

DETECÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA EM IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT 5TM

PALMEIRIM, José Carlos ⁽¹⁾e FERNANDES, Susana⁽²⁾

RESUMO

As crescentes necessidades de utilização da água a níveis industrial, agrícola e urbano, tornam indispensável um planeamento e gestão mais eficientes dos recursos hídricos disponíveis. Este aumento de eficiência na gestão é mais sensível nos anos hidrológicos de características mais afastadas do comportamento médio, quando se intensificam conflitos de utilização da água e a activação de prioridades. Para que as actividades de planeamento e gestão permaneçam eficazes, é imprescindível um conhecimento actualizado da existência e localização dos armazenamentos superficiais de água, incluindo os de menor capacidade, que para além da significativa influência nos períodos de estiagem, podem ser extremamente úteis, por exemplo, no combate a incêndios e ser utilizados como bacias de retenção em cheia.

O processamento digital de imagens de sensores remotos possibilita uma detecção territorialmente abrangente dos corpos de água e permite uma fácil e rápida actualização do inventário de armazenamentos superficiais.

Produziu-se um modelo para detecção de corpos de água em Portugal Continental por processamento digital de imagens do satélite Landsat 5TM. O modelo resulta de combinações não lineares de valores extremos de radiâncias de água de seis das sete bandas espectrais do satélite (todas excepto a banda térmica).

Para testar a eficiência do modelo encontrado para classificar corpos de água em imagens de satélite Landsat 5TM é realizada uma análise comparativa com o Cadastro Nacional de Infraestruturas Hidráulicas e com Cartas Militares de Portugal 1:25000.

Numa segunda fase criou-se uma imagem de satélite colorida, através da composição cromática de três das bandas espectrais do Landsat 5TM, com a sobreposição dos corpos de água classificados e à qual se agregou informação do Anuário das Albufeiras.

Actualmente está em desenvolvimento a incorporação do trabalho desenvolvido num sistema de ambiente *windows* que estará brevemente disponível para consulta em formato de CDROM.

Palavras chave: Imagens de satélite Landsat 5TM, Algoritmo de classificação, Corpos de água

¹ Acessor Principal da Direcção de Serviços de Utilizações de Domínio Hídrico, INAG

² Técnica Superior da Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, INAG

1 - INTRODUÇÃO

As crescentes necessidades de utilização da água a níveis industrial, agrícola e urbano, tornam indispensável um planeamento e gestão mais eficientes dos recursos hídricos disponíveis. Este aumento de eficiência na gestão é mais sensível nos anos hidrológicos de características mais afastadas do comportamento médio, quando se intensificam conflitos de utilização da água e a activação de prioridades. Para que as actividades de planeamento e gestão permaneçam eficazes, é imprescindível um conhecimento actualizado da existência e localização dos armazenamentos superficiais de água, incluindo os de menor capacidade, que para além da significativa influência nos períodos de estiagem, podem ser extremamente úteis, por exemplo, no combate a incêndios e ser utilizados como bacias de retenção em cheia.

O processamento digital de imagens de sensores remotos possibilita uma detecção territorialmente abrangente dos corpos de água e permite uma fácil e rápida actualização do inventário de armazenamentos superficiais.

Este trabalho tem como objectivo encontrar um modelo para detecção de corpos de água em Portugal Continental por processamento digital de imagens do satélite Landsat 5TM, tendo como base imagens de 24 de Janeiro de 1991 para o interior do país e de 12 de Novembro de 1990 para o litoral.

2 - CONSTRUÇÃO DO ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO

2.1 - Breve apresentação do Landsat 5 TM

O satélite Landsat 5TM regista a energia solar reflectida pelos corpos terrestres (radiâncias) em valores inteiros do intervalo [0 ; 255]. São produzidas sete imagens, correspondentes a sete bandas, ou seja, zonas do espectro solar.

Banda	Espectro	Comprimento de onda (em nm)
1	azul visível	[450 ; 520[
2	verde visível	[520 ; 600 [
3	vermelho visível	[630 ; 690 [
4	infravermelho próximo	[760 ; 900 [
5	infravermelho médio	[1550 ; 1750 [
7	infravermelho médio	[2080 ; 2350 [
6	infravermelho termal	[10400 ; 12500 [

Cada banda espectral do Landsat 5TM possui uma resolução de 30m, isto é, cada “*pixel*” congrega uma área quadrangular de 30 por 30m, excepto a banda térmica cuja resolução é de 120m. Assim um “*pixel*” poderá comportar mais que um tipo de “corpo terrestre”, isto é, corpos que reflectem a energia solar de formas distintas. Neste caso o valor de radiância apresentado pelo “*pixel*” corresponderá à média das radiâncias de todos os corpos abrangidos, ponderada pela área ocupada.

As imagens deste satélite são cenas quadrangulares de 185 km de largura. Para abranger o território de Portugal Continental são necessárias sete cenas, distribuídas por duas órbitas do

satélite cuja distância temporal é no mínimo de oito dias; a órbita 203 e a órbita 204. Cada cena é designada por dois valores, o primeiro indica a órbita e o segundo a linha do seu centro.

Assim para Portugal Continental temos:

Cena	Região	Cena	Região
204_31	Minho	203_31	Trás Os Montes
204_32	Beira Litoral	203_32	Beira Alta
204_33	Estremadura	203_33	Alto Alentejo
		203_34	Baixo Alentejo e Algarve (Sul)

2.2 - Desenvolvimento do algoritmo de classificação

Começou por ser feita uma análise preliminar dos dados com o objectivo de vislumbrar características que pudessem diferenciar os “*pixeis*” de água dos restantes. O primeiro passo foi a recolha de amostras na cena do Alto Alentejo.

Aquando do início deste trabalho havia já sido realizada uma tentativa de classificação de corpos de água em imagens do satélite Landsat 5TM, por aplicação de um algoritmo desenvolvido em Espanha. Trabalho de campo permitiu constatar que zonas de terreno de cultivo regadas (que passamos a designar por terreno encharcado) e solo à sombra (que denominamos sombra) eram também classificados por esse algoritmo como sendo água. Deparámo-nos com a necessidade de fazer uma distinção entre as zonas das margens das albufeiras e o seu interior pois uma vez que os “*pixeis*” correspondentes às margens conterão possivelmente solo além de água, não terão uma radiância “pura”. Assim foram recolhidas amostras das seguintes entidades:

- água pura
- margens
- sombra
- terreno encharcado
- solo

Após alguma análise estatística de cada uma das bandas para as entidades em estudo verificou-se que nenhuma banda por si só consegue diferenciar os “*pixeis*” da água dos restantes, e que a maior dificuldade é distinguir água e sombra.

O gráfico da figura 1 mostra o comportamento médio das radiâncias de tipos de corpos terrestres com relevância para o estudo em questão, nas sete bandas do satélite Landsat 5TM.

Prosseguiu-se o estudo aplicando métodos estatísticos convencionais, como a análise em componentes principais, análise de “*clusters*” e máxima verosimilhança, na procura de combinações entre as 7 bandas do satélite que permitissem a classificação dos corpos de água.

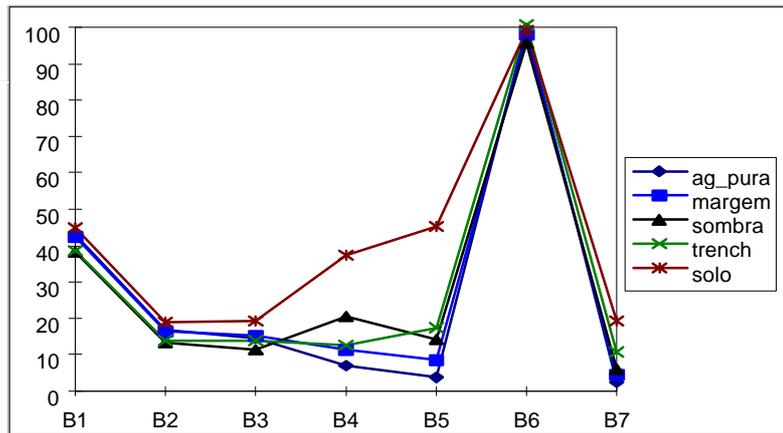


Figura 1 - Radiâncias Médias

Existem albufeiras que devido às condições que apresentam (eutrofização, sedimentos, profundidade,...) possuem valores de radiâncias muito distantes da média dos valores para a água. Ao basearmo-nos em comportamentos médios para proceder à classificação, como é o caso dos métodos mencionados, estamos a perder essas albufeiras o que não é admissível devido à frequência e à dimensão com que elas existem.

O estudo foi então direccionado para a análise dos valores extremos, máximos e mínimos, das radiâncias dos corpos de água.

Da análise dos valores extremos, combinada com a análise do comportamento médio ao longo das setes bandas, foram criados dois algoritmos para classificar os corpos de água. Como nenhum dos algoritmos domina o outro, isto é, nenhum deles é o melhor em todas as situações, optou-se por considerar a junção dos dois.

Os algoritmos são:

•DIFRDIF

$$X = \frac{\frac{\max(1,2,3) - \min(4,5,7)}{2} + 128}{\frac{\max(4,5,7) - \min(1,2,3)}{2} + 128} \quad (1)$$

que sofre a seguinte transformação para produzir valores no domínio das radiâncias, ou seja, em [0;255]

$$Y = \frac{255 - 0}{1,5 - 1} \times (X - 1) \Leftrightarrow Y = 510 \times (X - 1) \quad (2)$$

Este algoritmo tem a desvantagem de classificar como água as regiões de neve e de nuvens. O obstáculo é ultrapassado considerando a intercepção da sua classificação com os valores de radiância da banda quatro inferiores a 20.

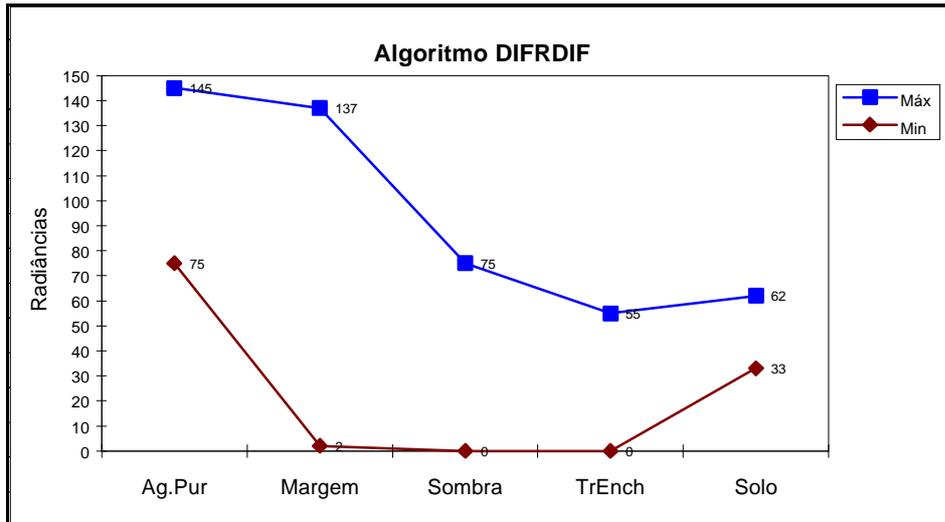


Figura 2 - Classificação DIFRDIF

•4-3RMX43

$$\frac{B4 - B3}{\max(3,4)} \quad (3)$$

com a transformação

$$Y = \frac{255 - 0}{0.4 - (-0.8)} \times (X + 0.8) \Leftrightarrow Y = 212.5 \times (X + 0.8) \quad (4)$$

Este segundo algoritmo apresenta uma certa dificuldade em distinguir alguns terrenos “encharcados” da água, problema que se resolve se interceptarmos o seu resultado com os valores não superiores a nove na banda sete.

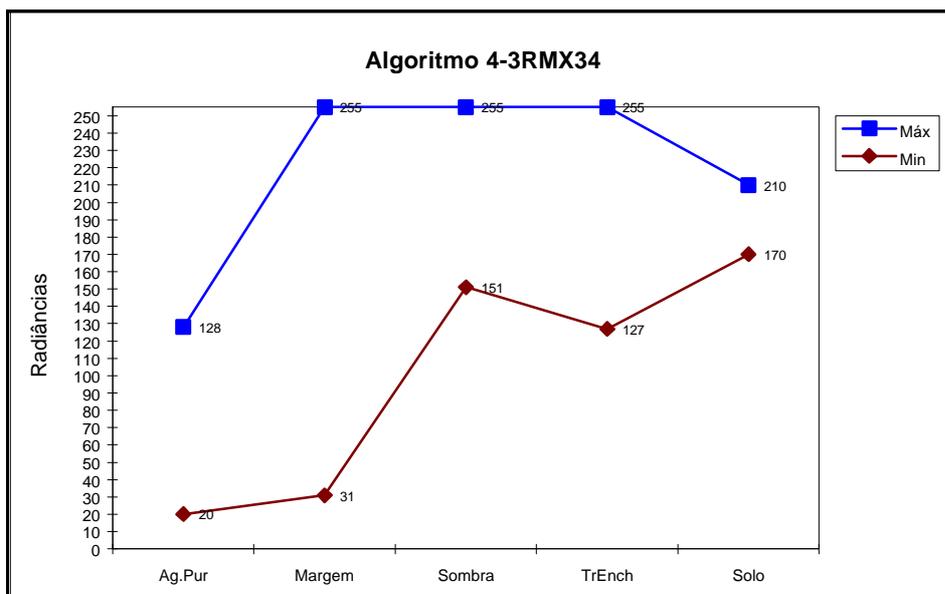


Figura 3 - Classificação 4-3RMX34

Como é de nosso interesse classificar o maior número de corpos de água possível, em vez de optar por um dos algoritmos, DIFRDIF ou 4-3RMX43, decidiu-se considerar a junção de ambos.

O algoritmo global é então:

$$\left[\left[DIFRDIF \wedge B4 < 20 \right] \vee [4 - 3RMX43 \wedge B7 \leq 9] \right] \equiv 6EOU \quad (5)$$

2.3 - Teste de eficácia do algoritmo encontrado

Com o objectivo de testar a eficiência do algoritmo encontrado para classificar corpos de água em imagens do satélite Landsat 5TM, foram analisadas vinte e nove cartas dos serviços cartográficos do exército, à escala 1:25000, da zona da Bacia Hidrográfica do Guadiana contida na zona do Alto Alentejo.

Em cada uma das cartas foram inventariados e medidos todos os corpos de água marcados.

Para que possamos afirmar que num corpo de água existe de certeza um “*pixel*” puro, isto é, que não contém nada mais que água, e dado que cada “*pixel*” congrega uma área quadrangular de 30m de lado; esse corpo de água terá que ter no mínimo um diâmetro de duas vezes $\sqrt{2} * 30m$, o que corresponde na carta a uma largura de 2,4mm.

Por esta razão, ao testar a eficácia do algoritmo foi feita a distinção entre corpos de água com largura até 2,4mm e largura superior a 2,4mm.

Os resultados dos testes apresentam-se resumidos nos quadros seguintes:

Quadro 1-Corpos de água marcados nas cartas

<p>TOTAL DE CORPOS DE ÁGUA MARCADOS NAS 29 CARTAS → 228</p> <p>COM LARGURA ≤ 2,4mm → 172 (75,44%) COM LARGURA > 2,4mm → 56 (24,56%)</p>
--

Convém aqui salientar que 75% dos corpos de água marcados nas cartas não têm as dimensões mínimas para que sejam registados pelo satélite Landsat 5TM.

Quadro 2 - Corpos de água detectados com o algoritmo 6EOU

<p>TOTAL DE CORPOS DE ÁGUA MARCADOS NAS CARTAS E <u>DETECTADOS</u></p> <p>COM LARGURA ≤ 2,4mm → 20 (11,63%) COM LARGURA > 2,4mm → 48 (85,71%)</p> <p>TOTAL DE CORPOS DE ÁGUA MARCADOS NAS CARTAS E <u>NÃO DETECTADOS</u></p> <p>COM LARGURA ≤ 2,4mm → 152 (88,37%) COM LARGURA > 2,4mm → 8 (14,39%)</p>

Reparemos que, conforme mostra o quadro 2, o algoritmo classifica 85.71% dos corpos de água marcados detectáveis, estando entre estes algumas albufeiras de pequenas dimensões já não existentes à data da imagem.

2.4 - Generalização do algoritmo a Portugal Continental

Definido o algoritmo a utilizar é então altura de o aplicar a todo o país.

Na procura de um algoritmo para classificar corpos de água por processamento digital de imagens do satélite Landsat 5TM utilizámos como área de estudo a cena 203_33, isto é, a região do Alto Alentejo; imagem datada de 24 de Janeiro de 1991. Embora o algoritmo esteja definido é agora necessário “recalibrá-lo”, ou seja, estudar os novos limites de classificação, para as restantes cenas do país.

O quadro 3 apresenta os limites de classificação considerados para todo o país continental:

Quadro 3 - Generalização do algoritmo às sete cenas para Portugal continental

Região	Algoritmo
Minho	$(difrdif > 73 \wedge B4 < 20) \vee (4 - 3rmx43 \leq 75 \wedge B7 \leq 9)$
Beira Litoral	$(difrdif > 75 \wedge B4 < 20) \vee (4 - 3rmx43 \leq 75 \wedge B7 \leq 9)$
Estremadura	$(difrdif \geq 76) \vee (4 - 3rmx43 \leq 128 \wedge B7 \leq 9)$
Trás Os Montes	$(difrdif > 77 \wedge B4 < 20) \vee (4 - 3rmx43 \leq 99 \wedge B7 \leq 9)$
Beira Alta	$(difrdif > 82 \wedge B4 < 20) \vee (4 - 3rmx43 \leq 99 \wedge B7 \leq 9)$
Alto Alentejo	$(difrdif \geq 76) \vee (4 - 3rmx43 \leq 128 \wedge B7 \leq 9)$
Baixo Alentejo e Algarve	$(difrdif \geq 76) \vee (4 - 3rmx43 \leq 99 \wedge B7 \leq 9)$

Uma vez que o objectivo é construir um algoritmo automático para imagens do satélite Landsat 5TM de uma determinada data, seria de nosso interesse uniformizar os limites de classificação para todo o país fazendo o mínimo de cedências possível. No entanto, como as imagens das duas órbitas do satélite (correspondendo a Litoral e Interior) são de datas significativamente diferentes, 12 de Novembro de 1990 e 24 de Janeiro de 1991 respectivamente, fez-se uma uniformização para cada uma das órbitas (quadro 4).

Quadro 4 - Uniformização do algoritmo para cada órbita do satélite

Órbita 204	Órbita 203
$(difrdif > 75 \wedge B4 < 20) \vee (4 - 3rmx43 \leq 75 \wedge B7 \leq 9)$	$(difrdif > 76 \wedge B4 < 20) \vee (4 - 3rmx43 \leq 99 \wedge B7 \leq 9)$

2.5 - Comparação ente os corpos de água detectados e os inventariados

Verifiquemos, para cada Bacia Hidrográfica, o que se passa em termos de Corpos de Água identificados na imagem do Landsat 5TM e confirmados, ou não, pelo Cadastro Nacional de Infraestruturas Hidráulicas e pelas Cartas Militares de Portugal 1:25000.

Da análise do gráfico da figura 4 podemos, por exemplo, destacar que a bacia do rio Tejo é sem dúvida a que possui maior quantidade de corpos de água, sendo mais os que não se conseguiram confirmar nem no Cadastro Nacional de Infraestruturas Hidráulicas nem nas Cartas Militares de Portugal 1:25000. Interessa lembrar que algumas bacias hidrográficas do Norte se encontravam parcialmente cobertas de neve ou nuvens e que por isso foi impossível identificar corpos de água nessas regiões.

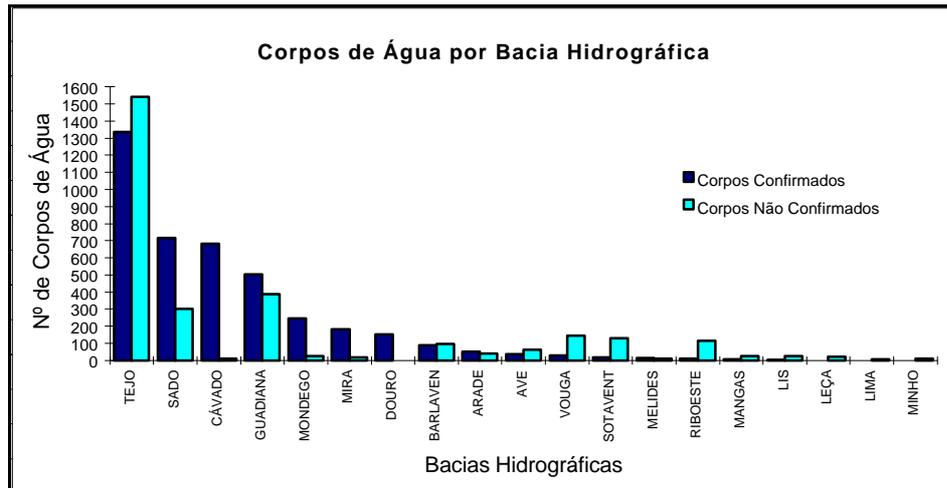


Figura 4 - Corpos de água por bacia hidrográfica

Observemos agora a correspondente superfície líquida no gráfico da figura 5:

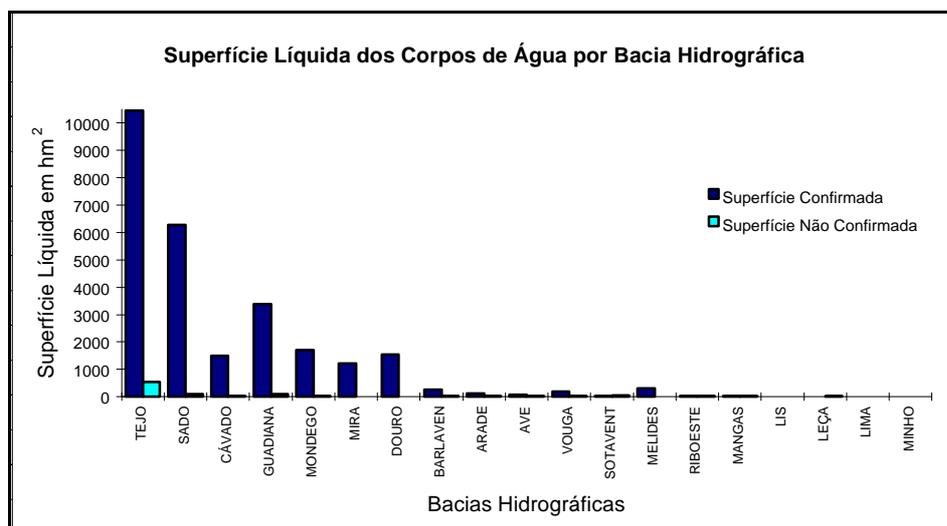


Figura 5 - Superfície Líquida por bacia hidrográfica

Como podemos verificar, em relação ao gráfico do número de corpos de água, na figura 4, existe uma grande diferença. Aqui a superfície líquida confirmada é sempre muito superior à

não confirmada. A comparação de corpos de água de uma determinada dimensão entre bacias hidrográficas dar-nos-á uma melhor ilustração do que se passa.

Vamos pois observar a quantidade de corpos de água com:

- área $\leq 0.09 \text{ hm}^2$, que corresponde a um “*pixel*” na imagem, ou seja, menor dimensão registada pelo satélite;

- área em $]0.09 \text{ hm}^2 ; 0.36 \text{ hm}^2]$, que corresponde a corpos de água com no máximo quatro “*pixels*”, os quais poderão não conter qualquer “*pixel*” puro;

- área em $]0.36 \text{ hm}^2 ; 1 \text{ hm}^2]$ e

- área superior a 1 hm^2 .

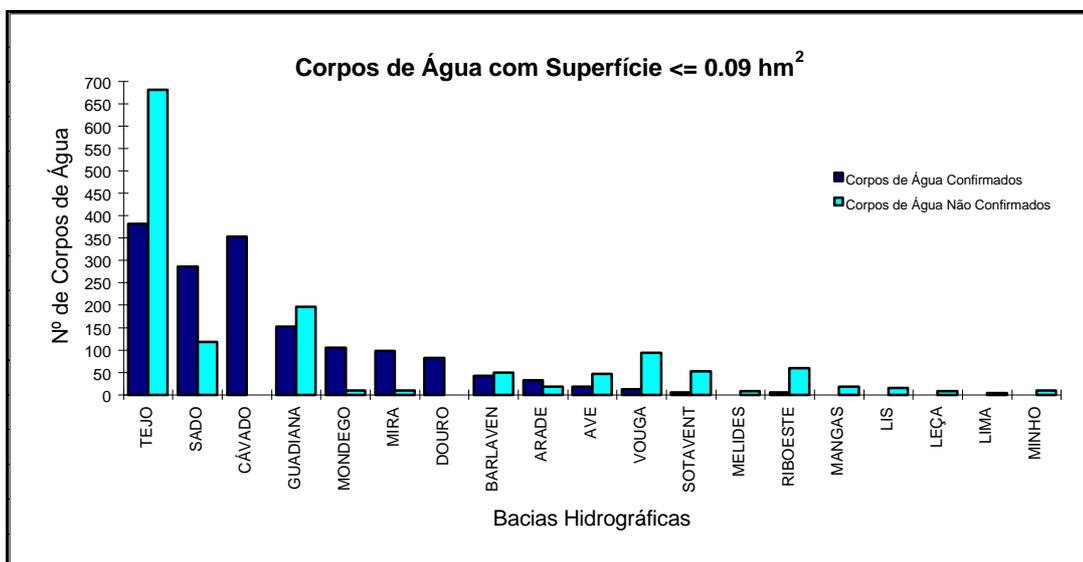


Figura 6 - Corpos de água com superfície $\leq 0.09 \text{ hm}^2$ por bacia hidrográfica

Comparando o gráfico da figura 6 com o do número de corpos de água de todas as dimensões para cada uma das bacias hidrográficas (figura 5), verificamos que os corpos de água com apenas um “*pixel*” classificado na imagem, representam em geral uma grande percentagem dos corpos de água, confirmados ou não, das bacias hidrográficas. Por exemplo, para o Tejo eles são quase 30% dos corpos confirmados e pouco mais de 40% dos não confirmados. No Cávado mais de 50% dos corpos de água confirmados têm apenas um “*pixel*”, sendo 30% dos não confirmados.

Como podemos verificar no gráfico da figura 7, os corpos de água com superfície maior que 0.09 hm^2 e não superior a 0.36 hm^2 , confirmados e não confirmados, são em menor número que os que apresentam apenas um “*pixel*” em todas as bacias hidrográficas do gráfico.

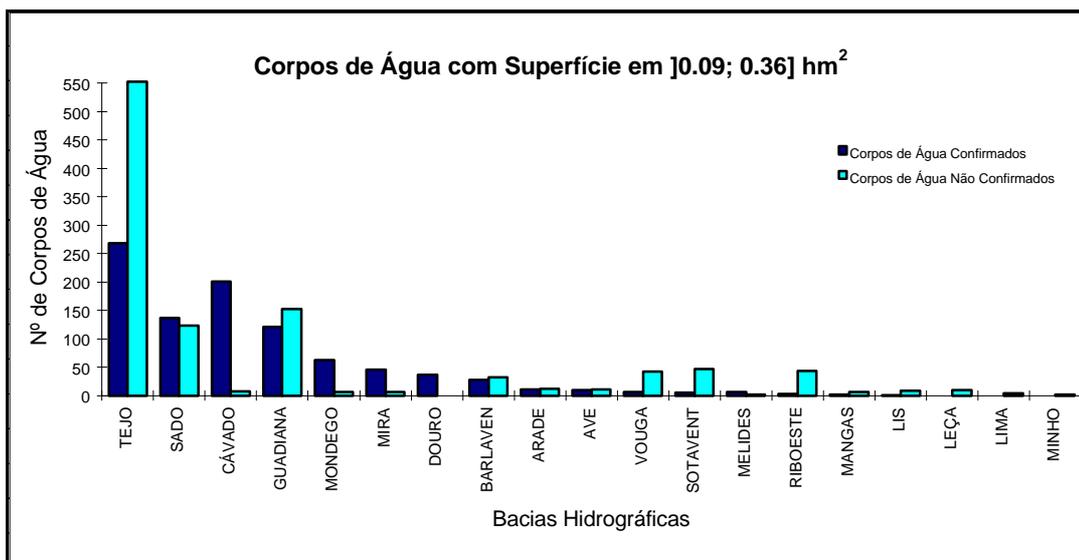


Figura 7 - Corpos de água com superfície em [0.09;0.36]hm² por bacia hidrográfica

Observemos o gráfico dos corpos de água detectados pelo algoritmo 6EQU nas imagens do satélite Landsat 5 TM, na figura 8:

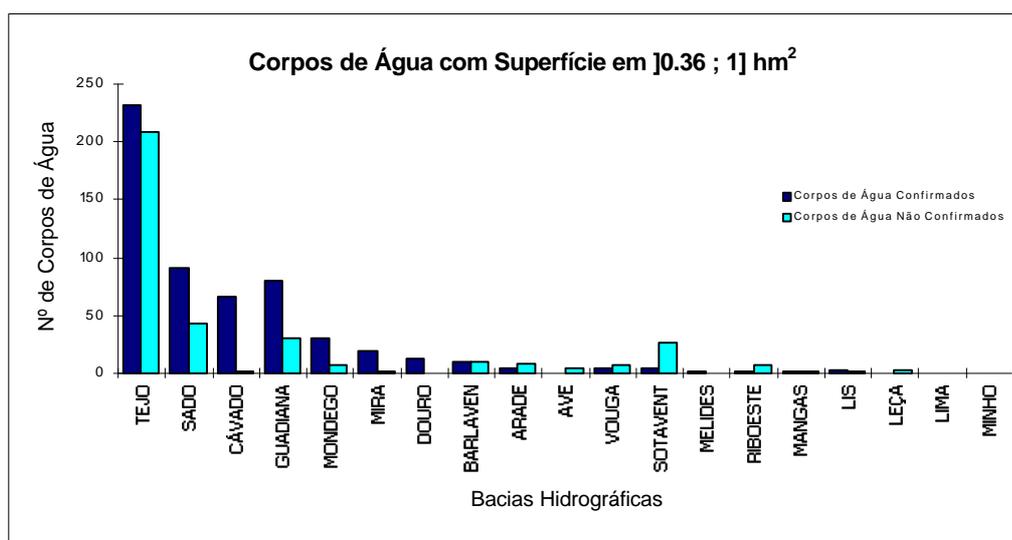


Figura 8 - Corpos de água com superfície em [0.36;0.1]hm² por bacia hidrográfica

O número de corpos de água com superfície líquida no intervalo [0.36;0.1]hm² é ainda menor que no gráfico anterior (figura 7) verificando-se que, salvo raras exceções, são mais os confirmados que os não confirmados no Cadastro Nacional de Infraestruturas Hidráulicas e Cartas Militares 1:25000 de Portugal Continental.

Por fim analisemos a distribuição dos corpos de água detectados com superfície líquida superior a 1hm² pelas bacias hidrográficas.

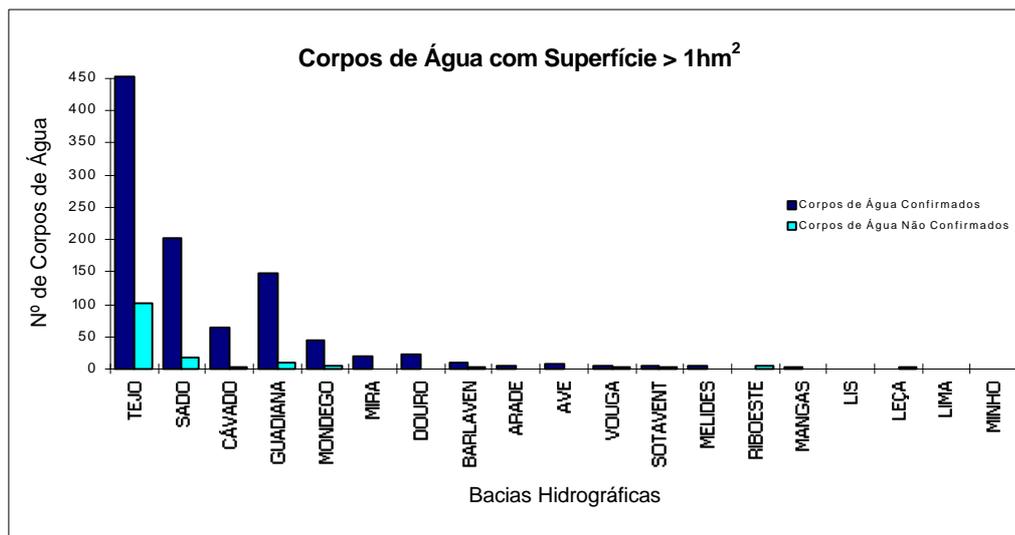


Figura 9 - Corpos de água com superfície >1hm² por bacia hidrográfica

Neste último gráfico da figura 9 o número de corpos de água é em geral ligeiramente superior ao registrado no gráfico da figura 8, mas não esqueçamos que aqui se considera uma maior variedade de dimensões.

Por curiosidade podemos observar quais as áreas máximas encontradas em cada uma das bacias hidrográficas apresentadas.

Bacias Hidrográficas	Superfície Máxima de Corpos Confirmados	Superfície Máxima de Corpos Não Confirmados
Arade	100.98 hm ²	1.35 hm ²
Ave	47.7 hm ²	1.08 hm ²
Barlavento	204.3 hm ²	1.89 hm ²
Cávado	283.14 hm ²	2.27 hm ²
Douro	581.4 hm ²	-
Guadiana	1429.47 hm ²	3.87 hm ²
Leça	-	3.51 hm ²
Lima	-	0.36 hm ²
Lis	0.99 hm ²	0.45 hm ²
Mangas	7.38 hm ²	2.52 hm ²
Melides	191.52 hm ²	0.27 hm ²
Minho	-	0.09 hm ²
Mira	1067.04 hm ²	1.53 hm ²
Mondego	971.82 hm ²	2.79 hm ²
RibOeste	4.32 hm ²	2.25 hm ²
Sado	1000.71 hm ²	4.05 hm ²
Sotavento	14.94 hm ²	3.78 hm ²
Tejo	2902.5 hm ²	10.26 hm ²
Vouga	147.69 hm ²	1.53 hm ²

Analisando conjuntamente os quatro gráficos referentes a diferentes dimensões de corpos de água concluímos que, como era de esperar, a quantidade de corpos de água não confirmados em relação aos confirmados vai diminuindo à medida que aumenta a dimensão dos mesmos. A grande discrepância entre o gráfico de número de corpos de água e o gráfico das superfícies líquidas é devida à existência de grande quantidade de corpos de água de pequenas dimensões não confirmados.

Algo que poderá também ser útil é o conhecimento da área relativa imersa em cada uma das bacias hidrográficas pois é um indicador do aproveitamento dos recursos hídricos.

No gráfico da figura 10 facilmente se observa que a bacia hidrográfica do Cávado é aquela que possui maior área imersa relativamente à área total de bacia, registando no entanto uma percentagem muito reduzida.

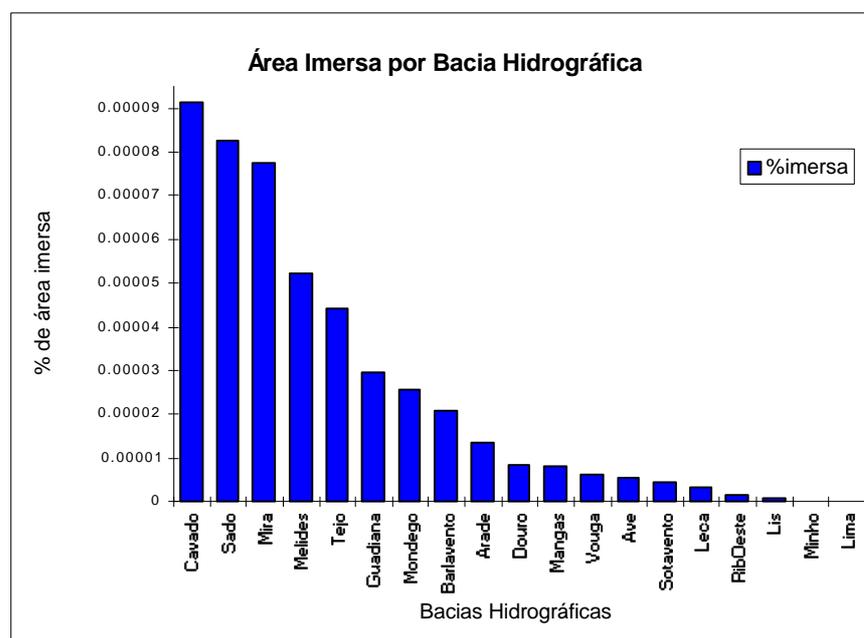


Figura 10 - Percentagem de área imersa por bacia hidrográfica

3 - OBSERVAÇÕES FINAIS

As imagens disponíveis e sobre as quais trabalhamos são de datas nada aconselháveis para atingir o objectivo de classificação dos corpos de água. Sendo imagens de Outono/Inverno apresentam grandes quantidades de sombra devido à altitude do Sol e as condições climáticas não são de todo as melhores.

Quanto maior for a quantidade de energia solar que chega à Terra maior a diferença entre as radiâncias dos diferentes tipos de corpos terrestres, pelo que as melhores datas seriam as do Verão. No entanto nesta estação muitas das albufeiras estão já vazias. Assim o melhor compromisso será processar imagens do fim da Primavera onde a energia solar emitida será aceitável e o nível de água nas albufeiras ainda não será proibitivo.

Apesar das condições adversas podemos dizer que o algoritmo encontrado é eficiente dado que detecta 85,71% dos corpos de água marcados nas cartas militares de Portugal 1:25000 (as quais incluem barragens projectadas mas nunca construídas e corpos de água que

poderão já não existir à data das imagens) e chega mesmo a identificar corpos de água de dimensões inferiores às necessárias para que com a resolução do satélite sejam “encontrados”.

O estudo comparativo entre a informação fornecida pelas imagens do satélite e o inventário do Cadastro Nacional de Infraestruturas Hidráulicas e Cartas Militares 1:25000 de Portugal Continental mostra as lacunas existentes no referido inventário, principalmente no que se refere a corpos de água de pequenas dimensões, que são cerca de 75% dos corpos de água do país. A principal razão da existência destas lacunas será talvez a rápida desactualização do inventário.

As melhoras significativas à eficiência do algoritmo e a quantidade de albufeiras de pequenas dimensões existentes no país são factores que nos levam a considerar a obtenção de imagens de maior resolução como uma medida extremamente vantajosa e vivamente aconselhada.