	Baños de Molgas		Xinzo Limia		As Regadas		Rebordechao	
	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)	dia/mês	P <sub>24</sub> (mm)
2007/08							26/mai	32.6
2008/09							22/jul	74.7
2009/10							15/nov	64.3
2010/11	16/fev	45.5	16/fev	26.1	16/fev	41.0	3/out	93.1
2011/12	24/out	68.9	11/nov	28.2	18/abr	93.2	18/abr	65.0
2012/13	17/out	64.3	14/dez	66.4	18/jan	107.9	18/jan	96.3
2013/14	24/dez	68.2	24/dez	84.9	24/dez	112.1	24/dez	81.5
2014/15	16/out	64.0	8/out	51.1	30/jan	120.1	16/out	70.8
2015/16	10/jan	57.6	4/jan	44.9	13/set	51.6	12/fev	98.4
2016/17	4/fev	52.4	4/fev	48.7	4/fev	68.3	4/fev	67.2
2017/18	10/dez	66.3	10/dez	71.6	10/dez	111.8	10/dez	67.3
2018/19	9/abr	46.9	6/mar	45.3	31/jan	75.3	17/set	77.4
2019/20	19/out	52.2	19/dez	36.1	12/dez	85.0	12/dez	59.1

Quadro B.3- Testes de aleatoriedade das séries das precipitações máximas anuais em 24 horas.

Série	Testes												Número de Rejeições	
	Autocorr.		W.-W.		Extr. Locais		D. M. A. (R)		Máx. Verosi.		Bayes. (U)			
	R	Teste	Rww	Teste	NE	Teste	R	Teste	W	Teste	U	Teste		
A046	Ponteliñares	-0.05	Ace	5	Rej	7	Ace	4.54	Ace	2.15	Ace	0.147	Ace	1
E033	Frieira	-0.20	Ace	5	Rej	9	Ace	4.79	Ace	2.09	Ace	0.168	Ace	1
E035	Las Conchas	0.52	Rej	6	Rej	7	Ace	5.14	Ace	2.53	Ace	0.256	Ace	2
E036	Salas	0.50	Rej	4	Rej	6	Ace	5.02	Ace	2.74	Ace	0.220	Ace	2
M017	Camba	0.01	Ace	5	Rej	10	Ace	4.63	Ace	1.89	Ace	0.199	Ace	1
N019	Caldo Bubaces	0.03	Ace	6	Rej	6	Ace	4.07	Ace	1.85	Ace	0.219	Ace	1
P023	Rebordechao	-0.20	Ace	7	Ace	9	Ace	4.00	Ace	3.14	Ace	0.160	Ace	0
01H02	Portelinha	0.10	Ace	18	Rej	32	Ace	12.27	Rej	2.64	Ace	0.302	Ace	2
02H03	Peneda	0.34	Rej	26	Ace	34	Ace	14.82	Rej	5.36	Rej	1.196	Rej	4
02H05	Tibo da Gavieira	0.10	Ace	20	Rej	35	Ace	8.28	Ace	2.08	Ace	0.173	Ace	1
02H07	Britelo	-0.10	Ace	33	Ace	37	Ace	8.67	Ace	2.28	Ace	0.104	Ace	0
02K01	Casais da Veiga	0.72	Rej	13	Rej	31	Ace	18.42	Rej	5.38	Rej	1.271	Rej	5
03I03	Leonte	0.18	Ace	25	Ace	37	Ace	16.23	Rej	4.45	Rej	1.345	Rej	3
03J02	Outeiro	0.11	Ace	18	Rej	33	Ace	11.08	Ace	3.53	Rej	0.721	Rej	3

Ace. - A hipótese de a série ser aleatória não é rejeitada.

Rej. - A hipótese de aleatoriedade da série é rejeitada.

Quadro B.4- Ajustes da distribuição de Gumbel às séries das precipitações máximas anuais em 24 horas.

	Série	Parâmetros	
		a	x
A046	Ponteliñares	18	55
E033	Frieira	20	75
E035	Las Conchas	40	65
E036	Salas	16	70
M017	Camba	22	84
N019	Caldo Bubaces	35	105
P023	Rebordechao	15	65
01H02	Portelinha	22	91
02H03	Peneda	37	115
02H05	Tibo da Gavieira	33	118
02H07	Britelo	14	71
02K01	Casais da Veiga	20	46
03I03	Leonte	30	137
03J02	Outeiro	35	99

Quadro B.5- Avaliação dos ajustes das séries das precipitações máximas anuais em 24 horas à função de distribuição de Gumbel.

Série		Testes à qualidade dos ajustes				
		r	Qui <sup>2</sup>	Ksv		
A046	Ponteliñares	0.93	1.6	Ace	0	Ace
E033	Frieira	0.94	0.2	Ace	0	Ace
E035	Las Conchas	0.97	0.6	Ace	0	Ace
E036	Salas	0.94	0.5	Ace	0	Ace
M017	Camba	0.99	0.0	Ace	0	Ace
N019	Caldo Bubaces	0.98	0.4	Ace	0	Ace
P023	Rebordechao	0.93	0.0	Ace	0	Ace
01H02	Portelinha	0.99	5.2	Ace	0	Ace
02H03	Peneda	1.00	12.7	Ace	0	Ace
02H05	Tibo da Gavieira	0.99	10.3	Ace	0	Ace
02H07	Britelo	0.98	9.9	Ace	1	Rej
02K01	Casais da Veiga	0.99	10.1	Ace	0	Ace
03I03	Leonte	0.96	11.2	Ace	0	Ace
03J02	Outeiro	0.99	6.5	Ace	0	Ace

Ace. - A hipótese de a série ser ajustada pela lei não é rejeitada

Rej. - A hipótese de a série ser ajustada pela lei é rejeitada

Quadro B.6- Precipitações máximas anuais em 24 horas para os vários períodos de retorno obtidas a partir da função de distribuição de Gumbel.

Série	P <sub>24</sub>									
	T=2.33 anos	T=5 anos	T=10 anos	T=25 anos	T=50 anos	T=100 anos	T=500 anos	T=1000 anos	T=5000 anos	
	Fi=0.571	Fi=0.800	Fi=0.900	Fi=0.960	Fi=0.980	Fi=0.990	Fi=0.998	Fi=0.999	Fi=1.000	
A046	Ponteliñares	66	82	96	113	126	139	169	181	211
E033	Frieira	86	105	120	140	154	168	201	215	248
E035	Las Conchas	88	125	155	193	221	248	313	340	404
E036	Salas	79	94	106	121	133	144	170	181	207
M017	Camba	96	117	133	154	169	185	220	235	270
N019	Caldo Bubaces	125	157	183	216	241	265	321	345	401
P023	Rebordechao	73	87	98	112	122	132	156	166	190
01H02	Portelinha	104	124	140	160	175	191	225	240	275
02H03	Peneda	137	171	199	234	260	286	346	372	432
02H05	Tibo da Gavieira	137	167	192	223	246	269	322	345	397
02H07	Britelo	79	92	103	117	127	137	160	170	193
02K01	Casais da Veiga	58	76	91	110	124	138	170	184	216
03I03	Leonte	155	183	206	235	256	277	326	347	396
03J02	Outeiro	119	151	178	211	235	260	316	340	396

Quadro B.7- Segundo quartil de Huff.

t (horas)	Distribuição temporal do 2º Quartil de Huff ( $\Delta t=30$ minutos)									
	P <sub>12</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>36</sub>	P <sub>36</sub>	P <sub>36</sub>	P <sub>36</sub>	P <sub>36</sub>	P <sub>36</sub>
0.5	0.00	0.0048	0.0018	0.0018	0.0009	0.0009	0.0006	0.0006	0.0004	0.0004
1.0	0.02	0.0187	0.0095	0.0077	0.0048	0.0039	0.0028	0.0023	0.0018	0.0014
1.5	0.06	0.0329	0.0236	0.0141	0.0124	0.0076	0.0074	0.0046	0.0048	0.0030
2.0	0.10	0.0466	0.0439	0.0204	0.0236	0.0112	0.0144	0.0069	0.0095	0.0046
2.5	0.16	0.0598	0.0705	0.0265	0.0383	0.0147	0.0236	0.0092	0.0157	0.0062
3.0	0.24	0.0727	0.1030	0.0325	0.0564	0.0182	0.0350	0.0115	0.0236	0.0078
3.5	0.32	0.0851	0.1414	0.0384	0.0780	0.0216	0.0488	0.0137	0.0330	0.0094
4.0	0.42	0.0970	0.1856	0.0442	0.1030	0.0250	0.0647	0.0159	0.0439	0.0110
4.5	0.53	0.1085	0.2355	0.0498	0.1313	0.0283	0.0828	0.0181	0.0564	0.0125
5.0	0.62	0.0952	0.2908	0.0553	0.1628	0.0315	0.1030	0.0202	0.0705	0.0140
5.5	0.71	0.0843	0.3516	0.0607	0.1976	0.0348	0.1254	0.0224	0.0860	0.0155
6.0	0.78	0.0713	0.4175	0.0660	0.2355	0.0379	0.1498	0.0245	0.1030	0.0170
6.5	0.84	0.0587	0.4886	0.0711	0.2765	0.0410	0.1763	0.0265	0.1215	0.0185
7.0	0.88	0.0463	0.5580	0.0694	0.3205	0.0440	0.2049	0.0286	0.1414	0.0199
7.5	0.92	0.0343	0.6213	0.0633	0.3676	0.0470	0.2355	0.0306	0.1628	0.0214
8.0	0.94	0.0226	0.6789	0.0576	0.4175	0.0500	0.2680	0.0326	0.1856	0.0228
8.5	0.95	0.0097	0.7308	0.0518	0.4704	0.0529	0.3025	0.0345	0.2099	0.0242
9.0	0.96	0.0078	0.7769	0.0461	0.5230	0.0526	0.3390	0.0364	0.2355	0.0256
9.5	0.96	0.0078	0.8174	0.0405	0.5742	0.0512	0.3773	0.0383	0.2625	0.0270
10.0	0.97	0.0078	0.8524	0.0350	0.6213	0.0471	0.4175	0.0402	0.2908	0.0284
10.5	0.98	0.0078	0.8819	0.0295	0.6651	0.0438	0.4596	0.0421	0.3205	0.0297
11.0	0.99	0.0078	0.9061	0.0242	0.7056	0.0405	0.5035	0.0439	0.3516	0.0310
11.5	1.00	0.0078	0.9251	0.0189	0.7428	0.0373	0.5447	0.0412	0.3839	0.0323
12.0	1.00	0.0078	0.9388	0.0138	0.7769	0.0341	0.5839	0.0392	0.4175	0.0336
12.5			0.9459	0.0071	0.8078	0.0309	0.6213	0.0374	0.4525	0.0349
13.0			0.9511	0.0052	0.8356	0.0278	0.6566	0.0353	0.4880	0.0355

13.5	0.9563	0.0052	0.8603	0.0247	0.6898	0.0332	0.5235	0.0355
14.0	0.9615	0.0052	0.8819	0.0217	0.7209	0.0311	0.5580	0.0345
14.5	0.9667	0.0052	0.9006	0.0186	0.7499	0.0290	0.5903	0.0323
15.0	0.9719	0.0052	0.9162	0.0157	0.7769	0.0270	0.6213	0.0310
15.5	0.9771	0.0052	0.9290	0.0127	0.8019	0.0250	0.6509	0.0295
16.0	0.9823	0.0052	0.9388	0.0098	0.8248	0.0230	0.6789	0.0281
16.5	0.9875	0.0052	0.9440	0.0052	0.8458	0.0210	0.7056	0.0266
17.0	0.9927	0.0052	0.9485	0.0045	0.8648	0.0190	0.7308	0.0252
17.5	0.9979	0.0052	0.9524	0.0039	0.8819	0.0171	0.7545	0.0238
18.0	1.0000	0.0021	0.9563	0.0039	0.8971	0.0152	0.7769	0.0224
18.5			0.9602	0.0039	0.9103	0.0132	0.7978	0.0209
19.0			0.9641	0.0039	0.9217	0.0114	0.8174	0.0196
19.5			0.9680	0.0039	0.9312	0.0095	0.8356	0.0182
20.0			0.9719	0.0039	0.9388	0.0076	0.8524	0.0168
20.5			0.9758	0.0039	0.9435	0.0047	0.8678	0.0154
21.0			0.9797	0.0039	0.9469	0.0034	0.8819	0.0141
21.5			0.9836	0.0039	0.9501	0.0031	0.8947	0.0128
22.0			0.9875	0.0039	0.9532	0.0031	0.9061	0.0114
22.5			0.9914	0.0039	0.9563	0.0031	0.9162	0.0101
23.0			0.9953	0.0039	0.9594	0.0031	0.9251	0.0088
23.5			0.9992	0.0039	0.9625	0.0031	0.9326	0.0075
24.0			1.0000	0.0008	0.9657	0.0031	0.9388	0.0062
24.5					0.9688	0.0031	0.9430	0.0042
25.0					0.9719	0.0031	0.9459	0.0029
25.5					0.9750	0.0031	0.9485	0.0026
26.0					0.9781	0.0031	0.9511	0.0026
26.5					0.9813	0.0031	0.9537	0.0026
27.0					0.9844	0.0031	0.9563	0.0026
27.5					0.9875	0.0031	0.9589	0.0026
28.0					0.9906	0.0031	0.9615	0.0026

---

28.5	0.9938	0.0031	0.9641	0.0026
29.0	0.9969	0.0031	0.9667	0.0026
29.5	1.0000	0.0031	0.9693	0.0026
30.0	1.0000	0.0000	0.9719	0.0026
30.5			0.9745	0.0026
31.0			0.9771	0.0026
31.5			0.9797	0.0026
32.0			0.9823	0.0026
32.5			0.9849	0.0026
33.0			0.9875	0.0026
33.5			0.9901	0.0026
34.0			0.9927	0.0026
34.5			0.9953	0.0026
35.0			0.9979	0.0026
35.5			1.0000	0.0021
36.0			1.0000	0.0000

---

Quadro B.8- Características fisiográficas usadas no modelo de simulação hidrológica. Superfícies de escoamento.

Sub-bacias	Superfícies de escoamento				Coef. Manning ( $m^{-1/3}.s$ )
	Área (Km <sup>2</sup> )	Largura (%)	Inclinação (m)	Inclinação (m/m)	
SB_CPLA	106.7	60	4322	0.05	0.30
	70.8	40	2868	0.05	0.30
SB_SAL1	75.2	51	2959	0.16	0.40
	70.9	49	2790	0.16	0.40
SB_SAL2	14.9	28	952	0.20	0.40
	38.4	72	2460	0.20	0.40
SB_CAL	8.6	25	932	0.33	0.40
	26.1	75	2837	0.33	0.40
SB_LAB	33.9	25	1238	0.27	0.40
	103.8	75	3787	0.27	0.40
SB_LIM1	106.5	36	2956	0.09	0.30
	189.5	64	5258	0.09	0.30
SB_LIM2	15.0	63	2673	0.05	0.30
	8.7	37	1557	0.05	0.30
SB_LIM3	143.9	74	13448	0.09	0.30
	51.7	26	4828	0.09	0.30
SB_LIM4	118.6	72	6192	0.16	0.40
	46.0	28	2400	0.16	0.40
SB_LIM5	135.8	48	7168	0.26	0.40
	149.1	52	7866	0.26	0.40

Quadro B.9- Características fisiográficas usadas no modelo de simulação hidrológica. Linhas de água.

Sub-bacias	Linhas de água				Coef. Manning ( $m^{-1/3}.s$ )
	Comprimento (m)	Inclinação (m/m)	Secção (trapezoidal)		
			Base (m)	Inclinação margens	
SB_CPLA	24686	0.0139	8	1/2.5	0.10
SB_SAL1	25424	0.0234	8	1/2.5	0.15
SB_SAL2	15613	0.0307	8	1/2.5	0.15
SB_CAL	9214	0.0912	8	1/2.5	0.15
SB_LAB	27416	0.0364	8	1/2.5	0.15
SB_LIM1	36028	0.0249	8	1/2.5	0.10
SB_LIM2	5611	0.0005	10	1/2.5	0.07
SB_LIM3	10698	0.0003	10	1/2.5	0.07
SB_LIM4	19159	0.0045	15	1/2.5	0.07
SB_LIM5	18948	0.0138	20	1/2.5	0.04

Quadro B.10- Áreas de influência dos postos pluviométricos nas sub-bacias obtidas pelo método de Thiessen.  
Cheia de 2010.

Sub-bacias	Área SB (Km <sup>2</sup> )	Área influência (Km <sup>2</sup> )	Postos Pluv.	Coef. Thiessen
SB_CPLA	177.48	96.73	Rebordechao	0.545
SB_CPLA	177.48	80.76	Ponteliñares	0.455
SB_SAL1	146.01	0.89	Outeiro	0.006
SB_SAL1	146.01	100.12	Salas	0.686
SB_SAL1	146.01	45.00	Ponteliñares	0.308
SB_SAL2	53.28	28.25	Las Conchas	0.530
SB_SAL2	53.28	25.03	Salas	0.470
SB_CAL	34.73	34.31	As Conchas	0.988
SB_CAL	34.73	0.42	Outeiro	0.012
SB_LAB	137.76	134.89	Portelinha	0.979
SB_LAB	137.76	2.87	Pto. Outeiro de Augas	0.021
SB_LIM1	295.96	143.23	Rebordechao	0.484
SB_LIM1	295.96	152.73	Ponteliñares	0.516
SB_LIM2	23.74	23.74	Ponteliñares	1.000
SB_LIM3	195.53	3.19	Salas	0.016
SB_LIM3	195.53	192.34	Ponteliñares	0.984
SB_LIM4	164.62	52.14	Pto. Outeiro de Augas	0.317
SB_LIM4	164.62	30.41	Las Conchas	0.185
SB_LIM4	164.62	36.20	Salas	0.220
SB_LIM4	164.62	45.87	Ponteliñares	0.279
SB_LIM5	284.86	49.83	Portelinha	0.175
SB_LIM5	284.86	23.03	Pto. Outeiro de Augas	0.081
SB_LIM5	284.86	203.04	Las Conchas	0.713
SB_LIM5	284.86	7.98	Outeiro	0.028
SB_LIM5	284.86	0.97	Salas	0.003

Quadro B.11- Áreas de influência dos postos pluviométricos nas sub-bacias obtidas pelo método de Thiessen.  
Cheia de 2013.

Sub-bacias	Área SB (Km <sup>2</sup> )	Área influência (Km <sup>2</sup> )	Postos Pluv.	Coef. Thiessen
SB_CPLA	177.48	104.75	Xinzio Limia	0.590
SB_CPLA	177.48	13.44	Rebordechao	0.076
SB_CPLA	177.48	59.29	Baños de Molgas	0.334
SB_SAL1	146.01	14.35	Xinzio Limia	0.098
SB_SAL1	146.01	100.88	Salas	0.691
SB_SAL1	146.01	30.78	Ponteliñares	0.211
SB_SAL2	53.28	28.26	Las Conchas	0.530
SB_SAL2	53.28	25.02	Salas	0.470
SB_CAL	34.73	34.73	Caldo Bubaces	1.000
SB_LAB	137.76	50.79	Caldo Bubaces	0.369
SB_LAB	137.76	23.72	Frieira	0.172
SB_LAB	137.76	24.26	Pto. Outeiro de Augas	0.176
SB_LAB	137.76	8.78	Las Conchas	0.064
SB_LAB	137.76	30.21	As Regadas	0.219
SB_LIM1	295.96	249.01	Xinzio Limia	0.841
SB_LIM1	295.96	40.94	Rebordechao	0.138
SB_LIM1	295.96	6.02	Ponteliñares	0.020
SB_LIM2	23.74	23.74	Xinzio Limia	1.000
SB_LIM3	195.53	60.93	Xinzio Limia	0.312
SB_LIM3	195.53	3.15	Salas	0.016
SB_LIM3	195.53	130.89	Ponteliñares	0.669
SB_LIM3	195.53	0.57	Pontefreixo	0.003
SB_LIM4	164.62	52.17	Pto. Outeiro de Augas	0.317
SB_LIM4	164.62	30.41	Las Conchas	0.185
SB_LIM4	164.62	36.16	Salas	0.220
SB_LIM4	164.62	45.87	Ponteliñares	0.279
SB_LIM5	284.86	159.78	Caldo Bubaces	0.561
SB_LIM5	284.86	24.85	Pto. Outeiro de Augas	0.087
SB_LIM5	284.86	98.50	Las Conchas	0.346
SB_LIM5	284.86	1.72	Salas	0.006

Quadro B.12- Áreas de influência dos postos pluviométricos nas sub-bacias obtidas pelo método de Thiessen.  
Cheia de 2019.

Sub-bacias	Área SB (Km <sup>2</sup> )	Área influência (Km <sup>2</sup> )	Postos Pluv.	Coef. Thiessen
SB_CPLA	177.48	150.36	Xinzio Limia	0.847
SB_CPLA	177.48	27.12	Rebordechao	0.153
SB_SAL1	146.01	5.59	Pitões das Júnias	0.038
SB_SAL1	146.01	18.43	Sezelhe	0.126
SB_SAL1	146.01	53.42	Casais da Veiga	0.366
SB_SAL1	146.01	57.98	Salas	0.397
SB_SAL1	146.01	10.58	Ponteliñares	0.072
SB_SAL2	53.28	27.31	Las Conchas	0.513
SB_SAL2	53.28	6.27	Pitões das Júnias	0.118
SB_SAL2	53.28	19.70	Salas	0.370
SB_CAL	34.73	34.73	Caldo Bubaces	1.000
SB_LAB	137.76	22.59	Las Conchas	0.164
SB_LAB	137.76	33.25	Frieira	0.241
SB_LAB	137.76	67.85	Soajo	0.493
SB_LAB	137.76	4.65	As Ragadas	0.034
SB_LAB	137.76	9.43	Caldo Bubaces	0.068
SB_LIM1	295.96	199.73	Xinzio Limia	0.675
SB_LIM1	295.96	40.84	Rebordechao	0.138
SB_LIM1	295.96	49.90	Casais da Veiga	0.169
SB_LIM1	295.96	5.50	Ponteliñares	0.019
SB_LIM2	23.74	23.74	Xinzio Limia	1.000
SB_LIM3	195.53	60.91	Xinzio Limia	0.312
SB_LIM3	195.53	3.16	Salas	0.016
SB_LIM3	195.53	130.89	Ponteliñares	0.669
SB_LIM3	195.53	0.57	Pontefreixo	0.003
SB_LIM4	164.62	63.23	Las Conchas	0.384
SB_LIM4	164.62	0.67	Frieira	0.004
SB_LIM4	164.62	36.41	Salas	0.221
SB_LIM4	164.62	63.33	Ponteliñares	0.385
SB_LIM4	164.62	0.98	Pontefreixo	0.006
SB_LIM5	284.86	118.68	Las Conchas	0.417
SB_LIM5	284.86	11.23	Pitões das Júnias	0.039
SB_LIM5	284.86	24.69	Soajo	0.087
SB_LIM5	284.86	130.25	Caldo Bubaces	0.457

Quadro B.13- Parâmetros dos modelos das perdas e do escoamento base usados no modelo de simulação hidrológica.

Sub-bacias	Perdas		Escoamento base		
	Perdas Inic. Ia (mm)	Num. Escoamento N	Ebo/A	Ebf/Qp	f
SB_CPLA	0.0	65	0.1	0.3	0.8
SB_SAL1	0.0	70	0.1	0.3	0.8
SB_SAL2	0.0	75	0.1	0.2	0.8
SB_CAL	0.0	75	0.1	0.2	0.8
SB_LAB	0.0	75	0.1	0.2	0.8
SB_LIM1	0.0	65	0.1	0.3	0.8
SB_LIM2	0.0	65	0.1	0.3	0.8
SB_LIM3	0.0	65	0.1	0.3	0.8
SB_LIM4	0.0	70	0.1	0.3	0.8
SB_LIM5	0.0	75	0.1	0.2	0.8