



**Tony Eduardo  
da Costa Conceição**

**Impacto das Acções Antropogénicas no  
Comportamento Sedimentar do Rio Douro**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em engenharia civil, realizada sob a orientação científica do Dr. Carlos Daniel Borges Coelho, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

UA-SD



287010

## **o júri**

presidente

**Prof. Dr. Paulo Barreto Cachim**

professor associado do Departamento de Engenharia civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Fernando Francisco Machado Veloso Gomes**

professor catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Prof. Dr. Carlos Daniel Borges Coelho**

professor associado do Departamento de Engenharia civil da Universidade de Aveiro

## palavras-chave

transporte sedimentar, rio Douro, barragens, dragagens, erosão hídrica, sedimentos, caudal.

## resumo

Numa altura em que a comunidade científica debate os problemas da erosão e as suas causas, na costa Noroeste portuguesa é apontada a escassez de sedimentos transportados pelo rio Douro e diminuição de areias afluentes à foz do Douro. Este estudo pretende contribuir para dar respostas que possam vir a solucionar, ou atenuar, problemas que advêm do impacto provocado, directa ou indirectamente, pelo Homem. Assim, esta investigação traça como objectivos principais: identificação da tipologia e cronologia das acções humanas sobre o rio; avaliação de variações nos registos do caudal ao longo do tempo, em função das intervenções realizadas; caracterização de trechos do rio (geometria e granulometria dos sedimentos) para quantificação de volumes em transporte, por aplicação de modelos numéricos; avaliação da variação do volume sólido em transporte ao longo do tempo para caracterização da importância relativa de cada tipo de intervenção humana.

Num enquadramento de âmbito territorial, este estudo abrange a região da bacia hidrográfica do rio Douro situada em território português, tendo em linha de conta condições de fronteira, como os escoamentos provenientes da parte espanhola da bacia.

O Capítulo 1 corresponde a uma introdução, onde se explica qual a motivação que levou à concretização deste estudo. Apresentam-se algumas referências sobre a temática a abordar assim como os objectivos a estudar.

No Capítulo 2 faz-se uma caracterização breve sobre a bacia hidrográfica do rio Douro, nomeadamente sobre aspectos da sua fisiografia, orografia e biofísica.

No Capítulo 3 identifica-se a tipologia e a cronologia das acções antrópicas exercidas sobre a bacia hidrográfica do rio Douro e sobre as suas linhas de água, bem como a sua interacção com o transporte sedimentar do rio Douro.

No Capítulo 4 refere-se como foi feita a análise sobre o comportamento de cada acção humana. É descrita a metodologia seguida para o cálculo do caudal sólido e caracterizada uma secção transversal tipo.

No Capítulo 5 procede-se à tentativa de quantificar o volume sólido afluente à foz e determina-se o défice sedimentar referente a cada impacto na perspectiva de atribuir o efeito de cada acção na redução do volume sólido afluente à foz do Douro.

Por último, no Capítulo 6 apresentam-se as conclusões deste estudo, bem como algumas considerações finais e ambições futuras.

## **keywords**

sediment transport, Douro river, dams, dredgers, water erosion, sediment, flow.

## **abstract**

In a height where the scientific community if debate on the problems of the erosion of the Northwest Portuguese coast and its causes, as the dearth sediments carried for the Douro river is pointed, and having a consensus on the cause of this affluent sand reduction to the estuary of the Douro this study do not intend to give answers that can come to solve, or to attenuate, problems that happen of the provoked impact, direct or indirectly, for the Man. Thus, this inquiry traces as objectives main: identification of the typology and chronology of the human actions beings on the river; evaluation of variations in the registers of flow throughout the time, in function of the carried through interventions; characterization of stretches of the river (geometry of the sediments and grains size) for quantification of sediment volumes in transport, for application of numerical models and evaluation of the variation of the solid volume in transport throughout the time for characterization of the relative importance of each type of intervention human being.

In a framing of territorial scope, this study it encloses the region of the hydrographical basin of the Douro river situated in Portuguese territory, having on-line of account border conditions, as the draining proceeding from the Spanish part of the basin.

Chapter 1 is an introduction to this study where if the motivation explains which that led to its concretion. Some references are presented on the thematic one to approach as well as the objectives to study.

In Chapter 2 a brief characterization becomes on the hydrographical basin of the river Douro, nominated on aspects of its physiographic, topography and biophysical.

In Chapter 3 typologies is identified to it and the chronology of the exerted human actions on the hydrographical basin of the Douro river and on its water lines, as well as its iteration in the transport sedimentary of Douro.

In Chapter 4 it is mentioned as the analysis on the behavior of each share was made human being. The methodology followed for the calculation of the volume solid and characterized a transversal section is described type.

In Chapter 5 it is proceeded the attempt to quantify the affluent solid volume to the estuary and is determined the referring dearth sedimentary to each impact in the perspective to attribute the effect of each share in the reduction of the affluent solid volume to the estuary of the Douro.

For last, in Chapter 6 the future conclusions of this study as well as some final considerations and ambitions are presented.

## ÍNDICE

<b>Índice.....</b>	<b>i</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>v</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Caracterização Sumária da Bacia do Rio Douro .....</b>	<b>3</b>
2.1. Fisiografia .....	3
2.2. Orografia .....	3
2.3. Caracterização Biofísica .....	4
2.3.1. Geologia e Hidrogeologia .....	4
2.3.2. Hidrografia e Hidrologia .....	4
2.3.3. Climatologia .....	6
2.3.4. Solos .....	6
2.3.5. Flora e Vegetação .....	8
2.4. Caracterização Sedimentológica .....	8
<b>3. Identificação da Tipologia e Cronologia das Acções Humanas Sobre o Rio .....</b>	<b>10</b>
3.1. Intervenções no Curso de Água .....	10
3.1.1. Barragens e Açudes .....	11
3.1.2. Dragagens .....	14
3.1.3. Extracção de Inertes .....	14
3.1.4. Protecção Fluvial e Canais Artificiais .....	15
3.2. Intervenções na Bacia Hidrográfica .....	16
3.2.1. Protecção das Encostas e Modificação das Técnicas Agrícolas .....	19
3.2.2. Uso do Solo .....	19
<b>4. Impactos no Transporte Sedimentar.....</b>	<b>20</b>
4.1. Caracterização dos Caudais na Secção da Régua .....	20
4.2. Caracterização da Secção de Referência .....	22
4.3. Variação no Registo de Caudais .....	26
4.3.1 Alteração do Uso do Solo .....	28
4.3.2. Abastecimento das Populações e Rega (Captações) .....	28
4.3.3. Regularização Fluvial .....	29
4.3.4. Caudal Sólido .....	33
4.4. Redução da Velocidade de Escoamento .....	34

---

4.4.1. Provocado pelas Albufeiras .....	34
4.4.2. Provocado pelas Dragagens .....	37
4.5. Sedimentos Disponíveis.....	41
<b>5. Quantificação do Transporte Sólido .....</b>	<b>42</b>
<b>6. Conclusões .....</b>	<b>43</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>45</b>
<b>Anexo I – Curvas de Caudal Sólido.....</b>	<b>I.Erro! Marcador não definido.</b>
<b>Anexo II – Cálculo do Caudal Sólido para Diferentes Características de Secção e Escoamento.....</b>	<b>II.Erro! Marcador não definido.</b>
<b>Anexo III – Volume Armazenado nas Albufeiras Situadas na Parte Portuguesa do Rio Douro. ....</b>	<b>III.Erro! Marcador não definido.</b>
<b>Anexo IV – Capacidade de Transporte na Albufeira de Carrapatelo.IV.</b>	<b>IV.Erro! Marcador não definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fisiografia da bacia do rio Douro e principais sub-bacias (INAG, 2001).....	3
Figura 2 - Escoamento anual médio na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro (INAG, 2001).....	5
Figura 3 - Precipitação anual média na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro (INAG, 2001).....	6
Figura 4 - Localização geográfica das estações de medição sedimentológicas na Bacia Hidrográfica do Douro (SNIRH, 2007). ....	9
Figura 5 - Cronologia de entrada em funcionamento das barragens situadas na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro (Barragens de Portugal, 2007). ....	13
Figura 6 - Distribuição geográfica das barragens no rio Douro (Barragens de Portugal, 2007). ....	13
Figura 7 – Exemplo de canal artificial (Canal de Castela, Espanha). ....	15
Figura 8 - Caudal sólido para diferentes inclinações da encosta em função do $d_{50}$ , com uma largura do canal igual a 50 m, com um $K_s$ de $20\text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e com o caudal médio.....	24
Figura 9 - Caudal sólido total em função da inclinação do talude das margens para diferentes valores de $d_{50}$ . ....	25
Figura 10 - Variação do caudal sólido em função da largura do canal. ....	26
Figura 11 - Secção tipo para a Régua. ....	26
Figura 12 - Hidrograma de cheia tipo para uma mesma secção.....	27
Figura 13 - Dispersão do volume armazenado nas albufeiras portuguesas do rio Douro. ....	29
Figura 14 - Caudais no rio Douro. ....	32
Figura 15 - Diferentes configurações de albufeiras com a mesma capacidade de armazenamento. ....	35
Figura 16 - Esquema tipo para a albufeira de Carrapatelo.....	36
Figura 17 - Secção tipo com dragagem.....	37
Figura 18 - Caudal sólido em função da profundidade dragada mantendo.....	39
Figura 19 – Distribuição relativa do impacto de diversos factores no transporte sólido do rio Douro. ....	42
Figura 20 - Curva de caudal sólido de Sarzedinho. ....	<b>I. Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 21 - Curva de caudal sólido de Quinta Castelo Borges. ....	<b>I. Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 22 - Curva de caudal sólido de Quinta Vale de Telhas.....	<b>I. Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 23 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a $10\,000\text{ dm}^3$ (I).III.	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 24 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a $10\,000\text{ dm}^3$ (II).III.	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 25 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a $10\,000\text{ dm}^3$ (III).III.	<b>Erro! Marcador não definido.</b>

---

Figura 26 – Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a 10 000 dm<sup>3</sup> (IV).III.**Erro! Marcador não definido.**

Figura 27 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento inferior a 10 000 dm<sup>3</sup> (I).III.**Erro! Marcador não definido.**

Figura 28 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento inferior a 10 000 dm<sup>3</sup> (II).III.**Erro! Marcador não definido.**



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Caudais de ponta de cheias históricas do rio Douro, na Régua (Dias da Silva e Oliveira, 2007).	5
Tabela 2 - Superfície ocupada pelas unidades pedológicas mais representativas (INAG, 2001).	7
Tabela 3 - Grupos de ocupação do solo e respectivas áreas, gerados a partir da legenda CORINE Land-Cover (INAG, 2001).	8
Tabela 4 - Eficiência de retenção (INAG, 2001).	11
Tabela 5 - Área que as classes de erosão real ocupam na bacia hidrográfica do rio Douro e respectiva produção de sedimentos (INAG, 2001).	17
Tabela 6 - Produção de sedimentos para a área total das sub-bacias (INAG, 2001).	18
Tabela 7 - Avaliação da situação de erosão ou assoreamento (INAG, 2001).	18
Tabela 8 - Estações hidrométricas no rio Douro (período e número de registo).	20
Tabela 9 - Frequência de caudais na Régua (registos de Janeiro de 1974 até Dezembro de 2007).	21
Tabela 10 - Frequência de caudais na Régua por períodos de tempos.	21
Tabela 11 - Tempo de enchimento das albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro.	30
Tabela 12 - Caudal sólido total na Régua para o caudal actual e natural para várias metodologias de cálculo.	33
Tabela 13 - Coeficiente de calibração do caudal sólido.	33
Tabela 14 - Caudal sólido total calibrado na Régua para o caudal actual e natural para várias metodologias de cálculo.	34
Tabela 15 - Caudal sólido total para diferentes granulometrias na albufeira de Carrapatelo.	36
Tabela 16 - Relação entre a extensão e a profundidade dragada para um volume extraído de 630 000 m <sup>3</sup> .	38
Tabela 17 - Impacto de uma dragagem de 630 000 m <sup>3</sup> /ano no equilíbrio sedimentar no rio Douro.	40
Tabela 18 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 15°, com o caudal médio de 383 m <sup>3</sup> /s.	II. Erro! Marcador não definido.
Tabela 19 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 30°, com o caudal médio de 383 m <sup>3</sup> /s.	II. Erro! Marcador não definido.
Tabela 20 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 45°, com o caudal médio de 383 m <sup>3</sup> /s.	II. Erro! Marcador não definido.
Tabela 21 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 60°, com o caudal médio de 383 m <sup>3</sup> /s.	II. Erro! Marcador não definido.
Tabela 22 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um d <sub>50</sub> =3.0 mm, pela metodologia de Ackers e White.	IV. Erro! Marcador não definido.
Tabela 23 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um d <sub>50</sub> =2.0 mm, pela metodologia de Ackers e White.	IV. Erro! Marcador não definido.
Tabela 24 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um d <sub>50</sub> =1.0 mm, pela metodologia de Ackers e White.	IV. Erro! Marcador não definido.

---

Tabela 25 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um $d_{50}=0.5$ mm, pela metodologia de Ackers e White. ....	IV. <b>Erro! Marcador não definido.</b>
Tabela 26 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um $d_{50}=3.0$ mm, pela metodologia de Van Rijn. ....	IV. <b>Erro! Marcador não definido.</b>
Tabela 27 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um $d_{50}=2.0$ mm, pela metodologia de Van Rijn. ....	IV. <b>Erro! Marcador não definido.</b>
Tabela 28 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um $d_{50}=1.0$ mm, pela metodologia de Van Rijn. ....	IV. <b>Erro! Marcador não definido.</b>
Tabela 29 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um $d_{50}=0.5$ mm, pela metodologia de Van Rijn. ....	IV. <b>Erro! Marcador não definido.</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Numa altura em que problemas como a erosão costeira estão na ordem do dia, é importante o debate sobre as causas responsáveis por este fenómeno. Uma das causas apontadas é o enfraquecimento das principais fontes aluvionares exteriores às zonas costeiras (aluviões arenosas dos rios) nas últimas dezenas de anos (Ramos, 1997). A reposição das fontes aluvionares a níveis comparáveis com os existentes antes das intervenções efectuadas pelo Homem na última centena de anos pode não ser possível (Ramos, 1997). Esta redução do volume sólido transportado pode dever-se a aspectos relacionados com os aproveitamentos hidráulicos, com a artificialização das bacias hidrográficas e das margens dos rios e a canalização dos cursos de água (Coelho, 2005).

Este assunto merece discussão já que não há um consenso entre a comunidade científica. Alguns autores alegam que a extracção de areias nos rios, quando efectuada fora das zonas estuarinas já pouco afecta o trânsito sedimentar costeiro, dada a existência de cortes nesse trânsito provocado pelas barragens e regularizações fluviais (Ramos, 1997). No entanto, há quem admita que a maior parte do transporte sólido deveria atingir a zona da foz, não sendo retido nas suas albufeiras. Isto, se não se tivesse em conta a retirada de inertes pela acção do Homem (INAG, 2001).

É difícil a quantificação dos efeitos de cada causa, devido à complexidade dos fenómenos envolvidos e à dificuldade de obter medições reais. A motivação deste estudo será dar um contributo para estabelecer o efeito das acções humanas no comportamento sedimentar do rio Douro, já que terá sido este o rio que mais capacidade de transporte de sedimentos terá perdido na costa Noroeste portuguesa (Coelho, 2005).

Segundo a Hidroelétrica Portuguesa (1997), citada em Coelho (2005), a carga sólida disponível no rio Douro é cerca de 750 000 m<sup>3</sup>/ano a 1 200 000 m<sup>3</sup>/ano de areia, sem se considerar os aproveitamentos hidroeléctricos existentes nas bacias, nem a extracção de areias ao longo do curso dos rios. O fornecimento de sedimentos às áreas litorais diminuiu drasticamente nos últimos 30 anos, como indicam os valores de 1.5 a 2 milhões m<sup>3</sup>/ano de sedimentos transportados pelo Douro até à foz, em regime natural e o valor actual, inferior a 250 000 m<sup>3</sup>/ano (Bettencourt, 1997).

Como fica evidente pela análise de apenas estas duas referências, a discrepância entre os valores apontados para o fornecimento de sedimentos é significativa, realçando as dificuldades na sua quantificação.

Além disso, pretende-se estudar medidas que possam atenuar esses mesmos efeitos mas, para que tais sejam eficientes devem ter por base estudos que facultem uma visão global do ciclo sedimentar de alimentação da costa e das interferências a que está sujeito. Esses estudos deverão contemplar a análise da situação actual e duma situação menos artificializada, existente nas primeiras décadas do Século XX, procurando caracterizar e quantificar os seguintes aspectos: intensidade das fontes de geração de areias (produção de sedimentos); caudais sólidos de transporte ao longo dos rios; volumes de extracção de areias nos rios e estuários; volumes de retenção em albufeiras, nos trechos de jusante dos estuários e das lagunas (Vicente e Pereira, 1997).

Para se perceber o porque da diminuição sedimentar de um rio, é importante compreender como funciona o seu transporte sólido e como é que cada impacto causado pelo Homem interfere nesse sistema sedimentar. Para tal, é necessário conhecer as características fundamentais da bacia hidrográfica do rio, como a sua fisiografia, a sua orografia, a sua biofísica e a sua caracterização sedimentológica.

---

Neste estudo após uma breve caracterização da bacia hidrográfica do rio Douro, foram identificadas as tipologias das acções humanas referindo a sua interacção com o transporte sólido.

Seguiu-se uma descrição e respectiva análise dos impactos causados por estas acções antropogénicas como a diminuição do caudal líquido, a diminuição da velocidade de escoamento e a diminuição da carga sólida disponível, para posteriormente calcular a capacidade de transporte do curso principal do rio Douro através de metodologias propostas por alguns autores na tentativa de quantificar o volume sólido transportado até a foz.

## 2. CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA DA BACIA DO RIO DOURO

### 2.1. Fisiografia

A bacia hidrográfica do rio Douro está localizada entre os 40°20' e 43°15' de latitude Norte e os 1°43' e 8°40' de longitude Oeste, cortando longitudinalmente a Península Ibérica com uma orientação dominante Este-Oeste (Caramelo, 1997). Neste estudo focar-se-á a parte portuguesa da bacia, sendo esta confrontada a Noroeste pela faixa litoral que se desenvolve a Sul do rio Leça, onde se insere o rio Onda, a Norte pelas bacias hidrográficas dos rios Leça, Ave e Cávado, a Este pela parte espanhola da bacia do Douro, a Sul pelas bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Tejo e a Oeste pelo Oceano Atlântico (INAG, 2001).

A área total da Bacia Hidrográfica do Rio Douro é de 97 603 Km<sup>2</sup>, dos quais 18 643 Km<sup>2</sup> correspondem à parte portuguesa da bacia (19.1% do total) e os restantes 78 960 Km<sup>2</sup> à parte espanhola da bacia. A parte portuguesa da Bacia é constituída por 16 bacias principais (Figura 1), correspondente aos afluentes mais importantes do rio Douro, abrangendo a jurisdição de 69 concelhos (INAG, 2001).

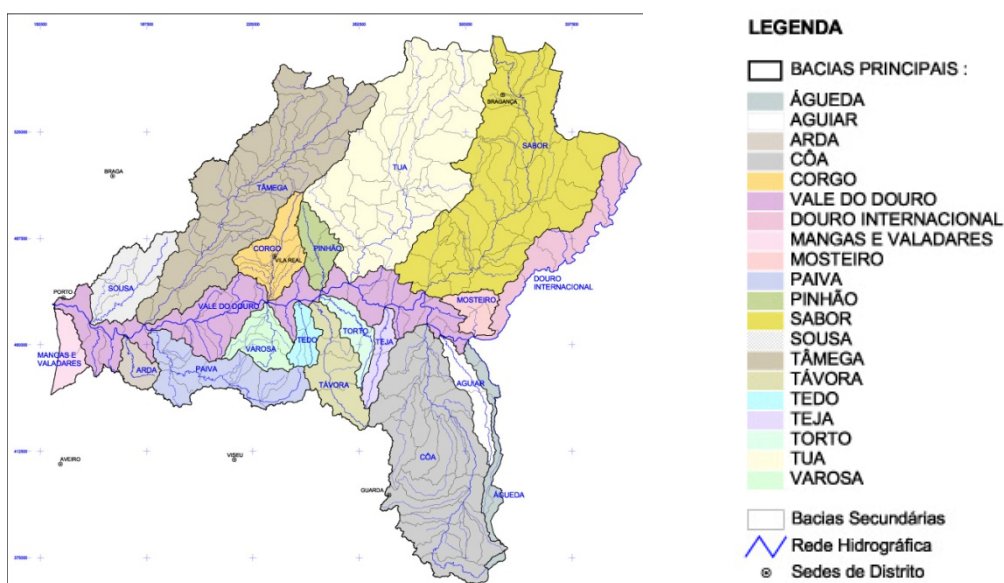


Figura 1 - Fisiografia da bacia do rio Douro e principais sub-bacias (INAG, 2001).

### 2.2. Orografia

A bacia hidrográfica do rio Douro é limitada a Noroeste por elevações, salientando-se a Serra das Alturas que a separa da Bacia do Ave; a Norte pela Cordilheira Cantábrica onde a Serra de Sanabria desempenha um papel importante; a Leste pelo Sistema Ibérico; a Sul e a Sudeste pelo Sistema Central. A Sul, a Bacia confina com as Serras da Freita, de Arada e da Malcata, que as separa das Bacias dos Rios Vouga, Mondego e Tejo.

---

As serras de Entre Douro e Minho, Freita, Arada e Estrela constituem uma barreira às massas de ar marítimo protegendo a Bacia do Rio Douro da acção directa destas (Caramelo, 1997).

## **2.3. Caracterização Biofísica**

### **2.3.1. Geologia e Hidrogeologia**

Quanto à geologia da parte portuguesa da bacia, ela é constituída, predominantemente, por Unidades Granitóides e Unidades Metassedimentares muito deformadas, sendo os materiais detríticos pouco representativos (INAG, 2001).

Cerca de 95% da área da bacia corresponde quase exclusivamente a rochas com permeabilidade de fendas onde ocorrem aquíferos descontínuos, sendo os restantes 5% a rochas porosas com comportamento variado (INAG, 2001). As taxas de infiltração são estimadas em 10% da precipitação.

### **2.3.2. Hidrografia e Hidrologia**

Os leitos das linhas de água têm geralmente fundo rochoso, ocorrendo frequentemente marmitas de gigante (em especial nos granitos) e ressaltos no perfil longitudinal, sobretudo quando são atravessados filões quartzíticos.

O vale do Douro é meandrante em toda a sua extensão e bastante encaixado até próximo da foz. Largos meandros de pequena curvatura conferem ao percurso um elevado índice de sinuosidade. As margens são mais baixas e menos inclinadas até chegarem às paredes abruptas que constituem as margens vestibulares do estuário. O Douro desagua num estuário de tipo vestibular, em forma de funil, simples, com apenas um depósito de lodos junto à margem esquerda. Na entrada da barra do estuário formou-se um banco de areia que também se movimenta consoante a resultante energética das correntes marinhas e fluviais.

Os escoamentos no curso principal do rio Douro em território português dependem, também e sobretudo, do que ocorre na parte espanhola da bacia, cujas diferenças de regime podem ser explicadas por dois tipos de factores: as disponibilidades de água do curso internacional e a utilização da água que, desde há muito tempo, tem vindo a ser efectuada em território espanhol e que tem alterado esse regime, de forma variável, ao longo dos anos (INAG, 2001).

O escoamento anual médio de toda a bacia do rio Douro actualmente é de  $17\,100\text{ hm}^3$ , o que equivale a cerca de  $540\text{ m}^3/\text{s}$  na foz. Estes valores seriam mais elevados em situação pristina (situação natural sem influência humana), atingindo assim os  $20\,600\text{ hm}^3$ , equivalentes a  $650\text{ m}^3/\text{s}$ . Ou seja, as perdas atingem cerca de  $3\,500\text{ hm}^3$  por ano (INAG, 2001). É de referir que em ano seco as afluências totais reduzir-se-iam para  $10\,600\text{ hm}^3$  e para  $12\,700\text{ hm}^3$ , na situação actual e na situação natural respectivamente.

O escoamento não é uniforme na bacia. Na Figura 2 ilustra-se quais os afluentes principais do rio Douro que mais contribuem para o caudal líquido médio anual.

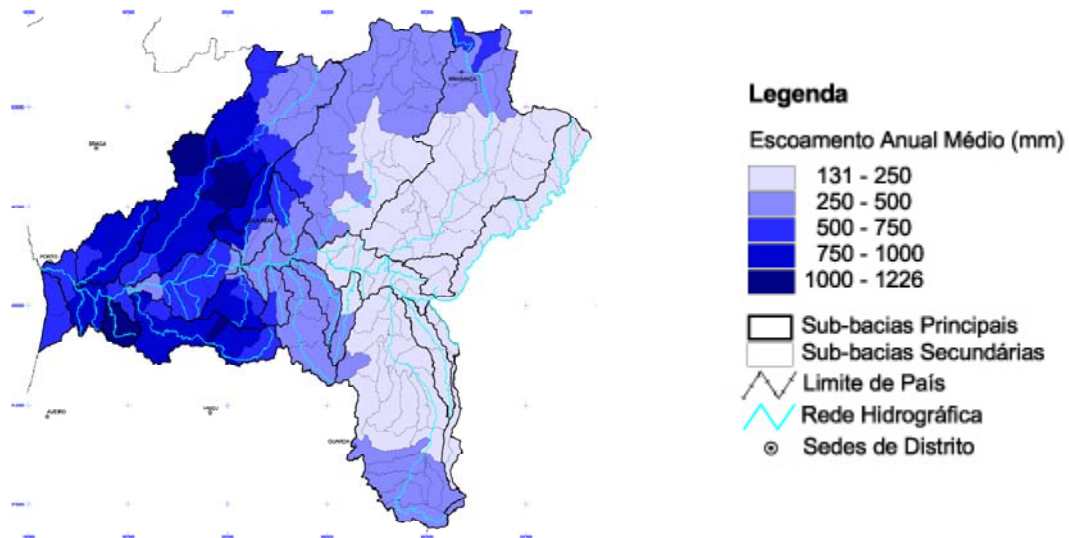


Figura 2 - Escoamento anual médio na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro (INAG, 2001).

As frentes húmidas associadas a núcleos de baixa pressão que se formam no Oceano Atlântico e que se deslocam para Leste sobre a Península Ibérica provocam, com frequência, prolongados períodos de precipitação nas bacias hidrográficas que desaguam no litoral português, ocasionando, por vezes, grandes cheias. Outros fenómenos meteorológicos, de origem convectiva, produzem precipitações muito intensas em períodos curtos (designadas frequentemente pelos meios de comunicação social como "trombas de água"), o que, além de ocasionar danos nas zonas directamente afectadas, pode provocar cheias repentinas, principalmente se ocorrem em pequenas bacias hidrográficas (Dias, 2007).

O termo "cheia" não têm um significado único. Este é variável no espaço e do ponto de vista de cada pessoa. De ponto de vista físico, define-se cheia como sendo o fenómeno temporário que corresponde à ocorrência de caudais elevados num curso de água, com a consequente submersão dos terrenos marginais a este. Segundo a U. S. Corps of Engineers, cheia é uma inundação temporária dos terrenos que, não sendo normalmente cobertos por água, são utilizados ou utilizáveis pelo Homem (INAG, 2001).

Tabela 1 - Caudais de ponta de cheias históricas do rio Douro, na Régua (Dias da Silva e Oliveira, 2007).

Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1727	14 000	1855	12 500	1962	15 700
1739	18 000	1860	15 100	1966	12 500
1788	15 500	1877	13 500	1978	11 600
1823	15 600	1888	11 800	1979	11 000
1843	13 000	1909	16 700	1989	11 800
1850	13 900	1910	13 700		

---

No rio Douro e nos principais afluentes ocorrem frequentemente cheias significativas quer em termos do valor do caudal máximo atingido, quer quanto à subida de nível da superfície livre da água (Dias da Silva e Oliveira, 2007), afectando essencialmente a foz (Rodrigues et al., 2003).

Na Tabela 1 apresenta-se a cronologia das cheias mais importantes registadas no rio Douro, na secção da Régua. Desta pode retirar-se que o caudal de ponta de cheias históricas na secção da Régua têm sempre valor superior aos 10 000 m<sup>3</sup>/s apontando para um máximo registado de 18 000 m<sup>3</sup>/s em 1739.

### 2.3.3. Climatologia

Na área da bacia podem considerar-se dois conjuntos climáticos com características bem distintas: por um lado, o sector Oeste, formado aproximadamente pelas sub-bacias do Sousa, do Tâmega e do Paiva, que se pode estender até à sub-bacia do Távora, e que inclui ainda toda a faixa litoral da bacia, o qual tende a reflectir de forma mais aproximada as condições associadas aos climas marítimos; por outro lado, toda a restante área, situada para Leste, na qual se destacam as sub-bacias do Tua, do Sabor e do Côa, que se aproxima mais das condições associadas aos climas continentais (INAG, 2001).

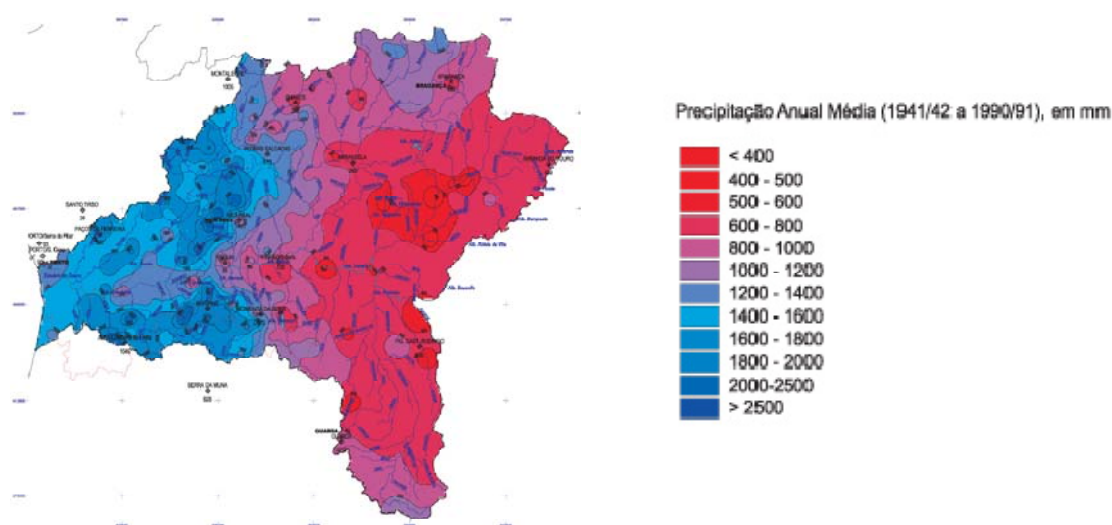


Figura 3 - Precipitação anual média na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro (INAG, 2001).

A precipitação anual média varia entre o valor máximo de 2 500 mm e um valor mínimo de 400 mm. O valor da precipitação anual média na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro é de cerca 1 030 mm (Figura 3).

### 2.3.4. Solos

Grande parte dos solos da bacia hidrográfica formaram-se a partir de materiais resultantes da alteração e desagregação do substrato rochoso subjacente, por acção dos agentes de meteorização, de intensidade



variável em função do clima, do relevo e da vegetação, dando origem a materiais soltos com granulometria e espessura variadas.

As rochas consolidadas mais representativas são, por ordem decrescente de representação, os granitos, os xistos, os granodioritos e diversas rochas afins destas (INAG, 2001).

Quanto à ocupação do solo na bacia, o projecto CORINE – Land Cover (1985), elaborou uma carta de ocupação do solo, a escala 1:100 000. Esta carta foi criada tendo como base a classificação da imagem satélite (Landsat TM), utilizando imagens datadas de 1985, 1986 e 1987. A carta de ocupação do solo à escala 1:25 000 foi produzida mais recentemente tendo como base a interpretação estereoscópica das fotografias aéreas de falsa cor do voo ACEL de 1990 e posterior restituição, por processos analíticos ou fotorestituição por processos digitais (Pimenta, 1998).

Tabela 2 - Superfície ocupada pelas unidades pedológicas mais representativas (INAG, 2001).

<b>Unidades Pedológicas</b>	<b>Superfície Ocupada (x10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Leptossolos	984 980	52.96
Fluvisolos	14 443	0.78
Cambissolos	484 513	26.05
Alissolos	15 728	0.85
Luvissolos	36 983	1.99
Regossolos	123 209	6.62
Antrossolos	197 794	10.63
Arenossolos	181	0.01
Rankers	2 084	0.11
<b>Total</b>	<b>1 859 915</b>	<b>100.00</b>

As zonas artificializadas (áreas permeáveis) correspondem a apenas 1% da área, embora distribuída desigualmente por toda a bacia.

Importa definir as unidades pedológicas predominantes, como indicado na Tabela 2: os Leptossolos (52.96%) apresentam maior susceptibilidade para a erosão hídrica, assim como menor capacidade de armazenamento e de retenção de água e maior capacidade de gerar escoamento. Isto acontece devido à sua granulometria, à sua baixa espessura útil, ao seu baixo teor de matéria orgânica e à estrutura e à permeabilidade do perfil. Opostamente, os Antrossolos (10.63%) apresentam uma susceptibilidade para a erosão hídrica reduzida, maior capacidade de armazenamento e de retenção de água e menor capacidade de gerar escoamento (INAG, 2001).

### 2.3.5. Flora e Vegetação

No passado, a vegetação da região terá sido dominada por bosques de sobreiro e de azinheira, os quais, devido à actividade humana – pastoreio, fogo e desbaste de árvores – e à inexistência de regeneração natural, têm vindo a desaparecer e a regredir, conduzindo os referidos ecossistemas a formações do tipo mato. A vegetação característica da bacia é, agora, composta por matas de carvalho, castanheiros e sardoais alternando com lameiros – prados de composição florística variada e matorrais densos (INAG, 2001).

Da Tabela 3 pode-se concluir que 30% da área corresponde a zonas agrícolas heterogéneas, e é de notar que uma grande parte da bacia (22%) é de matos e floresta degradada, assim como zonas com pouca vegetação (3%), antevendo uma maior erosão hídrica (INAG, 2001). Logo, grande parte da área da bacia do Douro está susceptível à erosão dos solos.

Tabela 3 - Grupos de ocupação do solo e respectivas áreas, gerados a partir da legenda CORINE Land-Cover (INAG, 2001).

Grupos	Área (x10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	%
Áreas artificializadas	18 716	1
Culturas anuais	214 768	11
Vinhas, pomares e olivais	160 999	9
Pastagens	149 532	8
Zonas agrícolas heterogéneas	561 123	30
Floresta de folha caduca	45 093	2
Floresta de folha persistente	246 149	13
Matos e floresta degradada	423 730	22
Zonas com pouca vegetação	57 769	3
Meios aquáticos	7 502	0
<b>Total</b>	<b>1 885 381</b>	<b>100</b>

### 2.4. Caracterização Sedimentológica

Na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro existem 12 estações sedimentológicas (SNIRH, 2007) com dados de caudal líquido a que corresponde um caudal sólido em suspensão, concentração média de superfície, concentração média do perfil e diâmetros do material de fundo ( $d_5$ ,  $d_{20}$ ,  $d_{50}$  e  $d_{90}$ ), baseados nas campanhas de medição efectuadas nas décadas de 80 e 90 do Século XX. Estas redes sedimentológicas estão desactivadas desde 1993/94.

Com base nos dados das estações sedimentológicas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) foi possível estabelecer para algumas estações uma relação entre o caudal líquido e o

caudal sólido em suspensão, denominada curva de caudal sólido em suspensão, como se mostra no Anexo I.

Dessas mesmas estações caracterizou-se a granulometria, através do  $d_{50}$ , dos sedimentos oriundos da bacia hidrográfica do rio Douro, concluindo que estes têm uma dimensão grosseira na ordem dos 2.50 mm.

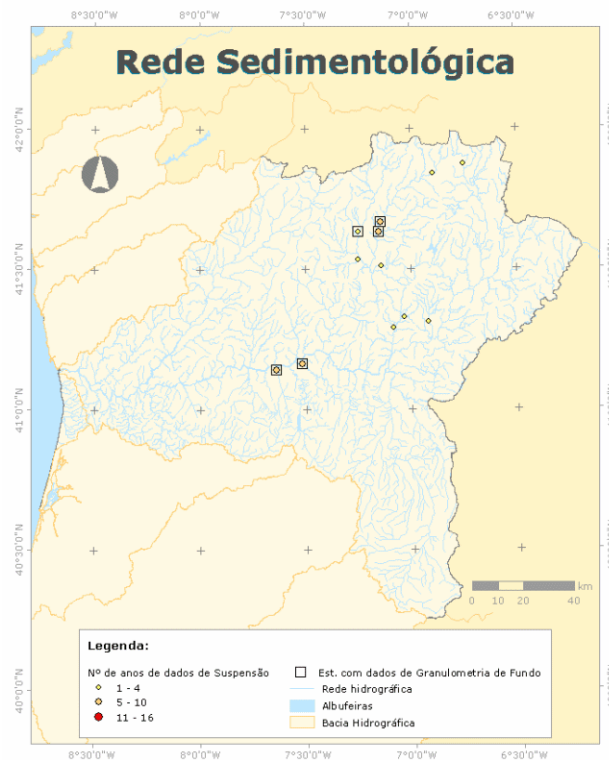


Figura 4 - Localização geográfica das estações de medição sedimentológicas na Bacia Hidrográfica do Douro (SNIRH, 2007).

A Figura 4 mostra a localização geográfica das estações de medição com dados sedimentológicos. Pode observar-se que as estações estão localizadas em linhas de água secundárias e não existe nenhuma no curso principal do rio Douro, pelo que o caudal líquido é muito pequeno quando comparado com os valores médios de caudal do curso principal, não sendo por tal, possível comparar ou extrapolar valores de caudal sólido, ou concentração de superfície, para secções do curso principal já que as condições são muito diferentes. Por isso, neste estudo não se utilizaram os valores disponíveis de concentração nem as relações de caudal sólido com caudal líquido para a calibração dos modelos, pois após terem sido construídas as curvas já referidas no Anexo I foi verificada a sua inadequabilidade para esta análise.

---

### **3. IDENTIFICAÇÃO DA TIPOLOGIA E CRONOLOGIA DAS ACÇÕES HUMANAS SOBRE O RIO**

As intervenções do Homem no rio Douro, capazes de influenciar o comportamento sedimentar podem ser classificadas de dois tipos: intervenções no curso de água e intervenções na bacia hidrográfica. As intervenções no curso de água têm um impacto directo nos volumes sólidos em transporte, enquanto as intervenções na bacia hidrográfica têm impacto na produção de sedimentos.

Entre as intervenções no curso de água podem ser referidas:

1. Construção de barragens e açudes para aproveitamento hidroeléctrico, para captação de água para consumo, rega e lazer.
2. Dragagens do leito para permitir a navegabilidade.
3. Extracção de inertes para a construção civil.
4. Construção de obras de protecção fluvial.

Relativamente às intervenções na bacia hidrográfica indicam-se:

1. Protecção das encostas e modificação das técnicas agrícolas.
2. Uso do solo.

De seguida procedeu-se a uma discriminação mais completa de cada uma destas intervenções e dos seus impactos.

#### **3.1. Intervenções no Curso de Água**

As intervenções no curso de água interferem nos caudais líquidos afectando essencialmente a capacidade de transporte e consequentemente os caudais sólidos em transporte.

A caracterização do transporte sólido e dos riscos de erosão e assoreamento pode ser efectuada em três zonas de estudo: o estuário, o curso principal do rio Douro e os afluentes principais deste.

No estuário verifica-se que a linha de talvegue apresenta em planta um percurso sinuoso que, apesar de ter variado ao longo dos anos, se mantém segundo o mesmo traçado. Em perfil longitudinal, o actual talvegue encontra-se cerca de 2 m abaixo do que existia à 35 anos, mas com um andamento semelhante (INAG, 2001).

No Verão o escoamento é quase na sua totalidade influenciado pelas correntes de maré. O caudal sólido arrastado pela vazante no canal da embocadura corresponde ao somatório do que afluí de montante e do que, por efeito de recirculação, volta ao canal depois de ter atingido o Cabedelo. Só durante o período de cheias é que as correntes causadas pelo escoamento fluvial são significativas em termos de transporte sólido e provocam assoreamentos e erosões locais. Os sedimentos na zona do estuário são essencialmente areia grossa e seixo fino (INAG, 2001).

Quanto ao curso principal do rio Douro, nos extremos a montante das albufeiras nos troços do canal de navegação verificam-se problemas de assoreamento, causados pela diminuição da velocidade de

escoamento e reduzida eficiência de retenção das albufeiras. Situação que é agravada junto às confluência dos cursos de água afluentes (INAG, 2001).

Quanto aos afluentes principais do rio Douro, na sua secção final o volume anual de sedimentos afluentes correspondente à capacidade de transporte dos cursos de água é inferior à produção de sedimentos das sub-bacias hidrográficas. Deste modo, estes troços encontram-se em estado de assoreamento (INAG, 2001).

O Homem tem aproveitado os cursos de água para fins económicos, construindo barragens para aproveitamento hidroeléctrico, para captações de água para o abastecimento das populações, para a rega e para a indústria ou mesmo tendo como finalidade amortecer a ponta de cheia para protecção dos locais a jusante desta. Também dos leitos são retirados inertes, tanto para a utilização na construção civil, como para dragagens para a navegação do próprio rio.

### **3.1.1. Barragens e Açudes**

A construção de barragens pode induzir efeitos de dois tipos. O mais óbvio é a retenção aluvionar nas albufeiras e o outro respeita à alteração do regime hidrológico (Oliveira, 1997).

O volume de sedimentos retidos numa albufeira é de difícil quantificação visto os sedimentos estarem distribuídos numa área extensa, desde a barragem até ao local onde se faz sentir a influência do regolfo, correspondente a uma diminuição da velocidade de escoamento e consequente diminuição da capacidade de transporte. Além disso não há dados de medições regulares de volumes sólidos transportados. O Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) do Rio Douro refere o cálculo da quantidade de sedimentos depositados numa albufeira recorrendo à noção de eficiência de retenção, ou seja, à razão entre a quantidade de sedimentos depositada na albufeira e a quantidade de sedimentos afluentes à mesma (INAG, 2001).

Tabela 4 - Eficiência de retenção (INAG, 2001).

Albufeira	Afluência anual (hm <sup>3</sup> )	Capacidade total (hm <sup>3</sup> )	Capacidade útil (hm <sup>3</sup> )	Eficiência de retenção	
				Capacidade total	Capacidade útil
Crestuma-Lever	16 681	110.0	22.5	35%	0%
Carrapatelo	13 362	148.4	13.8	47%	0%
Régua	12 356	95.0	12.0	38%	0%
Valeira	10 436	97.0	11.5	44%	0%
Pocinho	9 360	83.1	12.2	41%	0%

Na Tabela 4 apresentam-se as eficiências de retenção das albufeiras do rio Douro até Barca de Alva, para quantificar os sedimentos depositados nessas albufeiras. Para o cálculo da eficiência de retenção o INAG utilizou as curvas de eficiência de Brune, as quais exprimem a relação entre o quociente entre a capacidade da albufeira e a fluência anual e a percentagem de sedimentos retidos. Tendo por base as

---

capacidades totais das referidas albufeiras, as respectivas eficiências de retenção apresentam valores entre 35% e 47%, no entanto, se se considerar apenas as capacidades úteis, em todas elas a eficiência de retenção é aproximadamente nula (INAG, 2001).

Na realidade, os sedimentos acumulados numa albufeira não se encontram todos juntos, tendendo a respectiva deposição a ser função das dimensões do material. Tipicamente, as partículas maiores em suspensão e a maior parte das transportadas por arrastamento formam um *delta* logo à entrada da albufeira, ao passo que as partículas menores permanecem em suspensão durante mais tempo, e depositam-se mais a jusante. As partículas de muito pequena dimensão podem mesmo ser levadas pelas águas descarregadas para jusante e, conseqüentemente, transporem a barragem (Lencastre e Franco, 1992).

A alteração do regime hidrológico através da regularização de caudais pode resultar na redução da capacidade de transporte, em consequência da relação entre caudais sólido e líquido (Oliveira, 1997). Esta relação entre caudais líquidos e caudais sólidos não é linear e é de difícil análise.

O regime hidrológico do rio poderá não se alterar significativamente se o aproveitamento for a fio de água, ou seja, quando o reservatório criado pela barragem tiver uma duração de enchimento, com o caudal médio anual, inferior a 100 h. Este tipo de aproveitamento localiza-se normalmente em cursos de água de declive pouco acentuado em que os caudais disponíveis são elevados. Se o reservatório criado pela barragem tiver uma duração de enchimento, com o caudal médio anual, superior a 100 h é entendido que se cria uma albufeira e há um maior impacto na alteração do regime hidrológico do rio (Faria, 2003).

Os aproveitamentos existentes no curso principal do rio Douro foram na sua quase totalidade construídos tendo como finalidade principal a produção hidroelétrica, não possuindo praticamente qualquer capacidade de regularização de caudais e muito menos de cheia (INAG, 2001).

Para análise do impacto destas obras, importa conhecer a sua localização espacial e cronológica. Na Figura 5 mostra-se a cronologia de entrada em funcionamento de cada barragem e na Figura 6 a sua distribuição geográfica.

Pode-se observar que nas últimas Décadas do Século XX houve um crescimento acentuado na construção de barragens na parte portuguesa do rio Douro.

Na parte portuguesa da bacia do Douro existem actualmente 46 aproveitamentos hidráulicos, sendo que 11 correspondem a aproveitamentos hidroelétricos de grande dimensão (potência instalada superior a 10 MVA) em exploração (INAG, 2001). Existem 13 barragens com capacidade total superior a 10 000 hm<sup>3</sup>.

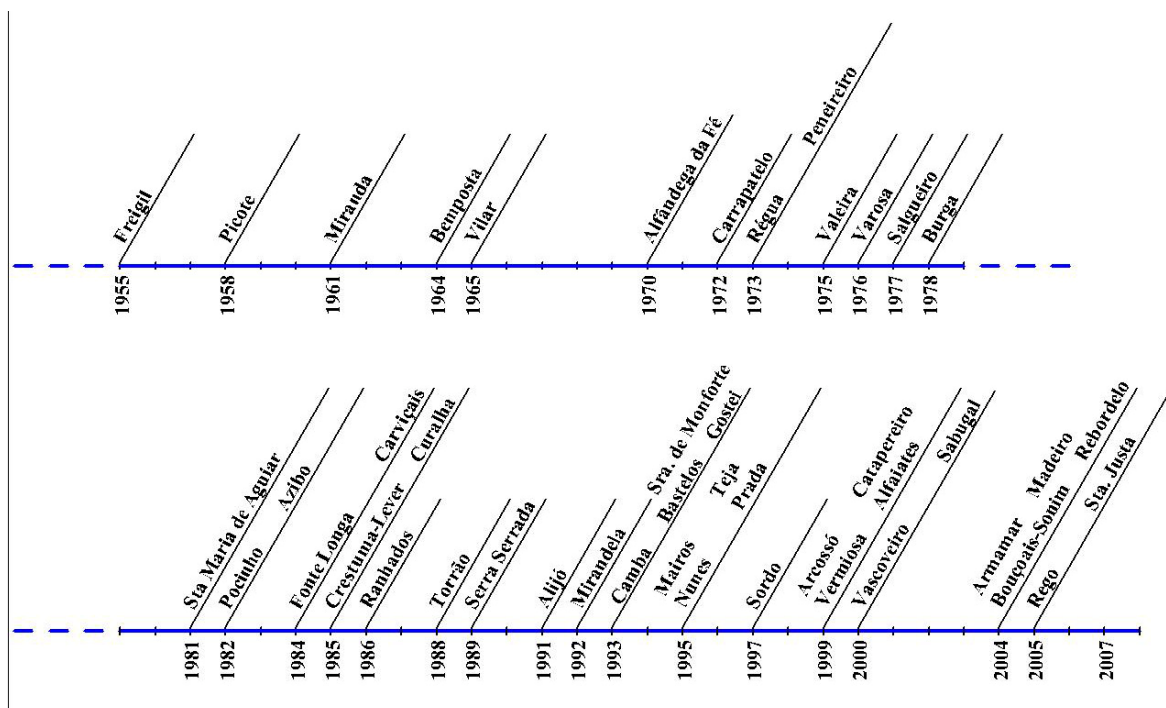


Figura 5 - Cronologia de entrada em funcionamento das barragens situadas na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro (Barragens de Portugal, 2007).



Figura 6 - Distribuição geográfica das barragens no rio Douro (Barragens de Portugal, 2007).

---

### 3.1.2. Dragagens

A barra do rio Douro sempre proporcionou condições extremamente desfavoráveis de navegação, tendo-se deteriorado nos últimos anos, obrigando a uma intensificação das dragagens para manter a situação (muitas vezes precária) de barra a navios de maior porte (INAG, 2001).

As dragagens necessárias para garantir a navegação são realizadas pelo Instituto de Navegabilidade do Douro (IND), identificando duas partes: a primeira situa-se desde a Barra do Douro até 200 m a montante da Ponte D. Luís, sob jurisdição da Administração dos Portos do Douro e Leixões (APDL); a outra situa-se entre os 200 m a montante da Ponte D. Luís e Barca de Alva.

As dragagens são feitas por quatro extracções licenciadas. O Plano de Bacia Hidrográfica do Douro (INAG, 2001) indica valores de volume médio extraído da ordem dos 630 000 m<sup>3</sup>/ano. Este volume representa cerca de 32% do volume sedimentar afluente à foz anualmente, admitindo que o volume sólido transportado anualmente em situação natural é de 2 000 000 m<sup>3</sup>/ano.

As dragagens contínuas que se processam no estuário, por si só, sem medidas de conservação, terão a prazo um efeito desfavorável, pois aumentando o seu volume conduzirão necessariamente a uma maior penetração da massa de água salgada para montante e consequentemente a uma maior taxa de sedimentação no seu interior (INAG, 2001).

### 3.1.3. Extracção de Inertes

Entende-se como extracção de inertes a retirada de volume de areias de um rio (seja no seu leito ou margens) com o propósito inicial de comercialização dessas areias, como por exemplo para a construção civil, distinguindo-se de dragagens visto esta entendem-se que tem como por objectivo primeiro permitir a navegabilidade de um trecho do rio.

Nos leitos dos rios, com excepção do troço do rio Douro sob jurisdição do IND, não existem extracções de areias licenciadas, estando permitida a actividade nas margens e zonas adjacentes. As entidades responsáveis pelo licenciamento são as Delegações Regionais da Economia do Norte e do Centro, estando para o efeito licenciadas 304 explorações. As massas minerais exploradas são o granito, xisto, areia, gabro, argila, lousa, saibro, peridotito, serpentinito e calcário (INAG, 2001).

Quanto a volumes extraídos existe pouca informação, indicando-se, no entanto algumas referências:

- Volumes extraídos no 4º trimestre de 1971 na ordem de 33 700 m<sup>3</sup>. Em 1973 extraíram-se 225 000 m<sup>3</sup> e até Novembro de 1974 tinham-se extraído 64 000 m<sup>3</sup> de areia só no Cabedelo (INAG, 2001).
- Segundo dados da Hidrotécnica Portuguesa, em 1981, a cessação da actividade de extracção de inertes permitiria um aumento dos volumes sólidos na ordem dos 250 000 m<sup>3</sup>/ano.
- O volume de areia recolhido ao longo do rio destinado à construção civil andaria muito perto dos 250 000 m<sup>3</sup>, segundo dados da Hidrotécnica Portuguesa, em 1975.



Visto não haver um rigor, ou mesmo dados sobre volumes extraídos, Ramos (1997) indica uma metodologia baseada no consumo nacional de cimento para produção de betão e argamassas. Considerando este consumo de 7 milhões de toneladas por ano (75% consumido nos distritos litorais) e que cada tonelada de cimento consumirá, entre 1 a 2 metros cúbicos de areia, fácil será concluir que o consumo anual de areias se situará perto dos 10 milhões de metros cúbicos. Desta última referência fica a dificuldade de saber qual a percentagem de areias correspondente ao rio Douro.

### 3.1.4. Protecção Fluvial e Canais Artificiais

Como obras de protecção fluvial entendem-se as estruturas construídas com a finalidade de regularização fluvial e protecção das margens. Este tipo de obras tem a finalidade de assegurar o escoamento eficiente e seguro das cheias, garantir o transporte de sedimentos para jusante, proporcionar a concentração do escoamento numa secção bem definida de um trecho de rio entrançado, estabilizar secções do escoamento de forma a minimizar a erosão e o assoreamento do leito, e garantir a navegabilidade do leito (Coelho, 2006).

Podem ser identificadas como estruturas de protecção fluvial os esporões, os diques longitudinais, as soleiras transversais, os painéis de fundo e as de protecção do fundo e das margens.



a) Localização geográfica (CHDuero, 2008)



b) Canal de Castela (Foto de 07/07/2007 (Rodrigo, 2007)).

Figura 7 – Exemplo de canal artificial (Canal de Castela, Espanha).

Pode ser entendido como canal artificial, na hidráulica, uma vala artificial, que pode ou não ser revestida de material que lhe dê sustentação e que se destina à passagem da água. Na bacia hidrográfica do rio Douro encontra-se uma das mais importantes obras de engenharia hidráulica realizadas entre os Século VIII e Século XIX, o Canal de Castilla (Figura 7). Foi construído com a finalidade de facilitar o

---

transporte de trigo de Castela para os portos do Norte da Península Ibérica. O canal tem um comprimento de 207 km e tem a forma de um Y invertido, em planta.

Estas obras de engenharia podem alterar o transporte sólido na medida que constituem uma barreira física aos sedimentos em transporte, principalmente nas obras de protecção fluvial, ou alteram o regime hidrológico do rio, exemplo dos canais artificiais. Também provocam modificações nos solos adjacentes, como o revestimento das margens, que afectará a capacidade de transporte sólido.

### 3.2. Intervenções na Bacia Hidrográfica

A quantificação do volume de sedimentos produzidos numa bacia hidrográfica baseia-se no cálculo da erosão hídrica. O processo de erosão resulta de uma combinação de factores que são dependentes e estão interligados entre si, apresentando uma grande variabilidade temporal e espacial, o que torna este fenómeno difícil de equacionar e quantificar (Álvares e Pimenta, 1998).

A metodologia, descrita por Álvares e Pimenta (1998) baseia-se na modelação da erosão hídrica a partir de modelos empíricos, nomeadamente a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), de Wischmeier. Esta agrupa variáveis que influenciam a erosão em seis factores genéricos, relacionando-se da forma:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que  $A$  traduz a perda de solo média ou erosão específica,  $R$  o factor de erosividade da precipitação,  $K$  o factor de erodibilidade do solo,  $LS$  o factor fisiográfico, que compreende o comprimento da encosta –  $L$ , e o declive –  $S$ ,  $C$  o factor relativo à cobertura vegetal e  $P$  o factor de prática agrícola ou de medidas de controlo de erosão.

Este modelo de Wischmeier é efectuado através da aplicação do Sistema de Informação Geográfico (SIG), sendo possível obter a erosão hídrica para cada unidade cartográfica da bacia em estudo, com uma discretização de 25 metros no terreno, como descrito por Pimenta (1995). A cada factor da EUPS corresponde uma carta temática:  $R$  resulta de uma carta de isoerodentes,  $K$  resulta da actualização da informação das cartas complementares de solos, à escala 1:25 000,  $C$  das cartas de uso de solo, também à mesma escala do anterior,  $S$  e  $L$  são obtidos a partir das cartas altimétricas das bacias hidrográficas resultando de operações de análise espacial realizadas em SIG sobre o Modelo Digital do Terreno. Para o factor  $P$  pode-se recorrer a cartas sobre planos agrícolas ou de florestação. Pimenta (1995) refere que pode ser tomado o valor relativo à unidade para toda a bacia quando as práticas de conservação do solo sejam inexistentes.

Toda esta informação é sobreposta, obtendo uma carta de erosão específica distribuída espacialmente e em termos médios para a bacia hidrográfica.

Mas, a EUPS não prevê a deposição das partículas do solo, sendo então necessário determinar a produção de sedimentos para tornar possível a sua comparação com valores medidos em estações da rede sedimentológica.

Para a estimativa da produção de sedimentos de bacias hidrográficas ou de encostas complexas pode-se recorrer a uma metodologia que consiste na aplicação de um coeficiente de produção de sedimentos à

erosão específica calculada anteriormente. Este coeficiente estima-se a partir da área da bacia, do quociente entre o comprimento da bacia e a respectiva altura e da razão de bifurcação, segundo uma das equações derivadas por Roehl, em 1962, como refere Pimenta (1995).

$$\log_{10}(\text{CPS}) = 1.913 - 0.39 \log_{10}(3.861 A_b) \quad (2)$$

$$\log_{10}(\text{CPS}) = 4.501 - 0.230 \log_{10}(3.861 A_b) - 0.501 \log_{10}(L_b/H_b) - 2.786 \log_{10}(R_b) \quad (3)$$

Sendo, *CPS* o coeficiente de produção de sedimentos, em percentagem, *A<sub>b</sub>* a área da bacia, em km<sup>2</sup>, *L<sub>b</sub>/H<sub>b</sub>* o quociente entre o comprimento da bacia e a respectiva altura, e *R<sub>b</sub>* a razão de bifurcação.

A produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica pode assim ser obtida pela equação:

$$PS = \text{CPS} \cdot A \quad (4)$$

Onde *PS* traduz a produção de sedimentos e *A* a erosão específica calculada pela EUPS. Este valor pode ser comparado com os valores de transporte sólido.

Segundo o PBH Douro (INAG, 2001) foram estabelecidas cartas de risco de erosão hídrica real e potencial. A primeira, a partir dos valores de Tolerância de Perda de Solo proposta pela F.A.O. (Food and Agriculture Organization), em 1977. O INAG (2001) elaborou também uma carta das Zonas Críticas de Erosão. Esta metodologia teve como base a EUPS, de Wischmeier.

Tabela 5 - Área que as classes de erosão real ocupam na bacia hidrográfica do rio Douro e respectiva produção de sedimentos (INAG, 2001).

	<b>Classes de Erosão (ton/ha/ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>% Área</b>	<b>Erosão (ton/ano)</b>	<b>% Erosão</b>	<b>Produção de Sedimentos (ton/ano)</b>
(1)	0 – 5	1 041 447	55.24	2 237 743	11.49	317 760
(2)	5 – 10	357 461	18.96	2 532 052	13.00	359 551
(3)	10 – 20	245 424	13.02	3 400 629	17.46	482 889
(4)	20 – 50	195 781	10.38	6 154 408	31.61	873 926
(5)	50 – 100	30 073	1.60	2 157 017	11.08	306 296
(6)	> 100	15 195	0.81	2 990 222	15.36	424 612
	<b>Total</b>	<b>1 885 381</b>	<b>100.00</b>	<b>19 472 071</b>	<b>100.00</b>	<b>2 765 034</b>

Com base no modelo descrito anteriormente, o INAG (2001) chegou a valores de erosão e produção de sedimentos ilustrados na Tabela 5. Uma estimativa do volume sedimentar total produzido por erosão hídrica é de cerca de 2 800 000 ton/ano, o que corresponde em volume a cerca de 2 150 000 m<sup>3</sup>/ano, admitindo uma porosidade de 0.45 e uma relação entre os pesos volúmicos da água e dos sedimentos (*s*) de 2.7.

Uma vez que parte do solo erodido acaba por se depositar ao longo das encostas, o INAG (2001) determinou também a parcela de material erodido que é transportado para as linhas de água (produção de sedimentos). Para o efeito recorreu a equações empíricas, que partem do pressuposto que a areia é a fracção que mais contribui para a produção de sedimentos durante o processo erosivo. Como se pode verificar na Tabela 5, a classe (1) apesar de ser a mais representativa, cobrindo aproximadamente 55% da área total da bacia hidrográfica, apenas contribui com cerca de 11% para a produção de material erodido. Inversamente a classe (4), apesar de cobrir aproximadamente 196 000 ha da superfície total da bacia, contribui com a maior percentagem de material erodido, correspondendo a cerca de 32% do total.

O INAG (2001) determinou também a produção anual de sedimentos das sub-bacias principais do rio Douro (Tabela 6).

Tabela 6 - Produção de sedimentos para a área total das sub-bacias (INAG, 2001).

<b>Bacia hidrográfica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Produção de Sedimentos</b>	
		<b>ton/(ha.ano)</b>	<b>x 10<sup>6</sup> ton/ano</b>
Tâmega	3 231	49 160	15 884
Tua	3 794	49 074	18 619
Sabor	5 980	49 964	29 878
Távora	536	7 231	388
Paiva	760	24 404	1 855
Côa	2 630	10 621	2 802

Para a avaliação da erosão ou assoreamento dos trechos finais de cada um dos cursos de água pode recorrer-se ao cálculo do caudal modelador, correspondendo ao caudal líquido que transporta o caudal sólido médio. Considerando de forma aproximada que o caudal modelador é cerca de 1.8 vezes o caudal anual médio, o INAG (2001) obteve os valores apresentados na Tabela 7.seguinte, onde constam também os valores correspondentes à capacidade de transporte.

Tabela 7 - Avaliação da situação de erosão ou assoreamento (INAG, 2001).

<b>Rio</b>	<b>Caudal modelador (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Capacidade de Transporte (x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano)</b>
Tâmega	5.0	0.06
Tua	1.6	0.37
Sabor	1.0	0.10
Távora	3.5	0.09
Paiva	4.8	0.10
Côa	1.1	0.03

Da Tabela 7 pode retirar-se que apesar de o rio Tâmega possuir o maior caudal modelador ( $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) não é aquele que tem maior capacidade de transporte. O rio com a maior capacidade de transporte é o rio Tua ( $370\,000 \text{ m}^3/\text{ano}$ ) apesar de ter um caudal modelador relativamente baixo ( $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### **3.2.1. Protecção das Encostas e Modificação das Técnicas Agrícolas**

O volume sólido mais significativo que atinge as linhas de água é aquele que é produzido nas encostas. Este volume de sedimentos depende essencialmente da ocupação vegetal. Durante anos as encostas do Douro foram modeladas para o cultivo de vinhas, oliveiras e pomares, representando 9% da área da bacia.

A modelação da encosta não só corta a ligação do transporte sólido até à linha de água como vai ajudar a aumentar a infiltração diminuindo o caudal líquido. Deste modo, com base na equação (1) descrita anteriormente, esta prática influencia não só o factor de cultura  $C$  mas também o factor de prática agrícola  $P$ .

As superfícies essencialmente agrícolas ocupam 22% da área da bacia. Destas, 11% dizem respeito às culturas anuais que não oferecem uma protecção total dos solos ao longo do ano, visto estarem desprotegidos num período do ano, aumentando assim significativamente a susceptibilidade de perda de solo (INAG, 2001).

O declínio da actividade agrícola na região da bacia está a alterar todo um sistema que estava em equilíbrio, provocando situações adversas para o meio ambiente. Um exemplo desta situação são os terraços implantados ao longo das encostas que funcionaram em décadas como reguladores de escoamentos superficiais (INAG, 2001). Actualmente o abandono de muitos destes muros de suporte levaram à sua degradação aumentando assim a perda de solo.

### **3.2.2. Uso do Solo**

Quanto ao uso do solo, este influencia a produção de sedimentos tanto no factor de cultura  $C$  como no factor de erodibilidade do solo  $K$ , da Equação Universal de Perda de Solo, de Wischmeier.

As florestas são um elemento essencial à existência de vida na Terra pelas suas interacções com o ciclo da água. Elas têm um papel importante na erosão hídrica já que constituem uma protecção do solo, enfraquecendo os volumes sólidos produzidos, além de que ajudam a infiltração diminuindo o caudal líquido superficial, dificultando o transporte de sedimentos para as linhas de água.

Como referido, a maior parte da bacia (22%) é de matos e floresta degradada, assim como zonas com pouco vegetação (3%), antevendo uma maior erosão hídrica. Os territórios artificializados (áreas permeáveis) ocupam em área pequena (1% do total), embora distribuída desigualmente na bacia (INAG, 2001).

## 4. IMPACTOS NO TRANSPORTE SEDIMENTAR

### 4.1. Caracterização dos Caudais na Secção da Régua

A diminuição do volume sedimentar afluente à foz do Douro tem inúmeras causas, umas mais acentuadas do que outras, mas em conjunto traduzem-se num impacto significativo no transporte sólido e afectam todo um sistema, como é exemplo o fornecimento de areias à costa Noroeste portuguesa.

Como referido no Capítulo 3, a causa da redução da fonte aluvionar deve-se a aspectos naturais e à acção humana. Desta última podem apontar-se várias razões que se traduzem na diminuição do caudal líquido escoado, na diminuição da velocidade de escoamento (estas razões afectam essencialmente a capacidade de transporte) e na diminuição da carga sólida (afecta o volume sedimentar disponível para poder ser transportado).

Tabela 8 - Estações hidrométricas no rio Douro (período e número de registo).

Tipo de dados	Caudal Afluente e Efluente Médio Diário		Volume Armazenado (final de mês)	
Barragem	Período de registos	Número de registos	Período de registos	Número de registos
Carrapatelo	1972 - 2007	12 864	1990 - 2007	215
Bemposta	1997 - 2007	2 955	1990 - 2007	215
Torrão	1988 - 2007	6 919	1990 - 2007	215
Sabugal			2005	3
Crestuma	1986 - 2007	7 803	1990 - 2007	215
Vilar	1997 – 2007	1 848	1990 - 2007	215
Valeira	1997 – 2007	2 952	1990 - 2007	215
Régua	1974 – 2007	12 197	1990 - 2007	215
Pocinho	1997 – 2007	2 972	1990 - 2007	215
Picote	1997 – 2007	249	1990 - 2007	215
Azibo	1997 – 2007		1990 - 2007	215
Miranda	1994– 2007	3 044	1990 - 2007	215
Alijó			1991 - 2007	194
Serra Serrada			1994 - 2007	105
Carviçais			1994 - 1997	36
Fonte Longa			1997 - 1998	20
Peneireiro			1979 - 2007	165

No estudo do impacto causado por cada uma das acções humanas descritas anteriormente é importante conhecer o funcionamento do mecanismo de transporte sedimentar do rio Douro para poder avaliar como esse impacto se processa no caudal sólido em transporte. Uma das características importantes é o caudal escoado no rio, visto que a capacidade de transporte (caudal sólido) é função deste parâmetro.

Para analisar a variação dos caudais líquidos do rio Douro na segunda metade do Século XX recorreu-se aos registos de base de estações hidrométricas do SNIRH. Estes registos compreendem um período de tempo cujo início é diferente para algumas estações e vai até Dezembro de 2007. Na Tabela 8 encontram-se o tipo de dados, o período e o número de registos das estações existentes.

O cálculo do caudal sólido tem quer ser aplicado a uma secção do rio. Neste estudo a secção escolhida situa-se no Peso da Régua, na albufeira de Carrapatelo, localizada entre a barragem de Carrapatelo (cerca de 40 km a montante desta) e a barragem da Régua. A escolha deveu-se ao número de registos de caudal (afluente e efluente) médio diário ser significativo, quando comparado com os outros registos, por se situar no curso principal e por haver registos de cheias centenárias nessa localidade.

Com base nos registos do caudal efluente médio diário (SNIRH, 2007), foram definidas para a Régua classes de caudal representativas de um ano médio, como se mostra na Tabela 9.

Tabela 9 - Frequência de caudais na Régua (registos de Janeiro de 1974 até Dezembro de 2007).

	<b>Classe</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Valor adoptado como representativo da classe</b>
		%	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1	< 300	59.6%	154	<b>150</b>
2	300 – 1 000	34.3%	507	<b>500</b>
3	1 000 – 5 000	5.9%	1745	<b>1 750</b>
4	> 5 000	0.2%	5949	<b>6 000</b>

Tabela 10 - Frequência de caudais na Régua por períodos de tempos.

		74/79		80/89		90/99		2000/2007	
	<b>Classe</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Valor médio</b>
		%	m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s
1	< 300	46.0%	176	59.4%	150	64.3%	146	64.4%	156
2	300 - 1000	44.5%	506	37.4%	501	30.1%	506	27.3%	522
3	1000 - 5000	8.8%	1687	3.1%	1683	5.6%	1655	7.9%	1913
4	> 5000	0.6%	5933	0.1%	7097	0.1%	6208	0.4%	5714
	<b>Média</b>		<b>493</b>		<b>334</b>		<b>341</b>		<b>418</b>

Para tentar perceber qual a variação do caudal ao longo do tempo, na Tabela 10 procedeu-se a uma análise similar, dividindo os caudais em cada uma das Décadas. Pode-se observar que, para a secção da Régua, o caudal médio anual variou nos 33 anos que compreendem os registos, tendo diminuído na primeira metade do período de registos, até o início da década de 90 e aumentado na última parte. O

caudal médio anual dos 33 anos é de 383 m<sup>3</sup>/s. É difícil estimar a tendências para o futuro, ou tirar conclusões quanto à variabilidade do caudal médio anual, visto a série de registos, apesar de apresentar alguma extensão, é curta para uma análise mais aprofundada. Nos estudos que se seguem, o caudal referir-se-á sempre a este período cronológico, que vai desde Janeiro de 1974 até Dezembro de 2007.

#### 4.2. Caracterização da Secção de Referência

Para verificar quais os impactos com maior significado na redução do transporte sedimentar quantificaram-se a perda da capacidade de transporte ou a diminuição da carga sólida, calculadas a partir de várias metodologias, propostas por alguns autores.

A capacidade de transporte pode ser expressa em volume de sedimentos transportados em suspensão e por arrastamento. A soma destas duas parcelas representa o transporte total.

Para quantificar o caudal sólido por arrastamento recorreu-se às equação de Meyer – Peter e Müller (1948) e de Van Rijn (1984). A primeira resultou de um vasto trabalho experimental, o que lhe permitiu uma aceitação por parte da comunidade científica. As experiências englobaram uma gama de valores para vários parâmetros, pelo que a expressão resulta mais adequada para essa gama de valores. Para a aplicação deste método a profundidade do escoamento ( $h$ ) deve estar compreendida entre os 0.01 m e os 1.20 m, a inclinação do leito do rio ( $i=j$ ) deve situar-se entre os 0.04% e os 2.00%, a dimensão representativa do diâmetro das partículas ( $d_{50}$ ) deve situar-se no intervalo de valores de 0.4 mm e os 30 mm e a relação entre o peso volúmico da água e dos sedimentos deve ser superior a 1.25 e inferior a 4.2.

A expressão que permite obter o transporte sólido por arrastamento, em peso ( $q_{fp}$ ) é:

$$\left(\frac{K_s}{K_r}\right)^{3/2} \gamma R j = 0.047 \gamma_{sp} d_{50} + 0.25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} (q'_{fp})^{2/3} \quad (5)$$

Onde  $K_s$  é o coeficiente de Manning-Strickler do escoamento e  $K_r$  um coeficiente igual a  $1/n$  (no caso de fundos planos,  $K_s/K_r=1$ ), onde  $n$  caracteriza a rugosidade do grão do leito, constituído por material de granulometria não uniforme (é função do  $d_{90}$ ).  $\gamma_{sp}$  e  $\gamma$  representam respectivamente, o peso volúmico do material submerso e o peso volúmico da água.  $R$  é o raio hidráulico da secção transversal.

Van Rijn apresentou para o cálculo do transporte sólido por arrastamento fórmulas mais recentes. Nestas, considerou a altura de saltação das partículas, bem como a sua velocidade e a concentração de sedimentos transportados, em que esta última foi conseguida a partir de resultados experimentais para  $d_{50}$  entre os 0.2 mm e os 2.0 mm. A equação que permite quantificar o caudal sólido transportado por arrastamento, em volume ( $q_{fv}$ ) é:

$$\frac{q_{fv}}{[(s-1)g]^{0.5} d_{50}^{1.5}} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}} \quad (6)$$



Onde  $T$  representa um parâmetro adimensional de capacidade transporte e  $D^*$  é um parâmetro adimensional da dimensão dos grãos, que depende não só da própria dimensão das partículas, mas também reflecte a influência da sua densidade e da caracterização do fluido onde se encontra (viscosidade e densidade).

Para a quantificação o caudal sólido em suspensão ( $q_{sv}$ ) recorreu-se à equação proposta por Van Rijn (1984):

$$q_{sv} = F_R U h C_a \quad (7)$$

Onde a concentração de referência ( $C_a$ ) é avaliada à distância  $a$  do fundo,  $F_R$  é uma variável auxiliar que tem em linha de conta a altura de escoamento,  $h$ , e a distância a que está a ser avaliada, bem como o número de Rouse corrigido.  $U$  é a velocidade média do escoamento

Para quantificar o caudal sólido total recorreu-se à equação de Van Rijn que resulta da soma do caudal sólido transportado por arrastamento com o caudal sólido transportado em suspensão. Também se recorreu à formulação proposta por Ackers e White (1973), para determinar o caudal sólido total ( $q_v$ ) que resulta do produto do coeficiente  $C_s$  pelo caudal líquido escoado por metro de largura de secção,  $q$ :

$$q_v = C_s q \quad (8)$$

Para aplicação destas equações foi necessário definir uma secção transversal representativa e próxima da real. A definição duma secção tipo para a zona da Régua incidiu na calibração dos parâmetros a adoptar no cálculo do transporte sólido. Sendo assim admitiu-se que a secção transversal representativa seria do tipo trapezoidal, de largura  $L$  e inclinação dos taludes  $\Theta$ , com uma inclinação  $i$  do leito. A altura de água,  $h$ , na secção é função do caudal líquido escoado,  $Q$ , por aplicação da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = K_s R^{3/2} i^{1/2} \quad (9)$$

Nesta expressão,  $R$  representa o raio hidráulico da secção de área  $S$ .

Para caracterizar as condições do escoamento e dos sedimentos que se aproximam do que se estima ser o comportamento sedimentar do rio Douro foram ensaiadas várias hipóteses, para cada classe de caudal definidas na Tabela 9, e para o caudal médio de 383 m<sup>3</sup>/s. Desta análise conclui-se que o caudal sólido em transporte determinado usando o caudal médio é aproximadamente igual ao caudal sólido resultante da soma de cada uma das classes de caudais.

Foram feitos testes usando apenas o caudal médio diário anual de 383 m<sup>3</sup>/s através da combinação e permutação das variáveis em causa, como: largura do canal de 200 m, 150 m, 100 m e 50 m e inclinação dos taludes de 15°, 30°, 45°, 60° e 90°. Para a rugosidade,  $K_s$ , foi adoptado para o fundo e para as margens o mesmo valor de 20 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup> ou 35 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup> e a inclinação do leito foi testada para valores de 0.5%, 1.0% e 1.3% (ver Anexo II).

Esta análise teve como objectivo avaliar a sensibilidade dos parâmetros que intervêm no cálculo do caudal sólido em transporte, para estabelecer a secção de referência que serviu para o cálculo do volume sólido. Procurou-se adoptar valores que não fossem fortemente afectados por ligeiras variações.

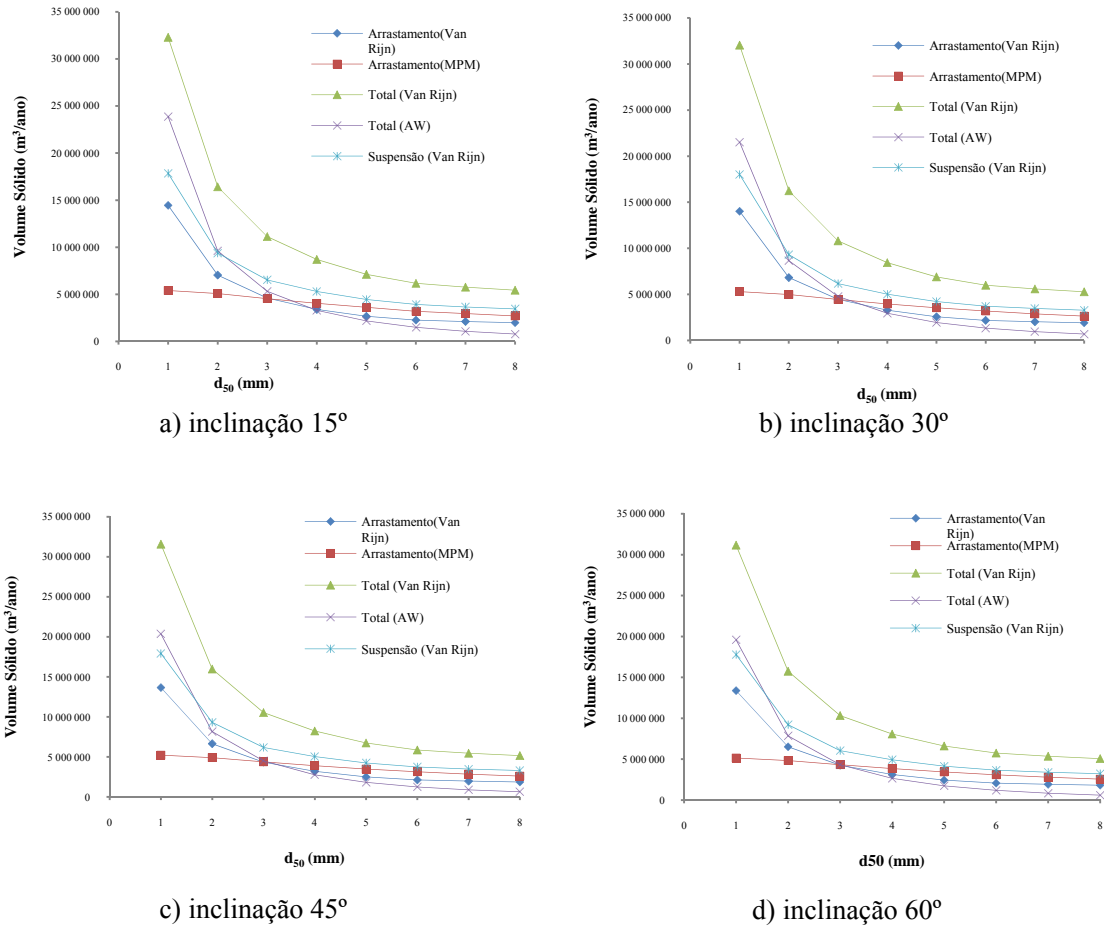


Figura 8 - Caudal sólido para diferentes inclinações da encosta em função do  $d_{50}$ , com uma largura do canal igual a 50 m, com um  $K_s$  de  $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  e com o caudal médio.

Na Figura 8 mostra-se a variação do caudal sólido para diferentes inclinações da encosta em função do  $d_{50}$ , com uma largura do canal igual a 50 m, com um  $K_s$  de  $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  e com o caudal médio visto se ter verificado nesta primeira fase de calibração que a utilização de cenários de caudais e respectivas frequência de ocorrência resultavam em transporte sólido semelhante ao que resulta da utilização do caudal médio.

Foi adoptado uma relação constante entre os diâmetros dos sedimentos:  $d_{90} = d_{84.1} = 2.5d_{50}$ ,  $d_{35} = 0.9d_{50}$ ,  $d_{15.9} = 0.4d_{50}$ . Nos testes foi usada uma porosidade de 0.45.

Da Figura 8 pode-se retirar que o caudal sólido diminui com o aumento do tamanho das partículas do fundo. Esta variação é acentuada até diâmetros médios de aproximadamente 3.0 mm, estabilizando para valores elevados de  $d_{50}$ . Exceptua-se o caso da metodologia de Meyer-Peter e Müller (MPM), onde o caudal sólido diminui quase linear e ligeiramente com o aumento do  $d_{50}$ .

A metodologia de Meyer-Peter e Müller e a de Van Rijn para o caudal sólido por arrastamento apresentam valores muito próximos para um  $d_{50}$  de 3.0 mm. Este valor de  $d_{50}$  pode ser considerado como característico da secção em estudo visto que, como referido no Capítulo 2, os sedimentos na bacia do Douro serem de dimensão grosseira. Desta forma, o resultado a obter pelos dois métodos de cálculo do transporte por arrastamento será da mesma ordem de grandeza.

Para perceber a sensibilidade à inclinação das margens determinou-se para cada metodologia de cálculo do caudal sólido total, e para cada  $d_{50}$ , os valores em transporte num canal com uma largura igual a 50 m.

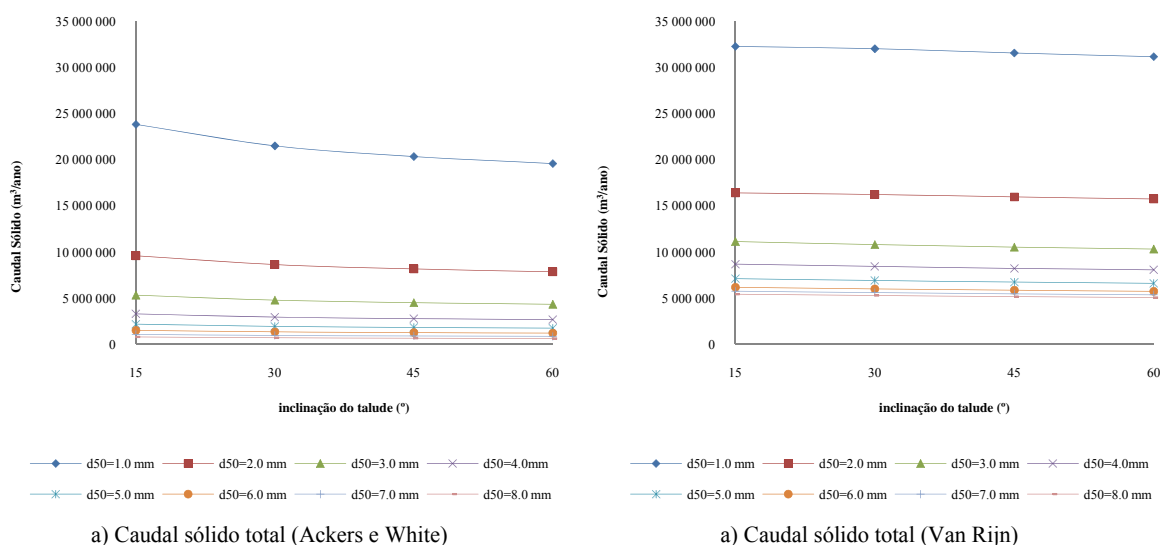


Figura 9 - Caudal sólido total em função da inclinação do talude das margens para diferentes valores de  $d_{50}$ .

Da Figura 9 pode observar-se que caudal sólido total transportado apresenta valores elevados para baixos valores de  $d_{50}$  (1.0 mm). O aumento do  $d_{50}$  em 1.0 mm faz com que o caudal sólido diminua para próximo de metade, apresentando resultados quase constantes para qualquer inclinação dos taludes, em ambas as metodologias. Ao aumentar ainda mais o  $d_{50}$ , o caudal sólido varia pouco e pode concluir-se que a variação em função da inclinação do talude das margens é praticamente nula.

A análise da variação do caudal sólido em função da largura do canal é apresentada na Figura 10. Nos cálculos foi admitida uma inclinação das margens de 45° e um  $d_{50}$  de 3.0 mm. O caudal líquido considerado foi o caudal médio anual (383 m³/s).

Da Figura 10 concluiu-se que o caudal sólido diminui com o aumento da largura do canal, para o mesmo caudal, notando-se uma tendência para estabilizar para valores de largura do canal acima dos 150 m. A metodologia de Ackers e White apresenta valores praticamente iguais, independentemente da largura considerada.

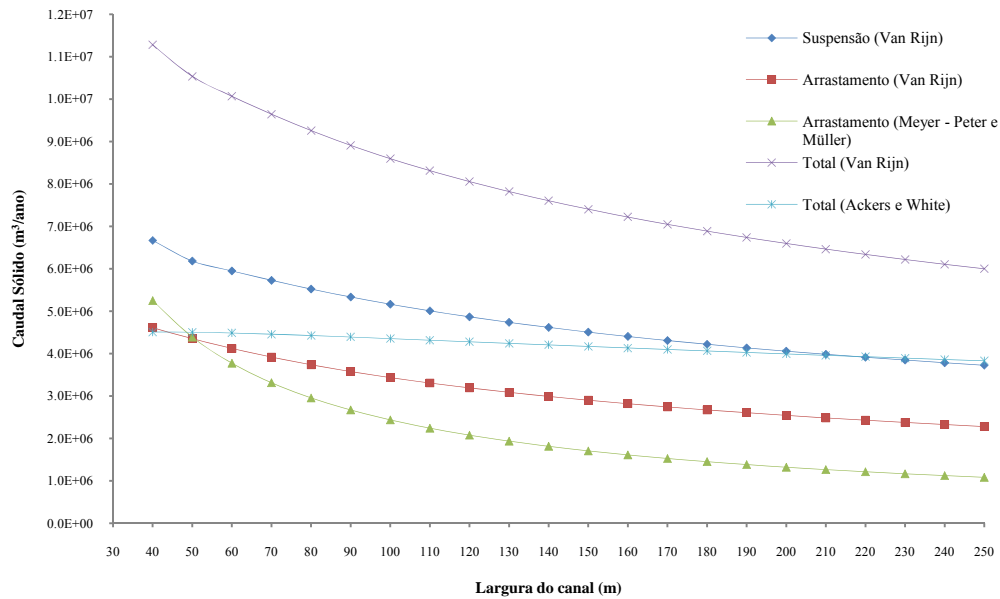


Figura 10 - Variação do caudal sólido em função da largura do canal.

Após esta análise da sensibilidade dos parâmetros que intervêm no cálculo do caudal sólido, afim da sua quantificação, a secção transversal tipo a considerar foi aquela que apresenta uma maior estabilidade destes parâmetros assim como aquela que apresenta características próximas da secção real, quer isto dizer, com a geometria observável. Desta forma, reduzem-se incertezas de cálculo e espera-se obter resultados próximos dos reais. Irá considerar-se neste estudo uma secção transversal tipo trapezoidal de 100 m de largura de rasto, inclinação do talude das margens de  $40^\circ$  e inclinação do leito a 1.0%. Quanto ao parâmetro de rugosidade de Manning-Strickler,  $K_s$ , será adoptado o valor de  $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ .

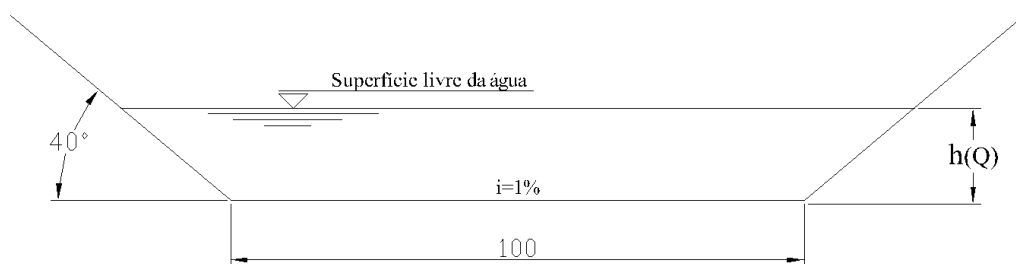


Figura 11 - Secção tipo para a Régua.

#### 4.3. Variação no Registo de Caudais

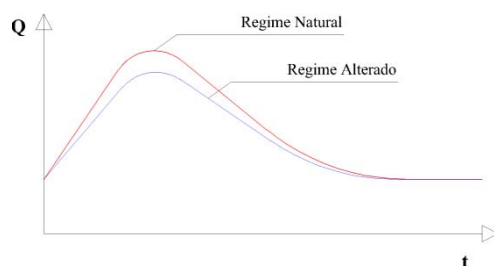
Num rio, a diminuição do caudal escoado pode ser apontada como causa para a escassez sedimentar na foz. De novo, esta alteração pode dever-se a aspectos naturais ou devido à acção humana. Da primeira

pode-se apontar factores meteorológicos, como são exemplo os períodos de seca, onde o escoamento superficial é muito reduzido, estando assim limitadas as reservas hídricas da bacia hidrográfica e, consequentemente, as do próprio rio. Da acção humana têm-se a alteração do uso solo, a retirada directa de volumes de água para abastecimento (das população, agricultura e indústria) e ainda, o efeito regularizador das barragens na diminuição da ponta de cheia (Figura 12).

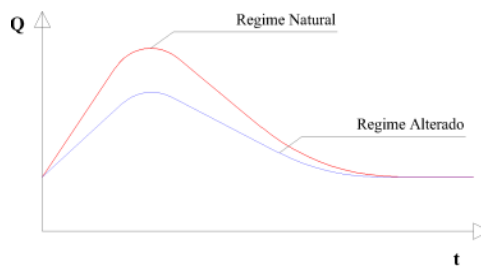
A redução do caudal escoado implica uma quebra na capacidade de transporte sedimentar. Por outro lado, as correntes causadas pelo escoamento fluvial em período de cheia são significativas em termos de transporte sólido e provocam assoreamentos e erosões locais (INAG, 2001).

Da Figura 12 podem-se observar os hidrogramas resultantes de diferentes impactos com incidências no caudal escoado. Compara-se o regime alterado com o regime natural do rio, para as mesmas condições hídricas.

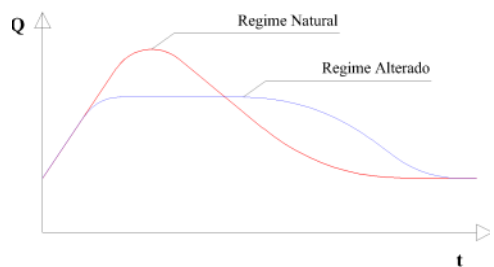
Procede-se de seguida a uma análise mais detalhada destas alterações como a diminuição do caudal líquido superficial devido à alteração do uso do solo, a retirada de caudais pelas captações para o abastecimento das populações, da indústria e da agricultura, o efeito de regularização de caudais provocada pelas albufeiras e uma análise destes impactos em conjunto para quantificar a perda de capacidade de transporte do rio Douro devido à diminuição do caudal líquido escoado.



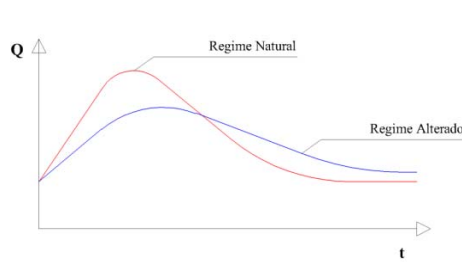
a) Diminuição do caudal líquido superficial.



b) Retirada de caudais



c) Regularização de caudais.



d) Diversos efeitos conjugados.

Figura 12 - Hidrograma de cheia tipo para uma mesma secção.

---

#### **4.3.1 Alteração do Uso do Solo**

A diminuição do caudal escoado de um rio pode dever-se também à diminuição do caudal líquido superficial. O uso dos solos e as alterações provocadas nestes vai contribuir para uma alteração no comportamento da erosão hídrica bem como na infiltração. As taxas de infiltração são estimadas em 10% da precipitação.

A impermeabilização dos solos da bacia reduz tempos de concentração e aumenta os caudais de cheia. Mas, por outro lado, essa impermeabilização conduz muitas vezes as águas para os colectores de águas pluviais que concentram estes volumes de água e as descarregam fora do sistema fluvial representando uma redução dos caudais líquidos do rio e consequentemente redução da capacidade de transporte (Figura 12.a).

Como referido anteriormente as áreas artificializadas ocupam apenas 1% da bacia hidrográfica do rio Douro encontrando-se dispersas por toda a bacia.

Cerca de 95% da área da bacia hidrográfica do rio Douro corresponde quase exclusivamente a rochas com permeabilidade de fendas onde ocorrem aquíferos descontínuos. Os restantes 5% correspondem a rochas porosas com comportamentos variados (INAG, 2001).

Não se procedeu à estimativa dos volumes de água precipitados que são derivados das linhas de água da bacia do Douro.

#### **4.3.2. Abastecimento das Populações e Rega (Captações)**

Nas albufeiras, a retirada de volumes de água para abastecimento das populações ou para rega representa mais um aspecto importante na diminuição do caudal escoado no rio e consequente diminuição da capacidade de transporte. Este impacto é mais acentuado quanto maior o volume retirado e menor a reposição hídrica, para um mesmo período de tempo.

No rio Douro este impacto é mais significativo na redução dos escoamentos provenientes de Espanha, que até à actualidade se estima em cerca de 25% (INAG, 2001).

A Figura 12.b. ilustra um hidrograma tipo para a situação em que o regime natural foi alterado pela captação onde há uma retirada de caudais, isto implica que os hidrogramas tenham áreas diferentes, quer isto dizer que existe retirada de caudal e não amortecimento de caudal (como se irá expor no ponto seguinte).

### 4.3.3. Regularização Fluvial

As barragens podem ter a função de regularizar os caudais de um rio com o objectivo principal de diminuir a ponta de cheia (Figura 12.c). A retenção de volumes de água a montante de uma secção, na albufeira provoca uma perda na capacidade de transporte a jusante desta.

A diminuição da ponta de cheia deve-se à capacidade que a barragem tem para encaixar volumes de água mas, sem os retirar do sistema, ou seja, como se pode verificar na Figura 12.c, há uma diminuição do caudal de ponta mas a área do hidrograma mantém-se.

As barragens existentes no curso principal do rio Douro foram construídas com a finalidade de produção hidroeléctrica, não tendo capacidade de regularização de caudais, e muito menos de cheia (INAG, 2001). Assim sendo, estes aproveitamentos funcionam a fio de água.

Os aproveitamentos a fio de água têm um impacto menos acentuado do que as albufeiras, visto que nestas últimas têm-se maiores tempos de suspensão das partículas, afectando essencialmente, o transporte sólido em suspensão e têm-se maiores volumes de regularização.

Dos 46 aproveitamentos hidráulicos referenciados na bacia hidrográfica do rio Douro apenas em 17 se obtiveram dados com valores de volume armazenado, no final do mês (Tabela 8). É de referir que nalgumas estações a série de dados não é contínua, havendo falhas nos registos que podem ir até um ano (Carviçais, Peneireiro e Serra Serrada). Destes registos de volume armazenado existentes construíram-se gráficos que mostram a variação do volume de água armazenado ao longo das últimas Décadas do Século XX (Anexo III).

Além destes gráficos, e para uma melhor análise, o gráfico da Figura 13 compara todas as albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro. Neste gráfico mostra-se a média dos volumes armazenados em meses consecutivos, assim como a respectiva dispersão.

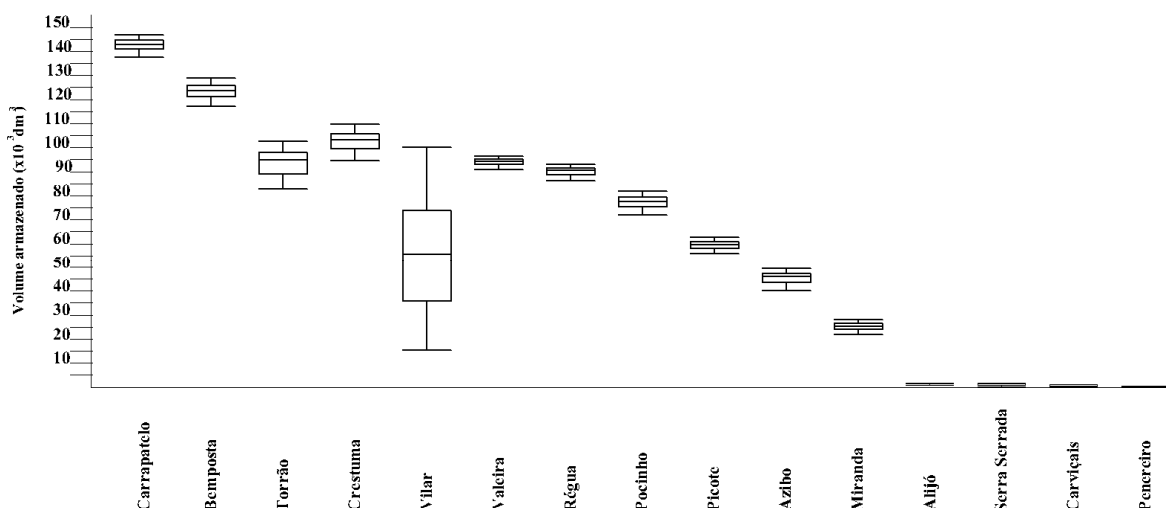


Figura 13 - Dispersão do volume armazenado nas albufeiras portuguesas do rio Douro.

As albufeiras situadas mais a jusante no curso principal do rio Douro têm pouca variação do volume armazenado, apesar de possuírem maior capacidade de armazenamento (Crestuma, Torrão, Carrapatelo, Régua), enquanto as albufeiras com menores disponibilidades hídricas, situadas em linhas de água secundárias, ou as situadas a montante no curso principal do rio, apresentam maior discrepância nos volumes armazenados. Essa irregularidade resulta principalmente de aspectos funcionais, da disponibilidade hídrica e da região meteorológica onde se situam. É de notar que muitas albufeiras localizadas em linhas de água secundárias têm como função o armazenamento de água para abastecimento das populações ou para rega.

Verifica-se que a barragem do Carrapatelo é a que maior capacidade de armazenamento possui, mas a oscilação de volumes armazenados é relativamente pequena. A diferença entre os percentís 95% e 5% em relação à capacidade de armazenamento é de aproximadamente 7%. Contrariamente, a barragem de Peneireiro é a que menor capacidade de armazenamento possui, mas a oscilação de volumes armazenados é elevada. A diferença entre os percentís 95% e 5% em relação à capacidade de armazenamento é de aproximadamente 71%. É de se referir que estas duas barragens têm capacidades muito diferentes, pois Carrapatelo tem uma capacidade 193 vezes superior a Peneireiro.

Quanto às barragens situadas no troço mais a jusante do curso principal do rio Douro, estas possuem grande capacidade de armazenamento e, exceptuando a barragem de Carrapatelo, a diferença entre os dois percentís referidos já é significativa, apontando valores de 10% para a Régua, 11% para Valeira, 17% para Crestuma-Lever e 47% para Pocinho, sendo este último o que se localiza mais a montante. Quanto às barragens situadas no troço internacional do rio Douro, a diferença entre os quantís de 5% e 95% é acentuada, apontando valores de 30% para Bemposta, 82% para Picote e 88% para Miranda.

Tabela 11 – Tempo de enchimento das albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro.

Barragem	Capacidade de Armazenamento (dam <sup>3</sup> )	Linha de Água	Caudal Afluente Médio Diário Anual (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de enchimento da albufeira (h)
<b>Carrapatelo</b>	148 400	Rio Douro	410.00	100.54
<b>Bemposta</b>	129 000	Rio Douro	240.07	149.26
<b>Torrão</b>	124 000	Rio Tâmega	75.12	458.54
<b>Crestuma</b>	110 000	Rio Douro	496.38	61.56
<b>Vilar</b>	99 750	Rio Távora	4.00	6 695.00
<b>Valeira</b>	97 000	Rio Douro	342.26	78.72
<b>Régua</b>	95 000	Rio Douro	380.60	69.33
<b>Pocinho</b>	83 070	Rio Douro	326.86	70.60
<b>Picote</b>	63 000	Rio Douro	253.09	69.15
<b>Miranda</b>	28 100	Rio Douro	238.71	32.70

A barragem com maior variação entre quartís de volumes armazenados será a de Vilar com o volume armazenado médio de 55 106 dam<sup>3</sup>, e quartís 25% e 75% de 35 635 dam<sup>3</sup> e de 73 665 dam<sup>3</sup>



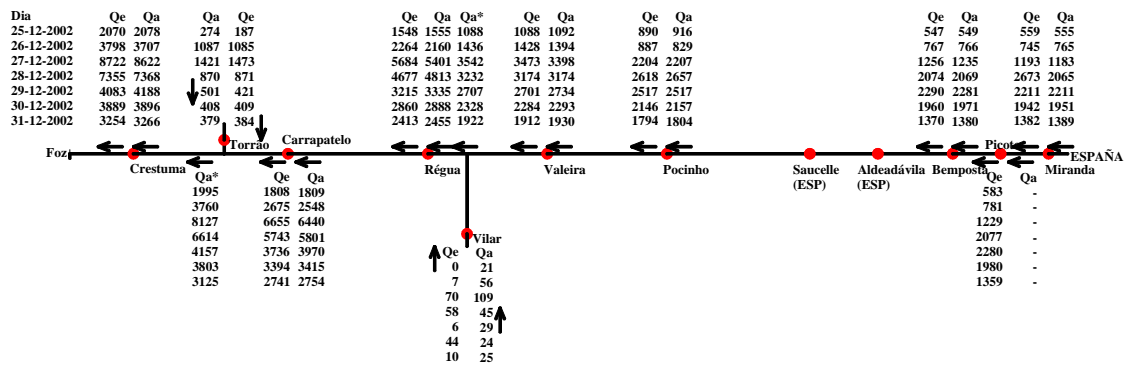
respectivamente, cuja diferença em relação ao volume máximo armazenado é de 38%. A diferença entre os percentis 95% e 5% em relação à capacidade de armazenamento é de, aproximadamente, 69%.

Para verificar o tipo de funcionamento das barragens calculou-se o tempo de enchimento da albufeira com o caudal afluente médio diário anual obtido a partir da série de registos do SNIRH (2007). Os valores obtidos são apresentados a seguir (Tabela 11).

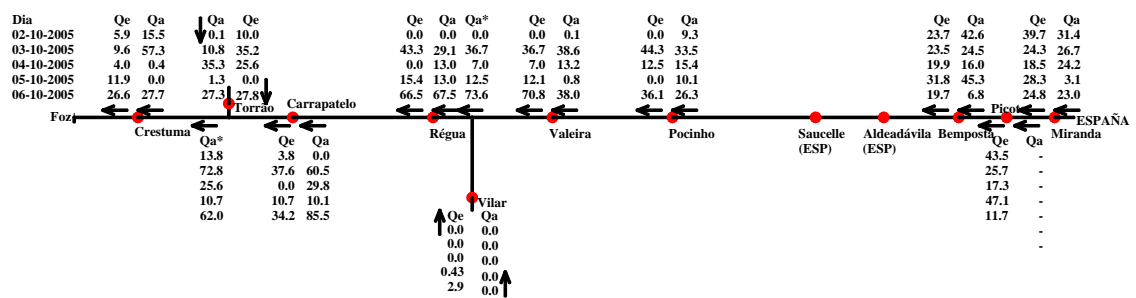
Da Tabela 11 pode-se definir como funcionando em albufeira as barragens de Carrapatelo, de Bemposta, de Torrão e de Vilar. Quanto a esta última, verifica-se um tempo de enchimento da albufeira muito superior às restantes. Esta diferença justifica-se com a localização da albufeira e da quantidade hídrica da sub-bacia a que pertence. Por esta razão as albufeiras de Vilar e Torrão apresentam tempos de enchimento superiores a Carrapatelo e Bemposta que se situam no curso principal do rio Douro.

Para melhor compreensão do funcionamento do sistema hídrico do rio Douro, com base nos registos de caudal médio diário construíram-se esquemas do curso principal em situação de cheia (Figura 14.a), em situação de situação de seca (Figura 14.b), e para uma situação média, próxima do caudal médio diário anual (Figura 14.c) com o propósito de verificar qual a parte da bacia que gera maior caudal líquido ( $Q$ ) e se há retenção nas albufeiras.

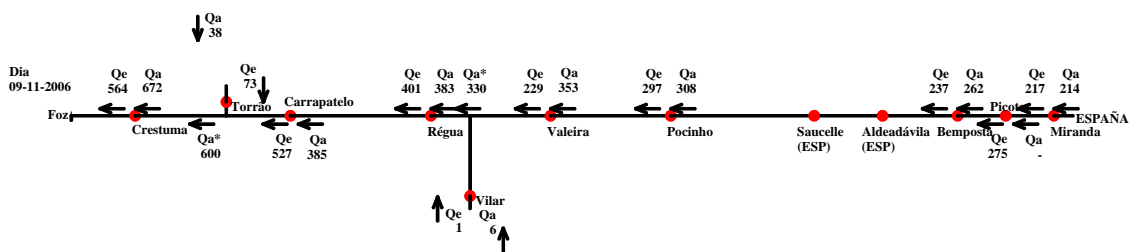
Da análise da Figura 14 verifica-se que em situação de cheia, a parte portuguesa da bacia gera um maior escoamento, que contribui para um aumento de caudal na foz, onde as albufeiras situadas no curso principal do rio não possuem capacidade de armazenamento suficiente para amortecer o caudal de ponta, sendo o caudal efluente muito próximo do caudal afluente (a diferença entre estes dois é insignificante quando comparada com os valores que elas representam). Já em situação de seca, os caudais dependem muito da parte espanhola, havendo retenção nas albufeiras, principalmente nas situadas no troço internacional. Quanto à situação média, o caudal na foz é, aproximadamente, três vezes superior ao afluente de Espanha no troço internacional, onde a retenção nas albufeiras é, como na situação de cheia, pouco significativa.



a) Situação de cheia (Dezembro de 2002).



b) Situação de seca (Outubro de 2005).



c) Situação de caudal médio diário (09 de Novembro de 2006).

Figura 14 - Caudais no rio Douro.

#### 4.3.4. Caudal Sólido

Segundo o INAG (2001), o caudal médio actualmente na foz do Douro é de  $540 \text{ m}^3/\text{s}$ , mas este valor seria mais elevado em situação natural, estimando-se que atingisse os  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ . Admitindo a mesma proporção, sabendo que o caudal médio anual para a Régua é de  $383 \text{ m}^3/\text{s}$ , o caudal em situação pristina seria de  $461 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Aplicando as metodologias de cálculo de caudal sólido com a secção tipo adoptada no ponto 4.2. deste estudo, para o caudal médio actual e natural na Régua, obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Caudal sólido total na Régua para o caudal actual e natural para várias metodologias de cálculo.

Caudal líquido $\text{m}^3/\text{s}$	Caudal sólido total ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )	
	Van Rijn	Ackers e White
383	8 648 903	4 392 639
461	11 149 647	5 375 605

Pela metodologia de Van Rijn obtêm-se valores de caudal sólido mais elevados do que o obtido pela metodologia de Ackers e White (cerca de duas vezes superior). Com a redução do caudal líquido, na primeira metodologia tem-se uma quebra no caudal sólido na ordem dos 22.43% e na segunda, na ordem dos 18.29%.

Os valores obtido para o caudal sólido total são superiores os referenciados por alguns autores, como por exemplo, Bettencourt (1997) refere que o volume de sedimentos transportados pelo Douro até à foz, no início da segunda metade do Século XX andaria próximos dos  $2\,000\,000 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Esta diferença é significativa, mesmo para as duas metodologias utilizadas e podem dever-se às considerações que lhes servem de base. Quanto à diferença entre os valores obtidos e os que são conhecidos, deve-se à falta de dados e medições reais que permitam calibrar os modelos numéricos usados. Para ultrapassar esta diferença de ordem de grandeza admitiu-se, para as duas metodologias, que o caudal sólido total em regime natural seria de  $2\,000\,000 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Para tal, multiplicaram-se os valores de caudal sólido obtidos por coeficientes de calibração,  $K$ , que tomam os valores referidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Coeficiente de calibração do caudal sólido.

Coeficiente de calibração	Metodologia	
	Van Rijn	Ackers e White
$K$	0.18	0.37

O caudal sólido, já calibrado pelo coeficiente  $K$  da Tabela 13, que resulta da capacidade de transporte actual, com um caudal líquido de  $383 \text{ m}^3/\text{s}$  corresponde assim a  $1\,589\,764 \text{ m}^3/\text{ano}$  (resulta da média dos valores obtidos pelas metodologias de Ackers e White e de Van Rijn já calibrados - Tabela 14).

Tabela 14 - Caudal sólido total calibrado na Régua para o caudal actual e natural para várias metodologias de cálculo.

Caudal líquido m <sup>3</sup> /s	Caudal sólido total calibrado (m <sup>3</sup> /ano)	
	Van Rijn	Ackers e White
383	1 548 205	1 631 323
461	2 000 000	

Assim, a diminuição do caudal escoado no rio, seja por regularização ou por retirada directa de caudais, implica assim uma quebra no transporte sedimentar de aproximadamente 20%. Pode-se admitir que esta redução de 20% representa o efeito conjunto da redução de caudal por alteração do uso do solo, por retirada de volumes de água para abastecimentos das populações, rega e indústria e por efeito da regularização fluvial.

#### 4.4. Redução da Velocidade de Escoamento

A capacidade de transporte também é afectada pela diminuição da velocidade de escoamento, principalmente devido ao aumento da secção, admitindo um caudal líquido constante. A barreira física provocada pelas barragens e respectiva formação da albufeira, as dragagens e extracção de inertes implicam modificações geométricas na secção transversal do rio que afectam o seu regime hidráulico e consequente o regime de transporte sedimentar.

##### 4.4.1. Provocado pelas Albufeiras

As albufeiras, como locais de armazenamento de água e com o objectivo de provocar desníveis no curso do rio para aproveitamento hidroeléctrico (como são exemplo as barragens situadas no curso principal do rio Douro), alteram toda as características da sua envolvente, tendo implicâncias na hidrometria da bacia hidrográfica.

O efeito da albufeira depende de muitas variáveis. A primeira delas será a sua disponibilidade hídrica mas, para analisar o seu efeito no transporte sólido por perda de capacidade de transporte consequente da diminuição da velocidade de escoamento, importa definir a capacidade da albufeira, a sua disposição geográfica e a própria topografia onde se insere. Três albufeiras com a mesma capacidade de armazenamento e iguais características hidrométricas podem resultar em comportamentos de transporte sedimentar completamente diferentes.

A Figura 15 ilustra em planta o perímetro de três albufeiras com a mesma capacidade armazenada de água ( $V_1=V_2=V_3$ ) e mesma disponibilidade hídrica ( $Q_1=Q_2=Q_3=Q$ ).

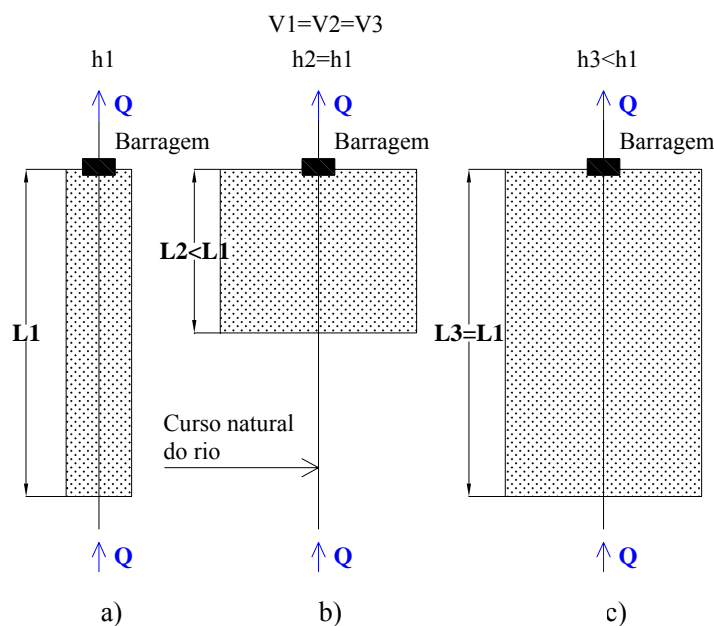


Figura 15 - Diferentes configurações de albufeiras com a mesma capacidade de armazenamento.

As albufeiras a) e b) representam a mesma altura de escoamento ( $h_1=h_2$ ), apesar da primeira ter uma forma mais alongada, onde o escoamento comporta-se como canal. Em termos de secção transversal, as partículas encontram-se mais concentradas no talvegue e, para um mesmo caudal, a velocidade de escoamento é superior à da albufeira representada no segundo caso, cuja forma é mais arredondada, as partículas estão mais dispersas na secção transversal e consequência da reduzida velocidade de escoamento há uma maior redução na capacidade de transporte e um maior tempo de suspensão das partículas na albufeira, o que facilita a sedimentação.

Quanto à albufeira c), cuja profundidade é menor do que as anteriores e cuja forma em planta é semelhante à albufeira b), o comportamento será similar a um lago (artificial), onde há zonas de velocidade nula, ou muito reduzidas.

As albufeiras localizadas no curso principal do rio Douro podem classificar-se com características semelhantes ao caso a) da Figura 15.

Para avaliar o impacto da albufeira procedeu-se ao cálculo do caudal sólido transportado pelas metodologias já descritas neste documento, aplicadas na albufeira de Carrapatelo que vai desde a barragem de Carrapatelo, a jusante, até a barragem da Régua, a montante, onde o regolho faz-se sentir a aproximadamente 40 km a montante da barragem (Figura 16). Procedeu-se ao cálculo do caudal sólido admitindo diferentes granulometrias para perceber as características da dimensão das partículas que se poderiam depositar para cada classe de caudal definida na Tabela 9 ( $d_{50}$  de 3.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm e 0.5 mm).

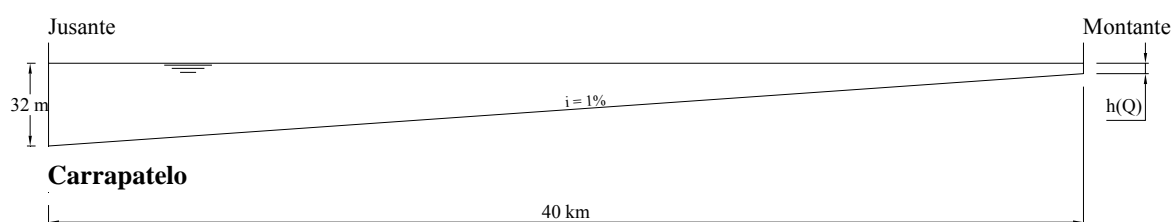


Figura 16 - Esquema tipo para a albufera de Carrapatelo.

A albufera foi simulada como sendo um canal linear com a secção transversal tipo descrita anteriormente. Como concluído anteriormente, a barragem de Carrapatelo funciona a fio de água e a variação do armazenamento de água ao fim do mês é insignificante quando comparado com o volume afluente, podendo-se admitir que a cota da albufera, para este estudo, é constante para as quatro classes de caudal, com uma altura entre a cota de armazenamento e a cota de fundação de 32 m, e altura de água a montante (distância de 0 km) igual à altura livre que resulta da aplicação da fórmula de Manning – Strickler. O caudal sólido foi determinado em várias secções com intervalos de 1 km e já calibrado pelo coeficiente de  $K$  da Tabela 13. No Anexo IV apresenta-se o caudal sólido total para cada classe de caudal, com as diferentes granulometrias referidas para as metodologias de Van Rijn e de Ackers e White. A Tabela 15 resume esses resultados para as secções a 0 km, a 20 km e a 40 km de distância da secção de montante.

Verifica-se na Tabela 15 que o caudal sólido que atinge a secção do Carrapatelo é nulo quando se admite uma maior dimensão dos sedimentos ( $d_{50} = 3.0$  mm). Quando se diminui a dimensão dos sedimentos um maior caudal sólido vai sendo transportado ao longo da albufera.

Tabela 15 - Caudal sólido total para diferentes granulometrias na albufera de Carrapatelo.

Caudal sólido total ( $m^3/ano$ )						
Distância (km)	0		20		40	
$d_{50}$ (mm)	Ackers e White	Van Rijn	Ackers e White	Van Rijn	Ackers e White	Van Rijn
3.0	1 615 532	1 950 901	914	2 764	0	0
2.0	1 811 096	1 764 756	2 968	5 941	201	45
1.0	4 649 394	3 792 483	21 525	19 905	2 446	799
0.5	23 226 520	9 494 578	121 597	45 718	19 156	2 175

Esta análise teve como objectivo avaliar a perda da capacidade de transporte sedimentar ao longo da albufera devido a aumento da secção (diminuição da velocidade de escoamento) e tentar caracterizar os sedimentos ao longo desta. Como se pode observar pelas Tabelas do Anexo IV é de esperar que a granulometria dos sedimentos diminua ao longo da albufera, depositando-se no início a mistura de sedimentos de dimensão mais grosseira, localizando-se mais a jusante sedimentos mais finos.

Foi admitida uma carga sólida disponível de 2 000 000 m<sup>3</sup>/ano. Em condições naturais o rio tem capacidade suficiente para transportar toda a carga disponível. Pelos valores apresentados, que correspondem a anos médios, o efeito da albufeira reduz o transporte sólido em quase 100%.

Esta redução quase total não é aquela que se observa na realidade. Tal facto pode dever-se a diversos factores. Em períodos de cheias, os caudais conseguem transportar uma quantidade significativa de sedimentos para jusante da barragem, apesar da ocorrência e duração da cheia ser reduzida, como comprovado pelos resultados para a classe 4 de caudais nas Tabelas do Anexo IV. Este facto associado às descargas de fundo, ajudam à transposição de sedimentos aumentando a carga sólida disponível imediatamente a jusante da barragem e reduzindo o efeito de albufeira.

Como foi referido na Tabela 4 a eficiência de retenção das albufeiras situadas no curso principal do rio Douro variam entre os 35% e 47%.

Pode concluir-se que, apesar de se verificar deposição de sedimentos ao longo da albufeira, estes correspondem apenas a uma pequena parte do total de sedimentos transportados pelo rio Douro, e que o impacto causado pelas albufeiras é de uma redução em cerca de 40% o caudal sólido.

#### **4.4.2. Provocado pelas Dragagens**

A retirada de areias no leito de um rio tem consequências ao nível do transporte sólido provocado por dois fenómenos distintos: o primeiro é a retirada de um volume de areias que estaria disponível para ser transportado, o outro é a perda da capacidade de transporte devido ao aumento da secção transversal, pelo que a conjugação destas duas causas resultam na perda de caudal sólido no tempo, até se repor o equilíbrio inicial.

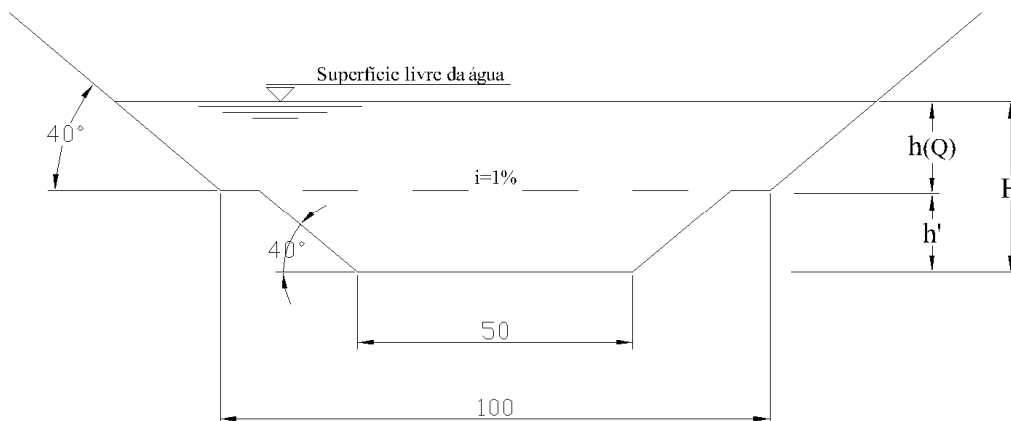


Figura 17 - Secção tipo com dragagem.

Como referido anteriormente, o volume dragado anualmente é da ordem dos 630 000 m<sup>3</sup>/ano (INAG, 2001). O efeito das dragagens na capacidade de transporte é influenciado pela profundidade de dragagem, que implica o aumento do perímetro molhado, podendo aumentar ou não a área molhada da secção transversal. Conhecendo um valor estimado do volume dragado anualmente a profundidade a dragar depende então da extensão da mesma dragagem. Para tal, na Tabela 16 relaciona-se a extensão e a área dragada, para um mesmo volume (630 000 m<sup>3</sup>). Na Tabela, a altura a dragar foi determinada tendo em conta que a área a retirar tem uma secção trapezoidal, correspondente à largura de rasto do canal de navegação, com 50 m de largura e inclinação do talude igual ao da secção tipo (40°), de acordo com o esquema da Figura 17.

Na tentativa de quantificar o impacto das dragagens no transporte sedimentar determinou-se a capacidade de transporte para intervalos de alturas de dragagens de 0.10 m através da aplicação da formulação de cálculo do transporte sólido total por Ackers e White. Sem dados sobre a profundidade das dragagens que são realizadas no curso principal para manutenção do canal de navegação, admitiu-se uma altura de dragagem de referência de 2.00 m, a que corresponde uma extensão dragada de 6 000 m, para uma altura de escoamento próxima da profundidade de serviço do canal (4.20 m), admitindo o caudal médio anual de 383 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 16 - Relação entre a extensão e a profundidade dragada para um volume extraído de 630 000 m<sup>3</sup>.

<b>Extensão</b>	<b>Área</b>	<b>Profundidade da dragagem (h')</b>	<b>Caudal sólido</b>
<b>m</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/ano</b>
1 000	630.0	10.15	1 031 999
2 000	315.0	5.56	995 560
3 000	210.0	3.85	953 703
4 000	157.5	2.94	905 957
5 000	126.0	2.38	850 127
6 000	105.0	2.00	784 469
7 000	90.0	1.73	706 424
8 000	78.8	1.52	612 928
9 000	70.0	1.36	501 997
10 000	63.0	1.22	394 614

Numa primeira análise foram admitidas duas situações distintas. Primeiro admitiu-se que a superfície livre se encontra sempre ao mesmo nível, pelo que a dragagem implica um aumento significativo da secção transversal, logo uma diminuição do caudal sólido mais acentuada. Na segunda análise obrigou ao cálculo da altura da superfície livre (variável) em função da nova área da secção dragada.

Foi admitido que a carga sólida no estado de equilíbrio (estado inicial) já tem em conta o impacto provocado pela diminuição do caudal líquido escoado referido no ponto 4.3.4., ou seja, vale aproximadamente 1 631 000 m<sup>3</sup>/ano. Esta suposição deveu-se à tentativa de minorar as incertezas dos



valores, separando os impactos para uma análise sem interferência da influência de outros fenómenos, nomeadamente a redução do caudal líquido (presume-se que é um factor que já ocorreu a montante).

É de notar que o valor do caudal sólido inicial corresponde ao valor obtido pela metodologia de Ackers e White calculado com o caudal médio anual. Neste estudo apenas se optou por considerar os resultados obtidos por esta metodologia visto que os resultados obtidos pela metodologia de Van Rijn são significativamente afectados pela área da secção transversal.

Da Figura 18 observa-se que a diminuição do caudal sólido é mais acentuada nos primeiros metros de dragagem, estabilizando a capacidade de transporte sólido para profundidades elevadas. Esta diminuição é mais acentuada no caso de se manter o nível da superfície livre. O efeito da dragagem é muito significativo, não só pela perda na capacidade de transporte mas também pela retirada de volumes significativo de areias que formam uma zona que irá passar a estar em assoreamento, até atingir novamente o equilíbrio inicial.

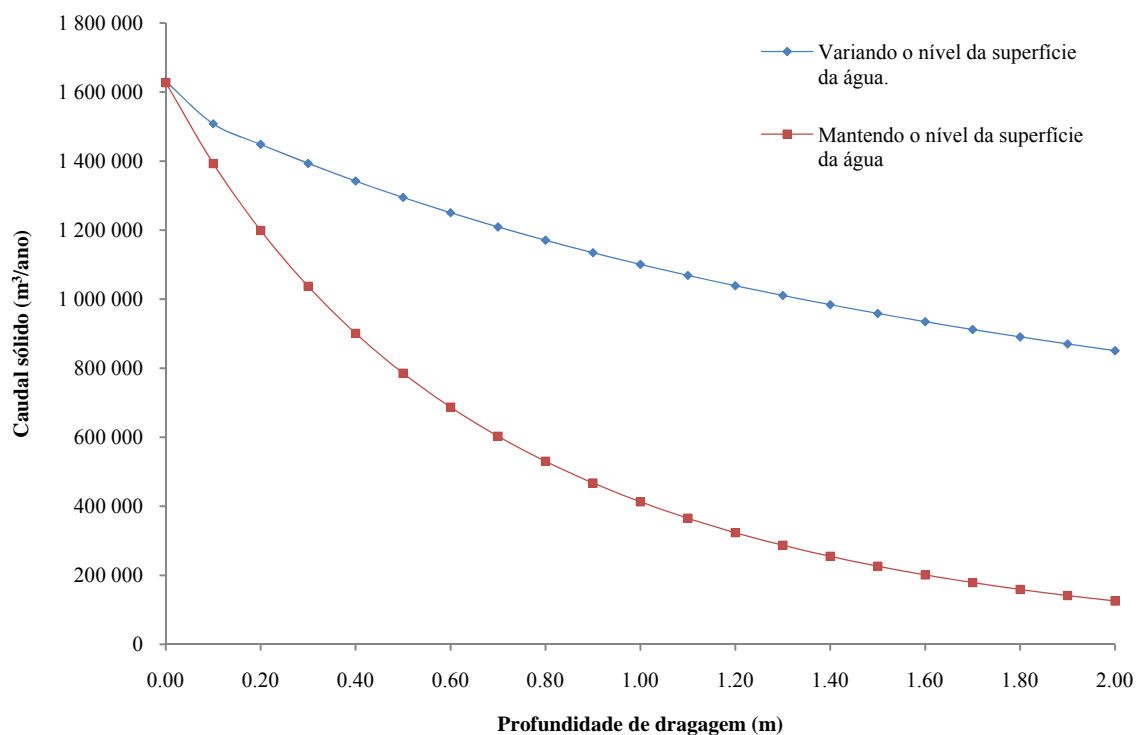


Figura 18 - Caudal sólido em função da profundidade dragada mantendo.

Quanto às situações que foram admitidas pode-se concluir que a redução do caudal sólido quando se mantém o nível da superfície da água é na ordem de duas vezes superior ao que acontece se o nível da superfície variar com a alteração da secção transversal, mantendo a velocidade de escoamento.

Na tentativa de quantificar este impacto, procedeu-se a uma análise onde se admitiu que na situação inicial o rio encontra-se em equilíbrio, ou seja, a capacidade de transporte é igual à carga sólido. Nesta situação o rio transporta todos os sedimentos disponíveis não havendo situação de assoreamento ou de erosão do próprio rio. Efectuando uma dragagem de 630 000 m<sup>3</sup> anualmente numa extensão de 6 000 m,

a profundidade a dragar corresponderá a 2.0 m (Tabela 16). Determinaram-se os tempos que demora a atingir de novo o equilíbrio, avaliando o comportamento em cada assoreamento de 0.1 m. Também de calculou para cada um destes intervalos, o volume sólido que continua a ser transportado pela capacidade de transporte existente. Os resultados encontram-se na Tabela 17, onde se apresenta a profundidade a que está o canal dragado após os sucessivos assoreamentos ( $h'$ ) e respectiva capacidade de transporte determinada pela metodologia de Ackers e White, sendo a taxa de deposição a diferença entre a carga sólida (que corresponde ao caudal sólido na situação de equilíbrio) e o caudal sólido correspondente a cada intervalo de profundidade do canal. O volume passado corresponde ao volume de sedimentos durante o tempo de enchimento da área transversal assoreada (produto entre o tempo de enchimento e o caudal sólido total).

Tabela 17 – Impacto de uma dragagem de 630 000 m<sup>3</sup>/ano no equilíbrio sedimentar no rio Douro.

<b>Profundidade Dragada (<math>h'</math>)</b>	<b>Capacidade de transporte</b>	<b>Taxa de deposição</b>	<b>Área transversal preenchida</b>	<b>Tempo de enchimento</b>	<b>Volume sólido passado</b>
<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>anos</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
2.00	850 931	780 390	5.01	0.039	32 790
1.90	870 346	760 975	5.04	0.040	34 557
1.80	890 762	740 560	5.06	0.041	36 515
1.70	912 255	719 067	5.08	0.042	38 695
1.60	934 902	696 420	5.11	0.044	41 137
1.50	958 798	672 524	5.13	0.046	43 892
1.40	984 041	647 281	5.15	0.048	47 021
1.30	1 010 738	620 583	5.18	0.050	50 608
1.20	1 039 015	592 307	5.20	0.053	54 758
1.10	1 069 005	562 316	5.23	0.056	59 615
1.00	1 100 861	530 460	5.25	0.059	65 375
0.90	1 134 752	496 569	5.27	0.064	72 314
0.80	1 170 869	460 452	5.30	0.069	80 832
0.70	1 209 426	421 895	5.32	0.076	91 534
0.60	1 250 667	380 655	5.35	0.084	105 380
0.50	1 294 866	336 456	5.37	0.096	123 987
0.40	1 342 337	288 985	5.39	0.112	150 311
0.30	1 393 439	237 883	5.42	0.137	190 390
0.20	1 448 584	182 737	5.44	0.179	258 788
0.10	1 508 249	123 072	5.46	0.266	401 826
0.00	1 631 321	0	0.00	0.000	0
<b><math>\Sigma</math></b>			<b>105</b>	<b>1.599</b>	<b>1 980 324</b>

Em termos médios, são transportados anualmente cerca de 1 238 000 m<sup>3</sup> de sedimentos mas, em situação de equilíbrio (situação inicial) deveriam ser 1 631 000 m<sup>3</sup>, havendo uma quebra no transporte

sedimentar na ordem dos 393 000 m<sup>3</sup> por ano. Um ano após a dragagem a cota já teria subido 1.60 metros e teriam sido transportados para além da secção dragada, cerca de 1 129 320 m<sup>3</sup>. No ano seguinte o impacto já seria menor, sendo atingido as condições iniciais e o volume sólido transportado seria de cerca de 1 431 993 m<sup>3</sup>. Este efeito tem uma duração de 1.59 anos. Como já referido, assume-se que esta dragagem de 630 000 m<sup>3</sup> é realizada todos os anos, pelo que o impacto causado a partir do terceiro ano de dragagens consecutivas iguala o volume dragado anualmente.

Em conclusão, pode-se afirmar que o impacto provocado pelas dragagens é de 630 000 m<sup>3</sup>/ano. Admitindo que na situação de equilíbrio o caudal sólido seria de aproximadamente 1 631 000 m<sup>3</sup>/ano, implica uma perda de 40% no caudal sólido anualmente transportado devido às dragagens. Comparando com o valor do caudal sólido em situação natural, que foi admitido com sendo de 2 000 000 m<sup>3</sup>/ano, o impacto das dragagens será relativamente inferior, havendo uma quebra no transporte sedimentar de aproximadamente 30% devido a este impacto.

#### **4.5. Sedimentos Disponíveis**

A carga sólida disponível também é um factor importante. A protecção dos solos e margens diminuem a erosão hídrica e consequente produção de sedimentos.

Como foi referido no Capítulo 2, os solos dominantes da bacia são os Leptossolos com 53% da área ocupada. Estes apresentam maior susceptibilidade para a erosão hídrica, já que apresentam menor capacidade de armazenamento e de retenção de água e por isso têm uma maior capacidade de gerar escoamento.

Também, 22% da área da bacia correspondem a matos e florestas degradadas e, se a este aspecto se lhe adicionar as consequências geradas pelos incêndios do início do Século XXI, facilmente se pode concluir que a estimativa é para um aumento da carga sólida e não de diminuição desta. A impermeabilização dos solos da bacia, geram também maior escoamento superficial.

Do revestimento das margens pode apontar-se o facto de impedir sua erodibilidade, cria maior resistência ao escoamento, provocando diminuição da velocidade de escoamento, e dificultam a chegada de sedimentos ao rio.

Assim, do efeito contraditório destes aspectos torna-se difícil perceber se tem existido alguma variação significativa no volume de sedimentos disponíveis na bacia do rio Douro.

---

## 5. QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE SÓLIDO

Como verificado, a quantificação do volume sedimentar transportado pelo rio Douro até a foz envolve mecanismos complexos, pelo que qualquer tentativa de o quantificar obriga a que ter em linha de conta as incertezas associadas bem como a disparidade dos valores possíveis, pelo recurso a metodologias diferentes para a estimativa do mesmo parâmetro. A falta de medições reais para a calibração dos modelos escolhidos e o dinamismo que a própria bacia hidrográfica tem são factores que justificam estas dificuldades.

Diversos autores e o próprio PBH do Douro referem que o volume sedimentar transportado pelo rio Douro é da ordem dos 2 000 000 m<sup>3</sup>/ano e que actualmente ronda os 250 000 m<sup>3</sup>/ano o que implica que nas últimas Décadas do Século XX houve uma quebra no trânsito sedimentar da ordem dos 1 750 000 m<sup>3</sup>/ano (redução de 87.5% no volume sólido afluente anualmente à foz).

Com base nos cálculos apresentados até aqui, pode-se proceder a uma distribuição da importância relativa de cada acção antropogénica nesta redução do caudal sólido do rio Douro.



Figura 19 – Distribuição relativa do impacto de diversos factores no transporte sólido do rio Douro.

Como ilustrado na Figura 19, o impacto com mais significado na quebra sedimentar no rio Douro será a diminuição da velocidade de escoamento, principalmente originada pelas albufeiras (40%) seguido das dragagens (30%). A diminuição do caudal do rio Douro devidos à regularização e à captação para abastecimento das populações, indústria e agricultura (principalmente em Espanha) tem um peso de 20% na diminuição do volume sedimentar. Como outros impactos entendem-se os restantes casos mencionados neste estudo, que não foram alvo de uma análise mais detalhada visto se prever à partida que o seu impacto na redução do caudal sólido fosse pouco significativo (10%) quando comparado com os outros casos analisados, e porque essa análise é complexa e não dispõe de base de dados adequada.

## 6. CONCLUSÕES

A escassez de sedimentos afluentes à foz do Douro é apontada por alguns especialistas como uma das causas dos problemas de erosão que sofre a costa Noroeste portuguesa. É referido por eles que o volume sedimentar no passado seria da ordem dos 2 000 000 m<sup>3</sup>/ano e que actualmente ronda apenas os 250 000 m<sup>3</sup>/ano. Não havendo um consenso entre a comunidade científica sobre o principal responsável por esta diminuição das fontes aluvionares a atingir a costa (se as barragens ou as dragagens), este estudo tentou dar uma resposta a este nível. A quantificação de valores é difícil, já que os modelos de cálculo são complexos e variam muito conforme a metodologia, não havendo normalmente dados reais para calibração. Assim, este estudo tenta distribuir de uma forma qualitativa as causas com mais impacto e como estes impactos são processados.

Ao longo dos anos o Homem tem aproveitado a enorme potencialidade hídrica do rio Douro, construindo nos seus cursos de água barragens, tanto para fins de aproveitamento hidroeléctrico como para captações de água para o abastecimento das populações, para a indústria e para a agricultura. O ser humano também moldou as suas margens e encostas para o cultivo, dragou o seu leito para tornar o rio navegável para o comércio, e quando este era inexistente, construiu canais artificiais para canalizar a água e transportar os produtos que a terra dava para outros pontos distantes. Todas estas acções, conjugadas com o crescimento urbano, impermeabilizando os solos e deixando, por sua vez, outros ao abandono, tornando susceptíveis matos e florestas à degradação e à erosão, irão contribuir para uma alteração significativa de todo um sistema de uma bacia hidrográfica, que apesar de dinâmica e em constante mudança, mantinha o seu equilíbrio natural.

Assim, o sistema sedimentar é afectado pela diminuição do caudal líquido escoado, devido pela retirada de caudais pelas captações e o efeito regularizador das barragens, pela diminuição da velocidade de escoamento, devido à alteração da secção transversal provocada pelas albufeiras e dragagens, e pela diminuição da carga sólida disponível, resultado da impermeabilização dos solos.

As barragens como barreira física em toda a secção transversal, provoca efeitos de dois tipos, o primeiro é a alteração do regime hidrológico e um outro será a retenção aluvionar nas albufeiras, afectando respectivamente, o caudal líquido e a velocidade de escoamento.

Analizado o sistema hídrico do rio Douro, pode concluir-se que as barragens no curso principal do rio na parte portuguesa funcionam a fio de água, logo, o seu impacto na alteração não é significativo. As barragens espanholas situadas no troço internacional têm um impacto mais acentuado na regularização de caudais. Por isso, e como o troço final da bacia é responsável por uma parte significativa do escoamento afluente à foz, as barragens portuguesas do rio Douro não conseguem amortecer caudais de ponta de cheias. Mas, por sua vez, o seu efeito na retenção de sedimentos nas albufeiras, devido muito também pela dimensão grosseira que é característica dos sedimentos, é responsável pela quase total diminuição da capacidade de transporte do rio.

As dragagens e as extracções de inertes por sua vez, não só retiram do sistema volumes de sedimentos que estariam no leito do rio disponíveis para serem transportados, como alteram as características da secção transversal, tendo impacto na velocidade de escoamento. Mais preocupante é a falta de controlo e fiscalização dos volumes de areias extraídos, indicando mesmo o PBH do Douro (INAG, 2001) a existência de extracções ilegais.

---

Na bacia hidrográfica do rio Douro a produção de sedimentos não se tem alterado significativamente nas últimas Décadas do Século XX, pelo que se pode concluir que o impacto causado por alguma alteração na carga sólida não é significativo para o volume sólido transportado pelo rio Douro.

Sendo assim, pode-se referir que a principal razão da diminuição do caudal sólido no curso principal do rio Douro é a diminuição da velocidade de escoamento pelo aumento da secção transversal (em comparação com um mesmo caudal) e implica na redução do volume sólido em 70%. As albufeiras provocadas pelas barragens têm mais impacto superior do que as dragagens (40% e 30% respectivamente). A diminuição do caudal só é responsável por 20% na diminuição do caudal sólido no Douro. Outros impactos, como a diminuição da carga sólida ou protecção das margens e encostas, serão apenas responsáveis por 10% da escassez sedimentar na foz.

Deste estudo conclui-se que as barragens são a principal causa responsável pela diminuição sedimentar afluente à foz do rio Douro. Mesmo assim, foram construídas um grande número de barragens na última Década do Século XX e serão construídas ainda outras no início do Século XXI, como o anúncio do Plano Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH), onde seis das dez barragens a construir serão na bacia hidrográfica do Douro. Quanto ao seu impacto futuro restará à comunidade científica e aos órgãos políticos debater sobre a importância da prevenção da costa mantendo um equilíbrio sedimentar entre o rio e a costa ou a prioridade é haver água disponível para abastecimento e a escassez sedimentar é um problema secundário (Ribeiro, 2007).

É de referir o vazio existente, envolvendo medições de caudal sólido e concentração de sedimentos (havendo só uma referência às campanhas de medição da Década de 80 e mesmo estas não englobam nenhuma estação sedimentológica no curso principal do rio). No futuro deveria ser assegurada uma monitorização constante.

A existência de valores reais medidos permitiria calibrar modelos computacionais ou mesmo físicos facilitando o conhecimento dos processos e mecanismos de transporte e sedimentação no rio Douro.

O conhecimento do comportamento sedimentar do rio Douro pode auxiliar no futuro a redução dos problemas de erosão costeira na costa Noroeste portuguesa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvares, M. T. (1997). *Transporte de Sedimentos no Sul de Portugal - Rios Tejo e Guadiana*. INAG, DSRN.
- Álvares, M. T., & Pimenta, M. T. (1998). *Erosão Hídrica e Transporte Sólido em Pequenas Bacias Hidrográficas*. INAG, Direcção de Serviços de recursos Hídricos.
- Barragens de Portugal. (2007).  
[http://cnpgb.inag.pt/gr\\_barragens/gbportugal/Mapanorte.htm](http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/Mapanorte.htm)
- Bettencourt, P. (1997). Notas Para Uma Estratégia de Gestão da Orla Costeira. *Colectânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal*, (pp. 265-283).
- Caramelo, L. d. (1997). *Caracterização dos Caudais da Bacia Hidrográfica do Douro: Modelação Estatística e Análise Espectral*. Universidade de Aveiro.
- CHDUero. (2008). *Confederación Hidrográfica del Duero*.  
[www.chduero.es](http://www.chduero.es)
- Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Coelho, C. (2006). *Hidráulica Fluvial*. Universidade de Aveiro.
- CORINE - Land Cover. (1985). *Coordenação da Informação do Meio Ambiente*. Comissão das Comunidades Europeias.
- Dias da Silva, J., & Oliveira, M. d. (2007). *As Cheias na Parte Portuguesa da Bacia Hidrográfica*. HIDRORUMO, Projectos e Gestão, S.A.
- Dias, J. (2007).  
[http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA3\\_cheias/GA35\\_CheiasPortugal/GA35\\_cheiasPortugal.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA3_cheias/GA35_CheiasPortugal/GA35_cheiasPortugal.html)
- Faria, F. (Outubro de 2003).  
[http://www.historia-energia.com/imagens/conteudos/A2\(FF\).pdf](http://www.historia-energia.com/imagens/conteudos/A2(FF).pdf).
- INAG. (2001). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro - Relatório Final*.  
[http://www.inag.pt/inag2004/port/a-intervencao/planeamento/pbh/pbh\\_douro/7/relfinal.pdf](http://www.inag.pt/inag2004/port/a-intervencao/planeamento/pbh/pbh_douro/7/relfinal.pdf)
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa.
- Oliveira, I. B. (1997). Proteger ou Não Proteger ou Sobre a Viabilidade de Diferentes Opções Face à Erosão da Costa Oeste Portuguesa. *Colectânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal* (pp. 205-227). Eurocoast-Portugal.
- Pimenta, M. T. (1995). *Avaliação da Erosão Hídrica em Pequenas Bacias na Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana*. Instituto Superior Técnico.
- Pimenta, M. T. (1998). *Directrizes Para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG*. INAG.

---

Ramos, F. S. (1997). Uma Estratégia de Intervenção na Linha de Costa. *Colectânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal* (pp. 151-161). Associação Eurocoast-Portugal.

Ribeiro, A. Á. (Novembro de 2007). *Entrevista: Agostinho Álvaras Ribeiro - Foz Côa é uma Oportunidade Única*. Engenharia e Vida , 16-23.

Rodrigo. (2007). *picassaweb.google.com*. Obtido em 01 de Julho de 2008.  
<http://picasaweb.google.com/lh/photo/4DFn0tgc7GvkMFpfdhySA&h=1880&w=2816&sz=80&hl=pt-PT&>

Rodrigues, R., Brandão, C., & da Costa, J. P. (2003). *As Cheias no Douro Ontem, Hoje e Amanhã*. INAG, Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos.

SAECivil. (2007). *Actividades Potencialmente Geradoras da Evolução da Linha de Costa*. Universidade de Aveiro.

SNIRH. (2007). *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*.  
[www.snirh.pt](http://www.snirh.pt)

Strand, D. B., & Pemberton, E. L. (1982). *Reservoir Sedimentation*. Denver, Colorado: Technical Guideline for Bureau of Reclamation.

Vicente, C. M., & Pereira, M. C. (1997). Considerações Sobre uma Estratégia de Defesa Contra a Erosão Costeira em Portugal. *Colectânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal* (pp. 125-129). Associação Eurocoast-Portugal.



## ANEXO I – CURVAS DE CAUDAL SÓLIDO

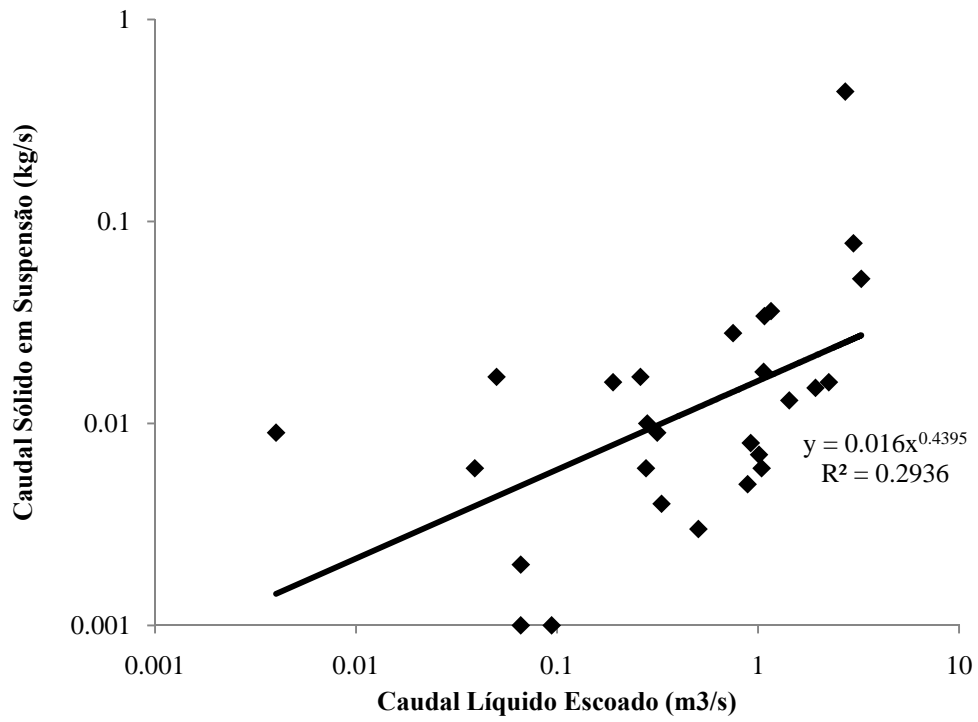


Figura 1 - Curva de caudal sólido de Sarzedinho.

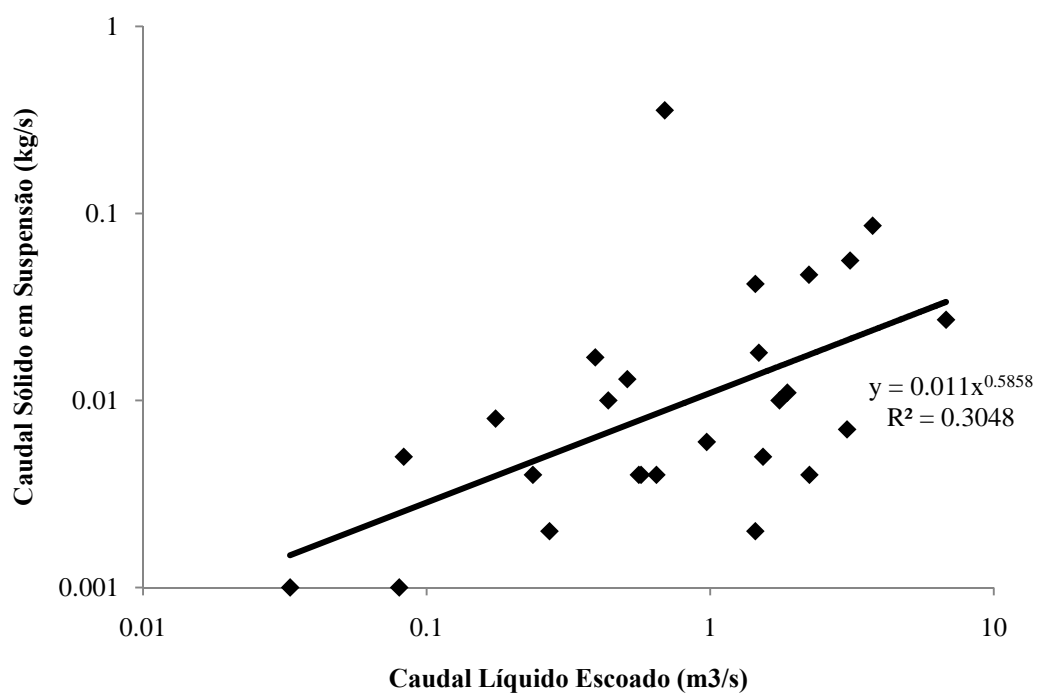


Figura 2 - Curva de caudal sólido de Quinta Castelo Borges.

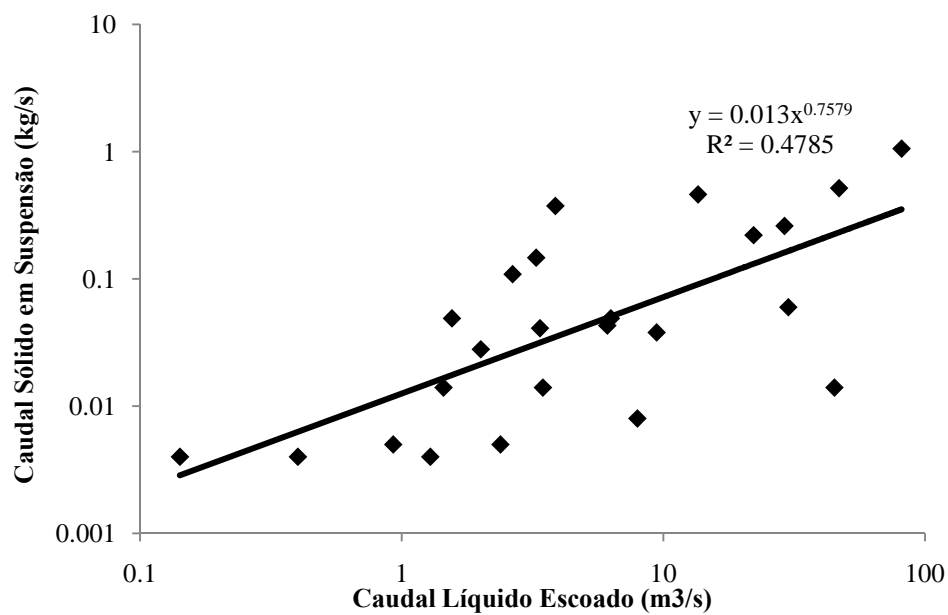


Figura 3 - Curva de caudal sólido de Quinta Vale de Telhas.

## ANEXO II – CÁLCULO DO CAUDAL SÓLIDO PARA DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DE SECÇÃO E ESCOAMENTO.

Tabela 1 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 15°, com o caudal médio de 383 m<sup>3</sup>/s.

Sedimentos						Secção			Escoamento		
d <sub>50</sub>	σ <sub>D</sub>	s	L	Θ	i	h	K	A	P	R	U
mm			m	°	%	m	m <sup>1/3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m	m	m/s
1.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
2.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
3.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
4.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
5.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
6.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
7.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39
8.0	2.5	2.7	50	15	1	1.97	20	112.822	51.018	2.211	3.39

Caudal sólido por arrastamento		Caudal sólido em suspensão		Caudal sólido total	
d <sub>50</sub>	Meyer-Peter e Müller	Van Rijn	Van Rijn	Van Rijn	Ackers e White
mm	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano
1.0	5 409 893	14 454 167	17 839 326	32 293 493	23 857 842
2.0	5 089 737	7 042 043	9 381 004	16 423 047	9 602 124
3.0	4 549 657	4 608 905	6 525 133	11 134 038	5 320 026
4.0	4 048 535	3 392 468	5 306 405	8 698 873	3 296 044
5.0	3 620 973	2 659 325	4 455 911	7 115 237	2 177 838
6.0	3 262 011	2 257 499	3 920 296	6 177 795	1 504 012
7.0	2 960 153	2 108 427	3 657 549	5 765 975	1 073 546
8.0	2 704 499	1 985 447	3 453 201	5 438 648	786 422

Tabela 2 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 30°, com o caudal médio de 383 m<sup>3</sup>/s.

Sedimentos						Secção			Escoamento		
d <sub>50</sub>	σ <sub>D</sub>	s	L	Θ	i	h	K	A	P	R	U
mm			m	°	%	m	m <sup>1/3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m	m	m/s
1.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
2.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
3.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
4.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
5.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
6.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
7.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37
8.0	2.5	2.7	50	30	1	2.12	20	113.790	52.120	2.183	3.37

Caudal sólido por arrastamento		Caudal sólido em suspensão		Caudal sólido total	
d <sub>50</sub>	Meyer-Peter e Müller	Van Rijn	Van Rijn	Van Rijn	Ackers e White
mm	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano
1.0	5 306 872	14 028 397	18 016 700	32 045 097	21 526 691
2.0	4 992 812	6 834 470	9 411 095	16 245 565	8 643 886
3.0	4 463 017	4 472 027	6 338 088	10 810 115	4 774 861
4.0	3 971 438	3 290 629	5 159 981	8 450 610	2 949 229
5.0	3 552 018	2 578 472	4 337 881	6 916 354	1 942 675
6.0	3 199 891	2 188 049	3 820 458	6 008 507	1 337 441
7.0	2 903 782	2 043 060	3 567 695	5 610 755	951 647
8.0	2 652 997	1 923 416	3 371 472	5 294 888	694 896

Tabela 3 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 45°, com o caudal médio de 383 m<sup>3</sup>/s.

Sedimentos						Secção			Escoamento		
d <sub>50</sub>	σ <sub>D</sub>	s	L	Θ	i	h	K	A	P	R	U
mm			m	°	%	m	m <sup>1/3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m	m	m/s
1.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
2.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
3.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
4.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
5.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
6.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
7.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34
8.0	2.5	2.7	50	45	1	2.20	20	114.646	53.106	2.159	3.34

Caudal sólido por arrastamento		Caudal sólido em suspensão		Caudal sólido total	
d <sub>50</sub>	Meyer-Peter e Müller	Van Rijn	Van Rijn	Van Rijn	Ackers e White
mm	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano
1.0	5 218 099	13 665 197	17 915 706	31 580 903	20 365 799
2.0	4 909 293	6 657 368	9 319 092	15 976 460	8 170 227
3.0	4 388 360	4 355 240	6 180 438	10 535 678	4 505 851
4.0	3 905 005	3 203 743	5 032 915	8 236 658	2 778 138
5.0	3 492 600	2 509 499	4 232 934	6 742 433	1 826 627
6.0	3 146 364	2 128 811	3 729 901	5 858 712	1 255 193
7.0	2 855 208	1 987 309	3 484 953	5 472 262	891 414
8.0	2 608 618	1 870 512	3 294 954	5 165 466	649 636

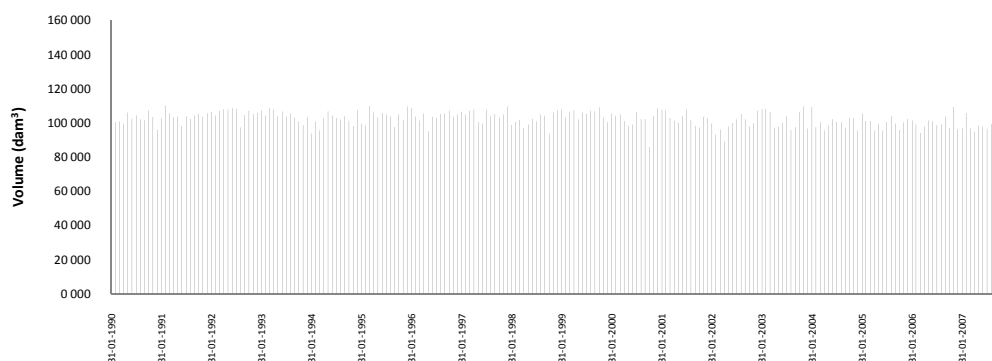
Tabela 4 - Caudal sólido para uma inclinação dos taludes de 60°, com o caudal médio de 383 m<sup>3</sup>/s.

Sedimentos						Secção			Escoamento		
d <sub>50</sub>	σ <sub>D</sub>	s	L	Θ	i	h	K	A	P	R	U
mm			m	°	%	m	m <sup>1/3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m	m	m/s
1.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
2.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
3.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
4.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
5.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
6.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
7.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32
8.0	2.5	2.7	50	60	1	2.25	20	115.323	53.894	2.140	3.32

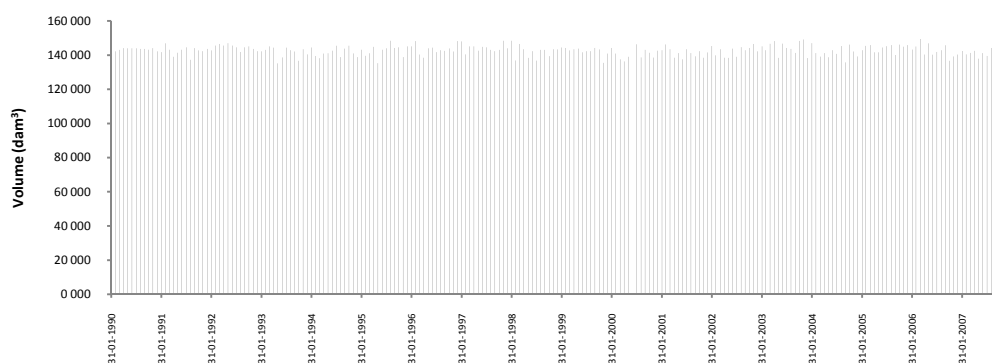
  

Caudal sólido por arrastamento		Caudal sólido em suspensão		Caudal sólido total	
d <sub>50</sub>	Meyer-Peter e Müller	Van Rijn	Van Rijn	Van Rijn	Ackers e White
mm	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano
1.0	5 149 417	13 386 549	17 796 728	31 183 276	19 600 054
2.0	4 844 675	6 521 473	9 229 192	15 750 665	7 858 592
3.0	4 330 600	4 265 626	6 059 617	10 325 243	4 329 023
4.0	3 853 606	3 137 077	4 935 017	8 072 094	2 665 726
5.0	3 446 630	2 456 583	4 151 716	6 608 298	1 750 401
6.0	3 104 951	2 083 367	3 659 563	5 742 930	1 201 178
7.0	2 817 627	1 944 542	3 420 504	5 365 047	851 863
8.0	2 574 282	1 829 933	3 235 172	5 065 104	619 920

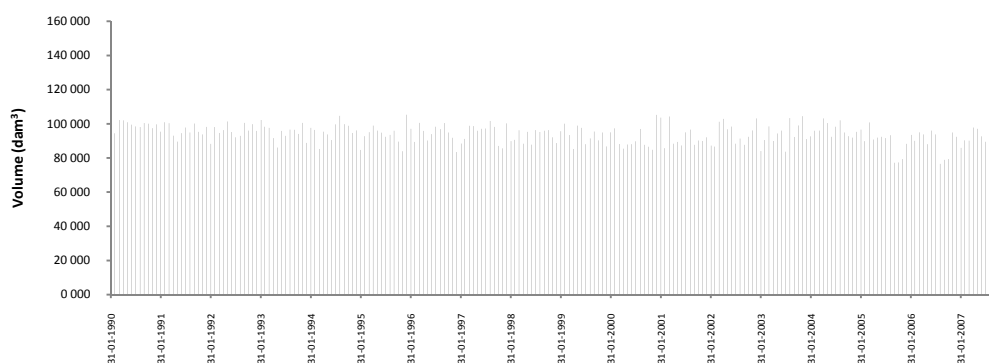
### ANEXO III – VOLUME ARMAZENADO NAS ALBUFEIRAS SITUADAS NA PARTE PORTUGUESA DO RIO DOURO.



a) Crestumas - Lever

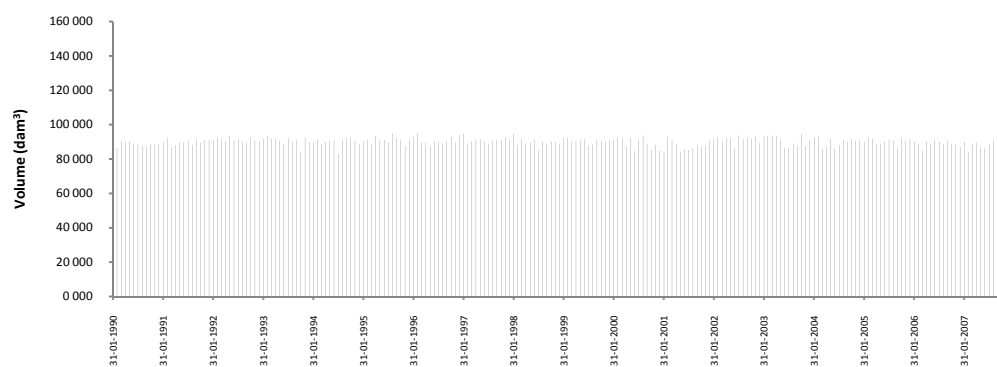


b) Carrapatelo

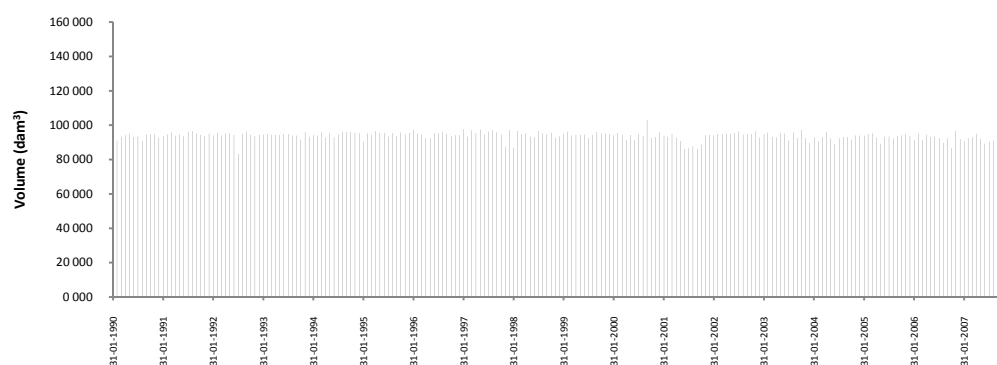


c) Torrão

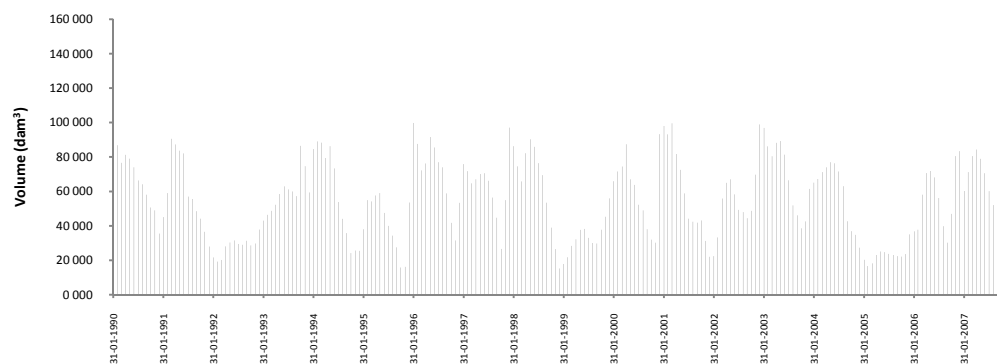
Figura 4 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a 10 000 dm³ (I).



a) Régua



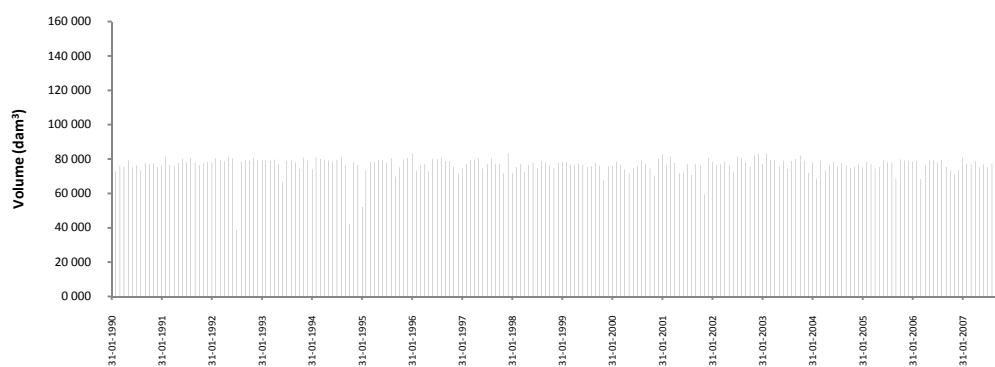
b) Valeira



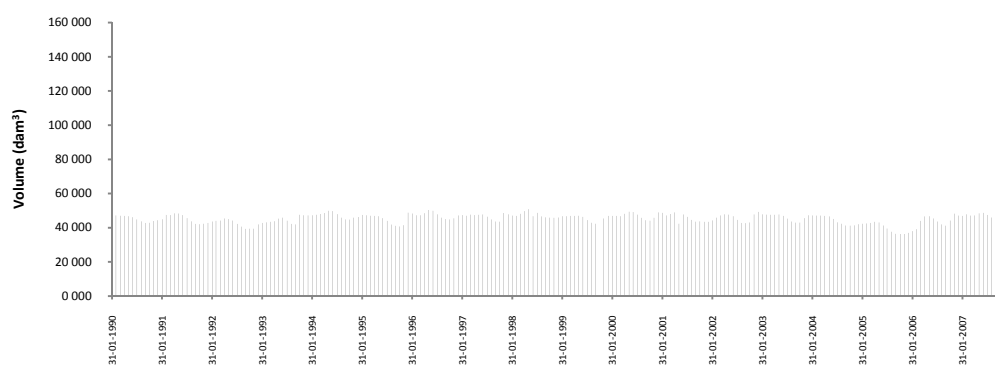
c) Vilar

Figura 5 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a 10 000 dm<sup>3</sup> (II).

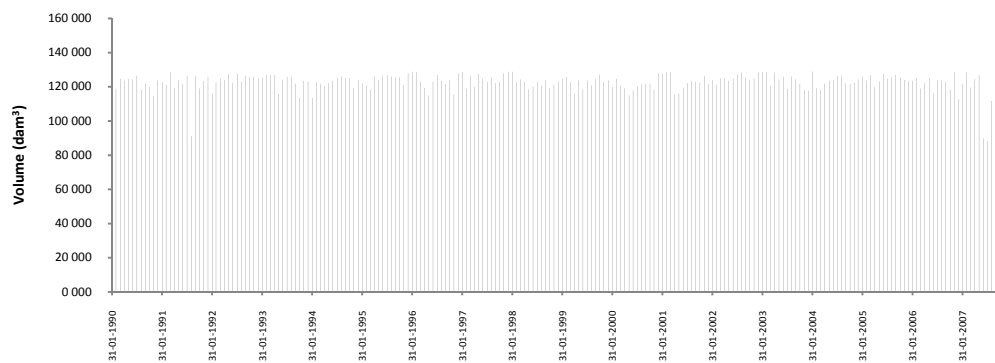




a) Pocinho



b) Azibo



c) Bemposta

Figura 6 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a 10 000 dm<sup>3</sup> (III).

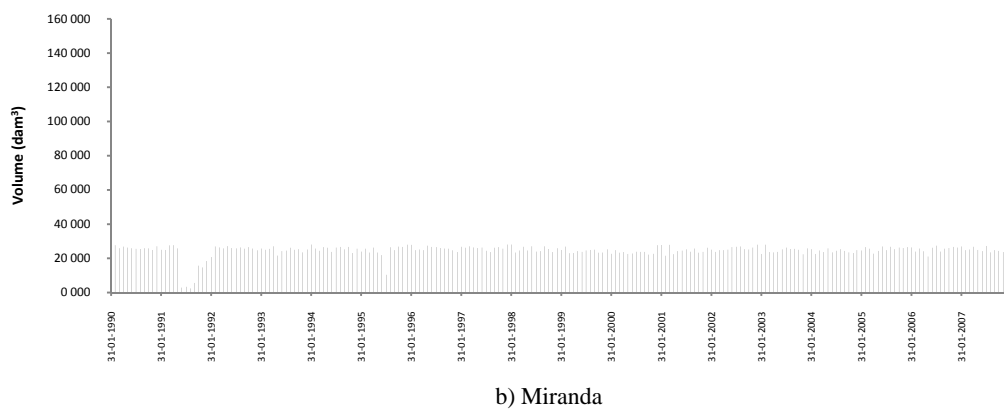
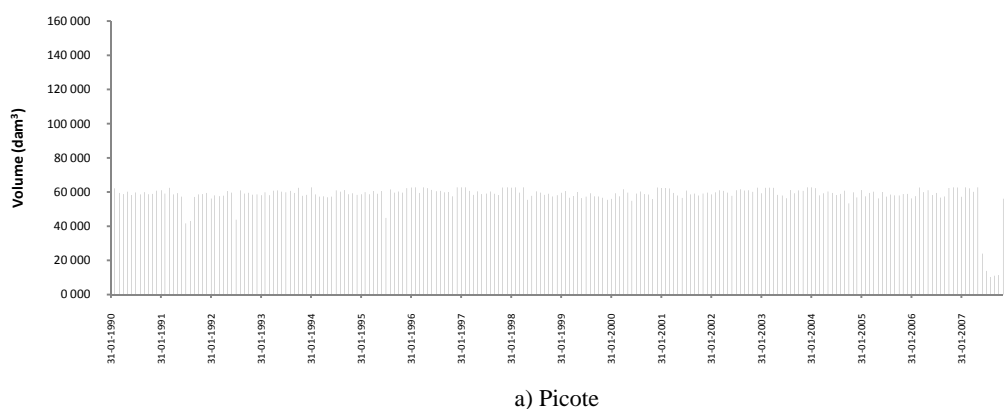


Figura 7 – Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento superior a 10 000 dm<sup>3</sup> (IV).

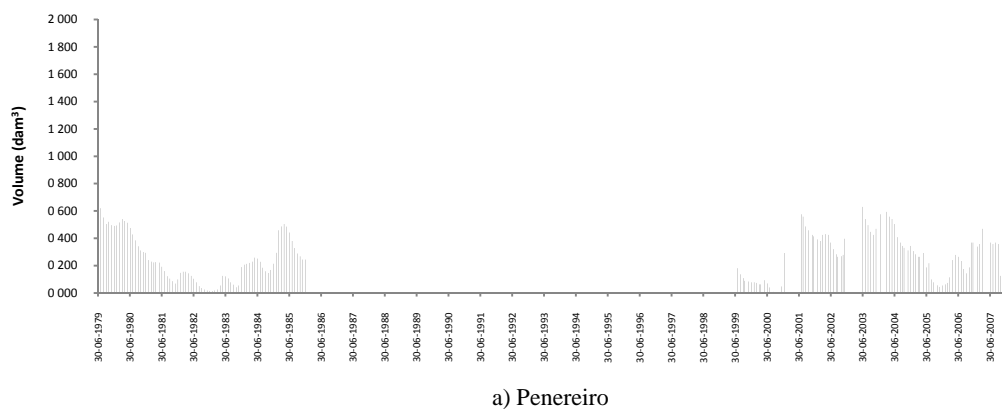
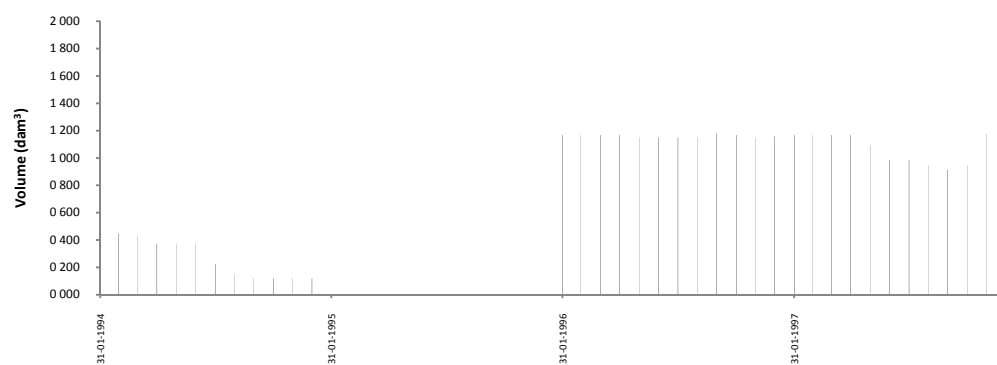
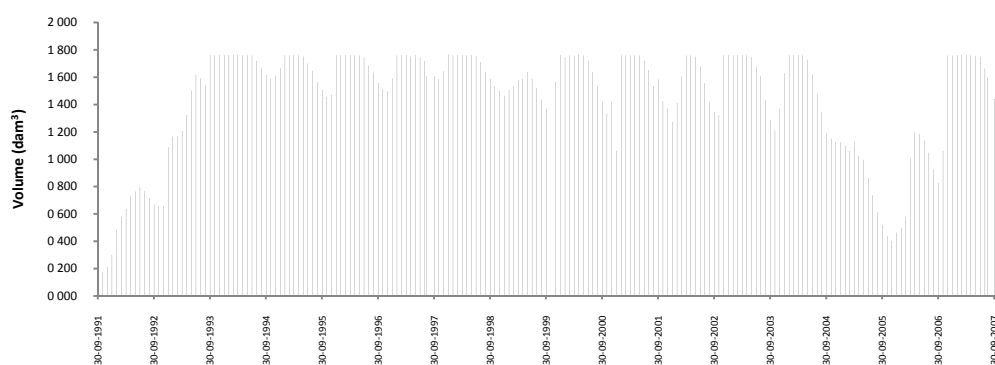


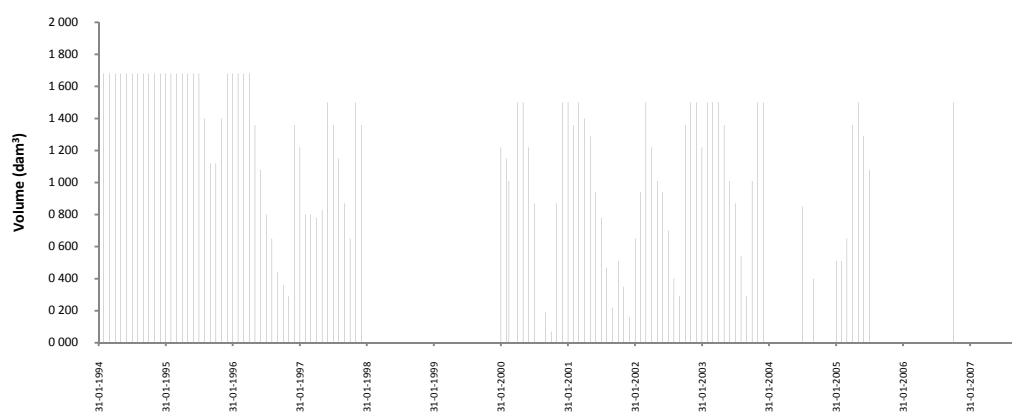
Figura 8 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento inferior a 10 000 dm<sup>3</sup> (I).



a) Carviçais



b) Alijó



c) Serra Serrada

Figura 9 - Volume armazenado, ao fim do mês, nas albufeiras situadas na parte portuguesa do rio Douro com capacidade de armazenamento inferior a 10 000 dm<sup>3</sup> (II).



**ANEXO IV – CAPACIDADE DE TRANSPORTE NA ALBUFEIRA DE CARRAPATELO.**

Tabela 5 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=3.0$  mm, pela metodologia de Ackers e White.

Distância km	Classes de caudal				Qs m <sup>3</sup> /ano
	1	2	3	4	
0	555 229	2 176 780	7 981 530	26 952 042	1 615 532
1	5 995	534 076	4 198 000	19 657 261	483 215
2	0	148 561	2 391 278	14 693 530	228 259
3	0	33 770	1 434 792	11 205 780	123 710
4	0	1 073	890 213	8 688 959	74 103
5	0	0	563 279	6 831 572	49 849
6	0	0	359 189	5 434 382	34 369
7	0	0	228 128	4 365 924	24 018
8	0	0	142 338	3 537 095	16 933
9	0	0	85 609	2 886 073	12 001
10	0	0	48 120	2 369 068	8 534
11	0	0	23 759	1 954 492	6 093
12	0	0	8 709	1 619 186	4 395
13	0	0	869	1 345 916	3 275
14	0	0	0	1 121 691	2 686
15	0	0	0	936 599	2 243
16	0	0	0	782 992	1 875
17	0	0	0	654 913	1 568
18	0	0	0	547 678	1 312
19	0	0	0	457 573	1 096
20	0	0	0	381 632	914
21	0	0	0	317 466	760
22	0	0	0	263 143	630
23	0	0	0	217 085	520
24	0	0	0	178 004	426
25	0	0	0	144 835	347
26	0	0	0	116 700	279
27	0	0	0	92 870	222
28	0	0	0	72 739	174
29	0	0	0	55 800	134
30	0	0	0	41 634	100
31	0	0	0	29 891	72
32	0	0	0	20 287	49
33	0	0	0	12 598	30
34	0	0	0	6 665	16
35	0	0	0	2 421	6
36	0	0	0	72	0
37	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0

Tabela 6 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=2.0$  mm, pela metodologia de Ackers e White.

Distância km	Classes de caudal				Qs m <sup>3</sup> /ano
	1	2	3	4	
0	229 588	3 956 056	4 636 658	18 086 569	<b>1 811 096</b>
1	65 167	1 132 121	7 905 098	36 656 518	<b>984 464</b>
2	723	413 405	4 698 609	27 719 391	<b>487 803</b>
3	0	167 051	2 965 658	21 402 280	<b>284 809</b>
4	0	68 308	1 955 255	16 815 497	<b>179 921</b>
5	0	25 571	1 331 606	13 408 609	<b>120 041</b>
6	0	7 039	929 315	10 828 458	<b>83 595</b>
7	0	315	660 590	8 841 305	<b>60 556</b>
8	0	0	475 973	7 288 240	<b>45 752</b>
9	0	0	346 216	6 058 662	<b>35 093</b>
10	0	0	253 310	5 073 986	<b>27 211</b>
11	0	0	185 783	4 277 345	<b>21 289</b>
12	0	0	136 112	3 626 907	<b>16 778</b>
13	0	0	99 239	3 091 447	<b>13 303</b>
14	0	0	71 688	2 647 339	<b>10 602</b>
15	0	0	51 027	2 276 498	<b>8 485</b>
16	0	0	35 523	1 964 921	<b>6 817</b>
17	0	0	23 928	1 701 658	<b>5 498</b>
18	0	0	15 332	1 478 067	<b>4 451</b>
19	0	0	9 069	1 287 269	<b>3 622</b>
20	0	0	4 652	1 123 745	<b>2 968</b>
21	0	0	1 744	983 033	<b>2 458</b>
22	0	0	176	861 505	<b>2 074</b>
23	0	0	0	756 187	<b>1 811</b>
24	0	0	0	664 630	<b>1 592</b>
25	0	0	0	584 807	<b>1 400</b>
26	0	0	0	515 027	<b>1 233</b>
27	0	0	0	453 879	<b>1 087</b>
28	0	0	0	400 174	<b>958</b>
29	0	0	0	352 909	<b>845</b>
30	0	0	0	311 234	<b>745</b>
31	0	0	0	274 426	<b>657</b>
32	0	0	0	241 867	<b>579</b>
33	0	0	0	213 028	<b>510</b>
34	0	0	0	187 453	<b>449</b>
35	0	0	0	164 750	<b>395</b>
36	0	0	0	144 579	<b>346</b>
37	0	0	0	126 646	<b>303</b>
38	0	0	0	110 695	<b>265</b>
39	0	0	0	96 502	<b>231</b>
40	0	0	0	83 873	<b>201</b>

Tabela 7 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=1.0$  mm, pela metodologia de Ackers e White.

Distância km	Classes de caudal				Qs
	1	2	3	4	m <sup>3</sup> /ano
0	719 001	9 700 742	12 976 935	52 653 481	4 649 394
1	301 684	3 163 834	21 274 251	103 460 706	2 776 244
2	73 024	1 370 380	13 136 010	79 113 878	1 483 450
3	22 638	695 195	8 643 989	61 794 665	913 571
4	7 549	389 751	5 965 109	49 137 479	610 354
5	2 359	233 912	4 271 005	39 673 564	430 485
6	539	147 379	3 149 211	32 457 247	315 776
7	21	96 227	2 378 338	26 860 444	238 708
8	0	64 511	1 832 208	22 454 645	184 809
9	0	44 100	1 435 301	18 940 566	145 802
10	0	30 569	1 140 528	16 104 810	116 850
11	0	21 387	917 496	13 792 403	94 906
12	0	15 038	745 999	11 888 937	77 976
13	0	10 583	612 251	10 308 698	64 714
14	0	7 423	506 634	8 986 605	54 186
15	0	5 165	422 302	7 872 642	45 730
16	0	3 544	354 296	6 927 943	38 869
17	0	2 381	298 965	6 121 999	33 251
18	0	1 549	253 585	5 430 637	28 613
19	0	962	216 096	4 834 537	24 755
20	0	554	184 919	4 318 136	21 525
21	0	29	158 835	3 868 805	18 718
22	0	0	136 893	3 476 222	16 464
23	0	0	118 340	3 131 901	14 536
24	0	0	102 582	2 828 818	12 873
25	0	0	89 139	2 561 131	11 433
26	0	0	77 626	2 323 953	10 180
27	0	0	67 731	2 113 176	9 087
28	0	0	59 198	1 925 330	8 130
29	0	0	51 817	1 757 471	7 289
30	0	0	45 414	1 607 093	6 549
31	0	0	39 844	1 472 052	5 894
32	0	0	34 989	1 350 505	5 314
33	0	0	30 747	1 240 868	4 800
34	0	0	27 032	1 141 769	4 341
35	0	0	23 774	1 052 020	3 933
36	0	0	20 911	970 585	3 568
37	0	0	18 392	896 563	3 241
38	0	0	16 172	829 164	2 947
39	0	0	14 214	767 695	2 684
40	0	0	12 485	711 546	2 446

Tabela 8 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=0.5$  mm, pela metodologia de Ackers e White.

Distância km	Classes de caudal				Qs
	1	2	3	4	m <sup>3</sup> /ano
0	6 584 461	29 256 539	132 973 844	574 464 964	23 226 520
1	998 954	10 232 648	76 809 022	431 571 902	9 700 891
2	316 215	4 750 540	48 479 513	332 549 194	5 494 609
3	136 256	2 586 701	32 593 429	261 690 470	3 531 891
4	69 646	1 560 485	22 974 255	209 610 199	2 444 005
5	39 682	1 011 165	16 800 280	170 454 518	1 777 117
6	24 372	690 699	12 652 003	140 438 073	1 339 689
7	15 815	491 309	9 759 978	117 036 384	1 038 294
8	10 700	360 883	7 681 507	98 520 321	822 647
9	7 482	272 085	6 149 156	83 677 587	663 657
10	5 371	209 616	4 994 668	71 640 602	543 532
11	3 940	164 452	4 108 473	61 777 046	450 897
12	2 942	131 037	3 417 079	53 618 489	378 210
13	2 231	105 820	2 869 915	46 812 784	320 317
14	1 713	86 459	2 431 390	41 091 665	273 603
15	1 329	71 370	2 075 954	36 248 289	235 474
16	1 041	59 454	1 784 939	32 121 408	204 035
17	822	49 931	1 544 487	28 584 043	177 874
18	653	42 240	1 344 165	25 535 270	155 928
19	522	35 969	1 176 015	22 894 186	137 380
20	420	30 813	1 033 893	20 595 418	121 597
21	339	17 337	913 008	18 585 754	104 932
22	274	15 362	809 587	16 821 581	93 843
23	222	13 630	720 627	15 266 927	84 207
24	181	12 112	643 723	13 891 942	75 797
25	147	10 781	576 932	12 671 718	68 428
26	120	9 614	518 672	11 585 359	61 947
27	98	8 589	467 646	10 615 251	56 225
28	80	7 687	422 787	9 746 474	51 158
29	65	6 893	383 209	8 966 335	46 656
30	53	6 191	348 173	8 263 992	42 643
31	43	5 570	317 059	7 630 143	39 057
32	35	5 020	289 346	7 056 784	35 843
33	28	4 531	264 593	6 536 996	32 955
34	22	4 096	242 424	6 064 782	30 353
35	18	3 708	222 520	5 634 926	28 005
36	14	3 361	204 606	5 242 880	25 880
37	11	3 051	188 446	4 884 660	23 953
38	9	2 773	173 836	4 556 774	22 203
39	7	2 524	160 601	4 256 147	20 609
40	5	2 299	148 588	3 980 070	19 156



Tabela 9 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=3.0$  mm, pela metodologia de Van Rijn.

Distância km	Classes de caudal				Qs m <sup>3</sup> /ano
	1	2	3	4	
0	414 065	2 226 322	12 968 031	71 213 119	<b>1 950 901</b>
1	3 340	520 939	7 513 838	57 256 983	<b>764 317</b>
2	0	143 291	4 603 721	47 066 144	<b>435 517</b>
3	0	31 185	2 861 146	38 818 202	<b>273 752</b>
4	0	715	1 788 525	31 907 363	<b>182 991</b>
5	0	0	1 120 017	26 104 913	<b>129 104</b>
6	0	0	698 870	21 273 962	<b>92 496</b>
7	0	0	431 035	17 290 566	<b>67 033</b>
8	0	0	259 611	14 031 860	<b>49 037</b>
9	0	0	149 793	11 380 693	<b>36 159</b>
10	0	0	80 020	9 231 077	<b>26 863</b>
11	0	0	36 804	7 491 032	<b>20 127</b>
12	0	0	11 750	6 083 067	<b>15 266</b>
13	0	0	354	4 943 204	<b>11 859</b>
14	0	0	0	4 019 331	<b>9 625</b>
15	0	0	0	3 269 362	<b>7 829</b>
16	0	0	0	2 659 488	<b>6 369</b>
17	0	0	0	2 162 626	<b>5 179</b>
18	0	0	0	1 757 098	<b>4 208</b>
19	0	0	0	1 425 554	<b>3 414</b>
20	0	0	0	1 154 089	<b>2 764</b>
21	0	0	0	931 543	<b>2 231</b>
22	0	0	0	748 937	<b>1 793</b>
23	0	0	0	599 032	<b>1 435</b>
24	0	0	0	475 975	<b>1 140</b>
25	0	0	0	375 023	<b>898</b>
26	0	0	0	292 322	<b>700</b>
27	0	0	0	224 734	<b>538</b>
28	0	0	0	169 699	<b>406</b>
29	0	0	0	125 126	<b>300</b>
30	0	0	0	89 309	<b>214</b>
31	0	0	0	60 858	<b>146</b>
32	0	0	0	38 655	<b>93</b>
33	0	0	0	21 820	<b>52</b>
34	0	0	0	9 720	<b>23</b>
35	0	0	0	2 081	<b>5</b>
36	0	0	0	0	<b>0</b>
37	0	0	0	0	<b>0</b>
38	0	0	0	0	<b>0</b>
39	0	0	0	0	<b>0</b>
40	0	0	0	0	<b>0</b>

Tabela 10 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=2.0$  mm, pela metodologia de Van Rijn.

Distância km	Classes de caudal				Qs m <sup>3</sup> /ano
	1	2	3	4	
0	102 555	3 224 321	7 891 773	54 199 201	1 764 756
1	21 692	968 123	12 143 417	84 030 658	1 267 823
2	0	332 971	7 982 290	71 398 713	759 646
3	0	111 443	5 251 509	60 799 142	496 006
4	0	30 133	3 452 716	51 414 255	338 728
5	0	2 664	2 275 127	43 108 119	239 412
6	0	0	1 503 680	35 880 598	175 325
7	0	0	995 311	29 705 383	130 312
8	0	0	657 612	24 507 557	97 787
9	0	0	431 515	20 180 152	73 981
10	0	0	279 213	16 604 249	56 363
11	0	0	176 318	13 663 240	43 203
12	0	0	106 933	11 250 743	33 300
13	0	0	60 588	9 273 926	25 811
14	0	0	30 337	7 654 058	20 133
15	0	0	11 605	6 325 597	15 838
16	0	0	1 640	5 234 632	12 633
17	0	0	0	4 337 159	10 386
18	0	0	0	3 597 421	8 615
19	0	0	0	2 986 439	7 152
20	0	0	0	2 480 744	5 941
21	0	0	0	2 061 329	4 936
22	0	0	0	1 712 782	4 102
23	0	0	0	1 422 591	3 407
24	0	0	0	1 180 572	2 827
25	0	0	0	978 426	2 343
26	0	0	0	809 364	1 938
27	0	0	0	667 827	1 599
28	0	0	0	549 245	1 315
29	0	0	0	449 855	1 077
30	0	0	0	366 549	878
31	0	0	0	296 755	711
32	0	0	0	238 337	571
33	0	0	0	189 521	454
34	0	0	0	148 828	356
35	0	0	0	115 026	275
36	0	0	0	87 084	209
37	0	0	0	64 145	154
38	0	0	0	45 495	109
39	0	0	0	30 545	73
40	0	0	0	18 820	45

Tabela 11 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=1.0$  mm, pela metodologia de Van Rijn.

Distância km	Classes de caudal				Qs
	1	2	3	4	m <sup>3</sup> /ano
0	357 619	6 496 971	18 377 474	108 969 100	3 792 483
1	127 840	2 958 810	25 394 434	150 218 892	2 959 408
2	10 504	1 258 811	18 541 751	132 868 343	1 858 117
3	0	542 289	15 117 736	118 506 083	1 368 406
4	0	235 439	10 473 287	104 743 060	954 183
5	0	99 056	7 219 144	91 334 730	681 872
6	0	37 163	4 990 410	78 642 814	497 764
7	0	9 846	3 472 063	67 035 555	370 336
8	0	167	2 433 842	56 722 922	280 597
9	0	0	1 718 234	47 758 735	216 526
10	0	0	1 220 200	40 088 477	168 547
11	0	0	870 128	33 596 980	132 189
12	0	0	621 737	30 892 614	110 944
13	0	0	444 012	25 779 552	88 133
14	0	0	315 954	21 541 914	70 372
15	0	0	223 186	18 031 682	56 450
16	0	0	155 751	15 122 720	45 475
17	0	0	106 683	12 709 303	36 778
18	0	0	71 053	10 703 759	29 857
19	0	0	45 349	9 033 883	24 330
20	0	0	27 050	7 640 445	19 905
21	0	0	14 348	6 474 971	16 359
22	0	0	5 972	5 497 818	13 521
23	0	0	1 134	4 676 558	11 266
24	0	0	0	3 984 644	9 542
25	0	0	0	3 400 310	8 143
26	0	0	0	2 905 675	6 958
27	0	0	0	2 486 026	5 953
28	0	0	0	2 129 220	5 099
29	0	0	0	1 825 217	4 371
30	0	0	0	1 565 693	3 749
31	0	0	0	1 343 728	3 218
32	0	0	0	1 153 558	2 762
33	0	0	0	990 364	2 372
34	0	0	0	850 112	2 036
35	0	0	0	729 414	1 747
36	0	0	0	625 418	1 498
37	0	0	0	535 718	1 283
38	0	0	0	458 279	1 097
39	0	0	0	391 375	937
40	0	0	0	333 541	799

Tabela 12 - Caudal sólido total na albufeira de Carrapatelo para um  $d_{50}=0.5$  mm, pela metodologia de Van Rijn.

Distância km	Classes de caudal				Qs m <sup>3</sup> /ano
	1	2	3	4	
0	2 195 474	12 122 795	56 988 143	269 539 347	<b>9 494 578</b>
1	353 415	6 135 919	43 578 968	230 875 238	<b>5 456 564</b>
2	60 407	2 876 675	39 509 683	210 422 953	<b>3 874 502</b>
3	7 104	1 342 305	29 168 667	193 862 624	<b>2 662 586</b>
4	0	647 536	20 833 417	176 472 162	<b>1 883 103</b>
5	0	321 652	14 700 479	157 784 077	<b>1 362 066</b>
6	0	161 666	10 371 295	138 717 428	<b>1 004 202</b>
7	0	80 130	7 360 381	120 307 206	<b>753 166</b>
8	0	37 642	5 268 815	115 021 582	<b>601 598</b>
9	0	15 518	3 807 627	97 318 355	<b>464 749</b>
10	0	4 517	2 777 645	82 020 070	<b>363 107</b>
11	0	133	2 044 089	68 983 433	<b>286 772</b>
12	0	0	1 516 067	57 976 792	<b>228 976</b>
13	0	0	1 132 031	48 739 051	<b>184 021</b>
14	0	0	849 975	41 013 197	<b>148 750</b>
15	0	0	640 940	34 563 254	<b>120 876</b>
16	0	0	484 751	29 181 236	<b>98 702</b>
17	0	0	367 196	24 688 458	<b>80 953</b>
18	0	0	278 156	20 933 929	<b>66 669</b>
19	0	0	210 354	17 791 429	<b>55 112</b>
20	0	0	158 500	15 156 174	<b>45 718</b>
21	0	0	118 716	12 941 551	<b>38 050</b>
22	0	0	88 132	11 076 138	<b>31 764</b>
23	0	0	64 610	9 501 100	<b>26 594</b>
24	0	0	46 540	8 167 977	<b>22 327</b>
25	0	0	32 709	7 036 826	<b>18 796</b>
26	0	0	22 192	6 074 685	<b>15 867</b>
27	0	0	14 287	5 254 310	<b>13 432</b>
28	0	0	8 460	4 553 139	<b>11 406</b>
29	0	0	4 309	3 952 451	<b>9 721</b>
30	0	0	1 557	3 436 675	<b>8 322</b>
31	0	0	96	2 992 829	<b>7 173</b>
32	0	0	0	2 610 068	<b>6 250</b>
33	0	0	0	2 279 305	<b>5 458</b>
34	0	0	0	1 992 909	<b>4 772</b>
35	0	0	0	1 744 458	<b>4 177</b>
36	0	0	0	1 528 532	<b>3 660</b>
37	0	0	0	1 340 547	<b>3 210</b>
38	0	0	0	1 176 615	<b>2 818</b>
39	0	0	0	1 033 434	<b>2 475</b>
40	0	0	0	908 189	<b>2 175</b>