

*Geografia e Ordenamento do Território, Revista Electrónica*

Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território

<http://cegot.org>

ISSN 2182-1267



Rodrigues, L.  
*Universidade Atlântica*  
lmcrod@gmail.com

Julião, R.  
*Universidade Nova de Lisboa*  
rpj@fcsh.unl.pt

## **Espacialização de cenários do balanço da água: uma metodologia de apoio à decisão para a gestão dos recursos hídricos**

**Referência:** Rodrigues, L.; Julião, R. (2014). Espacialização de cenários do balanço da água: uma metodologia de apoio à decisão para a gestão dos recursos hídricos. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, n.º 5 (junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 233-257

### **Resumo**

Neste artigo apresenta-se uma metodologia para a obtenção de cenários de resposta em contexto de decisão tendo em vista a gestão dos recursos hídricos superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana. Os resultados baseiam-se na espacialização das variáveis mais relevantes e das respectivas condicionantes à sua distribuição geográfica. Para tal, cartografa-se o balanço entre a procura e a oferta deste recurso natural, identificam-se as maiores pressões e assinala-se a hipotética aparição de conflitos entre os usos alternativos. Através dos seus resultados sintetiza-se a realidade e avalia-se a coerência ambiental da distribuição espacial das decisões. Um dos seus principais resultados consiste na cartografia prospectiva acerca do balanço entre a procura e a oferta dos recursos hídricos. Por fim, são criados três cenários relativos à situação de partida, o ano de 2011.

**Palavras-Chave:** Gestão de Recursos Hídricos; Prospectiva e Planeamento; Análise Espacial; Sistemas de Informação Geográfica.

**Abstract:** This paper presents a methodology for gaining response scenarios in the framework of decision to the surface water resources management in the Guadiana River Basin. The results are based on the spatial distribution of relevant variables and their

constraints on geographical distribution. To this purpose, mapping the balance between supply and demand of this natural resource, it identifies the main pressures and points to hypothetical appearance of conflicts among alternative uses. Through its results is summarized reality and evaluates the environmental soundness of the spatial distribution of decisions. One of their main results is the cartography of prospective about the balance between supply and demand of water resources. Finally, three scenarios are created according to the baseline situation, the year of 2011.

**Keywords:** Water Resources Management; Prospective and Planning; Spatial Analysis; Geographic Information Systems.

## 1. Introdução

Segundo Stewart e Scott (1995), o processo de decisão a nível regional baseia-se na construção de cenários da aplicação das políticas com influência no uso do solo. Por cenários de aplicação das políticas deve entender-se a descrição de um conjunto de potenciais opções de actuação numa determinada região. Os cenários surgem assim enquanto fase final do processo de decisão. Trata-se do momento de síntese de uma metodologia.

Neste trabalho propõem-se métodos de espacialização dos impactos da disponibilização dos recursos hídricos, através de uma cartografia das alternativas políticas às tendências identificadas. Para tal, são criados três cenários e aventadas as possibilidades de hierarquização das alternativas de decisão. Estes cenários são elaborados a partir de indicadores construídos tendo por base um conjunto de variáveis provenientes das mais variadas áreas do conhecimento.

O uso destas alternativas espacializadas permite verificar e comparar as possibilidades de actuação e quais os seus efeitos práticos no território. Com estes cenários pretende-se providenciar os decisores com uma série de hipóteses de actuação dependentes da forma como se colocam os problemas.

Os resultados finais da metodologia são apresentados enquanto mapas de aptidão, nos quais se conjugam as operações realizadas. Os principais resultados consubstanciam-se assim em mapas de síntese (balanço entre a procura/oferta da água), através dos quais se representam os cenários propostos e as alternativas de espacialização. Trata-se de materializar diferentes pontos de vista sobre os problemas de decisão.

Em cada mapa cartografam-se em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) as propostas de evolução das disponibilidades hídricas num estudo de caso<sup>1</sup>, através da materialização dos índices de evolução das diferentes variáveis construídos em ambiente de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD). Em SAD são materializados os índices de evolução das diferentes variáveis e é avaliado, comparativamente, o grau de eficácia das opções de decisão. Por vezes, uma opção menos eficaz revela-se mais acertada, devido à sua capacidade para atingir de forma mais abrangente um determinado território alvo. Assim, as disparidades regionais reforçam a necessidade de integração de uma dimensão espacial nos cenários para o apoio à decisão. Para alcançar a melhor resposta, devem combinar-se sempre mapas e índices (Janssen et al., 1998).

A identificação do limiar das pressões permite melhorar a eficácia das políticas de gestão da água. Assim, a eficácia das respostas constrói-se a partir de combinações óptimas da intensidade, do padrão espacial e da melhor conjugação de variáveis. Deve ainda considerar-se a forma como as variáveis e os limiares da pressão se comportam ao longo do tempo. Por exemplo, tal como afirma Mariano Feio, referindo-se ao século XIX, a densidade de população dos concelhos do «Baixo Alentejo é muito elevada em relação à péssima qualidade dos solos» (Feio, 1996, p. 68) o que viria a provocar impactos extremamente negativos, sobretudo até à década de 1960. A partir dessa década, os impactos negativos deixam de ser exercidos pelo elevado volume de população e os limiares de pressão passam a ser lidos em sentido contrário. Agora, são as áreas despovoadas, e a ausência de capacidade de atracção de investimento, a determinar patamares mínimos de pressão da população e oportunidades de emprego (Roxo, 1994).

Face às considerações apresentadas anteriormente, o presente estudo visa estabelecer uma metodologia de apoio à decisão, criando condições para a racionalização da distribuição espacial de recursos hídricos. O SAD que aqui se apresenta parte de um conjunto de indicadores de pressão para a criação de modelos de potencial escassez dos recursos hídricos.

Com este estudo pretende-se dar ainda resposta a dois objectivos específicos de investigação: a criação (desenho) de uma metodologia centrada nas tecnologias de informação geográfica para o apoio à decisão na gestão dos recursos hídricos; a elaboração de cenários integrados espacialmente referenciados para a distribuição do balanço entre a procura e a oferta da água.

---

<sup>1</sup> Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana em Portugal (BHRGP)

Pretende-se com este ensaio de cariz metodológico restringir o conjunto das alternativas de decisão. Isto é, estabelecem-se hierarquias de actuação concretas e verificam se os impactos dessas opções. Neste caso concreto, na perspectiva da gestão dos recursos hídricos, partindo da hierarquia das opções, deve resultar a valorização dos serviços de oferta da água e a promoção da sua procura.

No fundo, com esta metodologia, procuram-se resolver as necessidades de vincular as fases essenciais do processo de tomada de decisão aos problemas efectivos e à forma como os stakeholders os resolveriam. Com estes cenários espaciais da disponibilidade da água, estabelecidos fundamentalmente a partir da opinião dos stakeholders, adapta-se o processo de apoio à decisão para a gestão dos recursos hídricos às necessidades de implementação da Directiva Quadro da Água (DQA).

## **2. Metodologia**

Partindo dos conceitos fundamentais de SIG e SAD foi desenvolvida mais recentemente a mais profícua produção teórica acerca da espacialização do apoio à decisão nas áreas da gestão ambiental e do território. De acordo com Malczewski (2006), nos últimos anos ampliou-se significativamente o espectro de aplicação dos Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão (SEAD). Pode afirmar-se que os SEAD nasceram centrados em estudos de caso na área do ambiente, todavia perdeu-se essa hegemonia.

Os SEAD para a gestão dos recursos hídricos constituem uma das aplicações mais relevantes da actualidade. Tal como é referido em Gurnell e Montgomery «o incremento da complexidade da parametrização espacial não conduz necessariamente a uma melhoria da capacidade de previsão e resposta. Todavia, as tecnologias de informação geográfica, enquanto novas ferramentas, permitem aos hidrólogos criar uma grande variedade de novos problemas» (Gurnell e Montgomery, 2000, p. 2). Deste modo, contribui-se para a manutenção de uma forte componente de incerteza associada aos SEAD para a gestão de recursos hídricos. A componente heurística é, segundo Beven (2008), um dos tópicos fundamentais para o futuro da investigação em hidrologia. Para este autor, importa sobretudo concentrar os estudos na determinação da incerteza associada a cada modelo criado, assim como criar mecanismos para apresentar e usar a incerteza nas tomadas de decisão.

Apresentam-se agora detalhadamente alguns métodos de avaliação dos efeitos das medidas tomadas pelos decisores. Para tal, utiliza-se um *software* de SAD<sup>2</sup> com o objectivo de se ordenar as opções da decisão em função dos cenários escolhidos, de acordo com o contributo de cada indicador. Adoptando uma escala linear de análise, entre o melhor e o pior, estabelecem-se quais as opções dominantes e quais as opções descartáveis.

A avaliação espacializada das consequências de cada cenário envolve a utilização de uma grande multiplicidade de modelos espaciais (uns de carácter biofísico e outros de carácter socioeconómico).

Partindo de um diagnóstico exaustivo da bacia hidrográfica do Rio Guadiana em Portugal (BHRGP) projecta-se a evolução da disponibilidade da água, considerando os factores biofísicos e socioeconómicos, aos quais se associam as diferentes alternativas de intervenção antrópica. Os principais factores de transformação da realidade, considerados como tal e integrados enquanto indicadores na análise no SAD, são a força motriz da evolução de cada cenário. Para tal, desenvolve-se uma metodologia para determinar a coerência ambiental das propostas, através da avaliação da sua aptidão ou vulnerabilidade ambiental (IVM, 2010). Pretende-se dessa forma orientar o sentido das decisões com impacto no balanço da disponibilidade hidrológica.

### **2.1. Métodos de análise espacial para a criação de indicadores de DPS**

A procura da água é um factor essencial para a compreensão da distribuição da população. Neste ponto, procura-se definir os primeiros três níveis do sistema DPSIR<sup>3</sup> de indicadores espaciais para a caracterização dos recursos hídricos – *Driving forces* (D, forças motrizes), *Pressures* (P, pressões), *State* (S, estado). Com este sistema de indicadores, investigam-se as relações entre a procura e a oferta da água, os equilíbrios entre a disponibilidade deste recurso e a distribuição da população.

Em ambiente SAD determina-se um conjunto de opções M, de acordo com a prévia contextualização do problema. O decisor hierarquiza as prioridades de actuação em função das suas convicções e da obtenção dos melhores resultados. Cada opção é constituída pela conjugação ponderada de um conjunto de indicadores de Força Motriz, Pressão e Estado.

---

<sup>2</sup> DEFINITE (DECisions on a FINITE set of alternatives) é um *software* de apoio à decisão desenvolvido para melhorar a qualidade dos processos de decisão ambiental (IVM, 2010).

<sup>3</sup> Sistema de indicadores Forças Motrizes, Pressões, Estados, Impactos, Respostas (Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses; DPSIR), desenvolvido pela Agência Europeia do Ambiente (European Environmental Agency; EEA) para proceder à monitorização ambiental. Devido ao seu potencial para auxiliar o decisor na exploração dos problemas, este sistema foi escolhido como a principal estrutura conceptual sobre a qual este trabalho será desenvolvido.

Com base em indicadores pré-estabelecidos enquanto critérios decisoriais, constroem-se as matrizes de análise. A matriz de análise divide-se em três níveis de actuação (Lourenço *et al.*, 2002): Definição das opções; Determinação dos indicadores; Preenchimento da *matriz de análise* com a avaliação dos indicadores para cada opção.

As *matrizes de decisão* permitem ordenar as opções da decisão e estabelecer o nível de coerência ambiental das propostas. Como a própria designação sugere, a *matriz de análise* parte de uma representação em tabela de variáveis, medidas em unidades e pré-compatibilizadas através de uma uniformização prévia (*value function*).

Para definir o problema, são calculadas as ponderações dos indicadores correspondentes a cada opção. Ao decidir de acordo com um critério de actuação, a resposta a um determinado problema vincula-se a uma determinada estratégia. Neste caso concreto, para definir o problema foram constituídos dois grupos de oito critérios e seis opções de decisão. Ao estabelecer dois grupos de oito critérios decisoriais pretende-se obter, em oposição, a pressão da procura da água e a pressão da oferta da água (Tabela 1).

	Agricultura	Turismo	Indústria	Comércio e I&D	Infraestruturas da Água	Recursos Naturais
<b>Procura da Água</b>						
Densidade Populacional	++	++	++	+++	+	+
Ocupação Solo	-	--	-	-	-	+
Turístico (Dist. à Praia)	--	+++	0	++	-	-
Qualidade da Água	---	+	--	-	+	+++
Regadio	---	0	--	+	+	---
Recursos Naturais	--	+	---	+	---	+++
Potencial Regadio	+++	--	++	+	+++	---
Emissão Poluentes	--	---	-	0	-	---
<b>Oferta da Água</b>						
Hidrol. Superficiais	++	+	0	0	++	++
Hidrol. Subterrânea	+++	0	-	0	+	+++
Nascentes Água	++	+	-	0	++	++
E.T.A.'s	0	+	+	++	+++	+
Linhas de Água de Regadio	+	++	-	0	++	+++
Disponibilidade Água do E.F.M.A.	+++	0	+	0	-	--
Grandes Barragens	+++	++	+	0	-	---
Barragens e Açudes	+++	0	0	0	+	0

+ Melhores resultados dos indicadores em função das opções - Piores resultados dos indicadores em função das opções

Tabela 1. Matriz da decisão (opções vs. indicadores).

As seis opções de decisão estabelecidas neste exemplo resultam do esforço para aproximar o processo de decisão à realidade. Isto é, para chegar a estas seis opções, e à correspondente classificação dos indicadores, definiram-se as redes regionais da água<sup>5</sup>. Assim, as opções são listadas nas colunas da Matriz de Decisão, enquanto os indicadores seleccionados são inscritos nas suas linhas. As opções consideradas correspondem a apostas concretas no desenvolvimento de sectores de actividade específicos, tais como<sup>6</sup> (Rodrigues, 2013):

- Agricultura – A agricultura é o maior consumidor de água desta região e, segundo uma parte substancial dos *stakeholders* da água, a vitalidade do sector depende da capacidade para irrigar mais áreas agrícolas;
- Turismo – O turismo depende muito da disponibilização de um serviço de água potável de qualidade. Existe uma grande sazonalidade na utilização da água, coincidindo a época de maior procura com a menor disponibilidade de água nas principais fontes abastecedoras;
- Indústria – A indústria perdeu importância no contexto das actividades económicas da BHRGP. Apostar no sector industrial significa inverter uma forte tendência para a sua extinção. Poucos são os *stakeholders* da água representando os interesses industriais, no entanto, nota-se, em termos gerais, uma certa tentativa de dissociação entre a indústria e a deterioração da qualidade da água;
- Comércio e serviços I&D – O comércio e os serviços de I&D são uma das apostas mais frequentemente referidas como estando na base das soluções para o problema da água na BHRGP. As actividades comerciais têm vindo a assumir cada vez maiores consumos relativos de água;
- Infra-estruturas da água – A criação de novas infra-estruturas para a retenção/captação de água é uma das decisões enunciadas com frequência pelos *stakeholders* da água. Na BHRGP, são vários os exemplos de novas infra-estruturas programadas ou previstas para os próximos anos;

---

<sup>5</sup> Foram identificadas as redes regionais da água na BHRGP através de uma metodologia de análise das redes sociais (Rodrigues, 2013, p.111). A *Análise de Redes Sociais (ARS)* aplicada à investigação para a gestão dos recursos naturais consiste no estudo da interacção entre os *stakeholders*. Para tal, identifica-se a estrutura social da rede, destacam-se elementos e estabelece-se uma hierarquia dos principais actores (Fisher, 2003). Neste trabalho recorre-se à visualização da análise enquanto forma de aprofundar o conhecimento sobre as principais características de uma rede. Através da sua visualização é possível potenciar o fluxo das decisões e, de uma forma geral, o funcionamento de uma rede de *stakeholders*. Partindo da abordagem metodológica aqui descrita estrutura-se a rede regional da água num estudo de caso (Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana em Portugal – BHRGP).

<sup>6</sup> As opções consideradas resultam do processo de identificação da rede que foi realizado com base em 60 entrevistas presenciais a *stakeholders* da água da BHRGP (Rodrigues, 2013).

- Recursos naturais – A aposta nos recursos naturais surge como solução preconizada pelos *stakeholders* da água mais ambientalistas. Os mais acérrimos defensores desta via são sobretudo as ONG e as instituições ligadas ao Ministério do Ambiente.

Partindo desta abordagem, apresenta-se um esquema analítico alternativo à clássica definição de áreas de conflito baseadas essencialmente na escassez dos recursos hídricos. Contrapondo esta perspectiva, os conflitos pelo uso da água resultam de um conjunto mais abrangente de factores. Para além das condicionantes físicas, destacam-se nesta metodologia as jurídico-políticas, as sociodemográficas e até as de carácter cultural, definidas sobretudo pelos diferentes modos de apropriação da água.

Enquanto momento de reflexão, com esta metodologia, centrada na oposição entre a procura e a oferta da água, traz-se para a discussão as relações de poder subjacentes à gestão da água, assim como, as mais recentes disputas territoriais pela localização de novas actividades agrícolas.

Para o cálculo dos indicadores de *força motriz*, *pressão*, e *estado* são utilizados dezasseis temas. Cada indicador de base é desenvolvido separadamente com o objectivo de se adaptar as características dos dados de entrada ao contexto da BHRGP. Os valores de referência levantados ou estimados para os diferentes parâmetros obtêm-se de modos diferentes e dependem das características e disponibilidade dos dados.

### 2.1.1. Indicadores de base

Partindo dos problemas de escassez, irregularidade e falta de qualidade da água estabelecem-se os critérios de oferta da água considerados nesta metodologia. Para a construção dos indicadores de base, recorre-se ao ambiente SIG (*modelbuiders* do ArcGIS), tal como se pode observar na figura 1.

Inicialmente todos os indicadores são construídos utilizando predominantemente as ferramentas de análise espacial em SIG. Através do uso de uma função de uniformização, os indicadores são tornados igualmente relevantes e, nessa medida, comparáveis em igualdade de circunstâncias numa *matriz de análise*. Essa uniformização consiste em reduzir os modelos espaciais quantitativos a uma escala comum, como resultado de uma avaliação da sua importância relativa. Para tal, recorre-se à reclassificação dos indicadores, da qual resulta uma escala com valores entre zero e nove. O valor de 1 identifica as áreas da BHRGP sem expressão do indicador; o valor 9 correspondente às áreas da BHRGP com intensidade máxima do mesmo.





Figura 1. Modelo dos indicadores de procura da água. (ArcGIS, modelbuilder)

Como Forças Motrizes identificam-se sobretudo causas de cariz socioeconómico subjacentes aos problemas ambientais. A estes indicadores associam-se ainda as mudanças a nível social, económico e demográfico de uma determinada região. Estas mudanças induzem efeitos directos sobre o consumo de água e a emissão de poluentes. Como indicadores de Força Motriz destacam-se: o índice populacional (densidade populacional); o índice de regadio; o índice turístico; o índice de ocupação do solo; o índice de potencial de regadio Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva (EFMA); o índice de disponibilidade de água do EFMA.

Para caracterizar as disponibilidades hídricas, é necessário definir as *pressões* às quais a BHRGP está sujeita. Com os indicadores de base de *pressão* pretende-se abranger os temas mais directamente relacionados com a emissão de poluentes, as fontes poluidoras e os riscos de acidentes de poluição. Os indicadores de *pressão* seleccionados são: índice de qualidade da água; índice da abrangência das Estações de Tratamento de Água (ETA); índice de emissão de poluentes orgânicos; índice de cobertura por grandes barra gens<sup>8</sup>.

A determinação de indicadores de *estado* baseia-se num conjunto de parâmetros para caracterização da disponibilidade hídrica na BHRGP, no momento de partida dos cenários demográficos. Os indicadores de *estado* seleccionados são: índice de protecção dos recursos naturais; índice de linhas de água; índice de disponibilidade de água EFMA; índice de

<sup>8</sup> A escolha dos indicadores foi definida numa lógica experimental, tendo como premissa fundamental a necessidade de estabelecer um conjunto equilibrado de elementos de pressão, quer da procura, quer da oferta da água. Os indicadores foram totalmente construídos recorrendo a ferramentas de análise espacial em SIG. Através do uso de uma função de uniformização, os indicadores foram tornados igualmente relevantes e, nessa medida, comparáveis numa matriz de análise. (Rodrigues, 2013)

disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos; índice de nascentes de água; índice de ocupação de barragens e açudes; índice de disponibilidade hídrica subterrâneas.

### Indicadores derivados

Para a construção dos indicadores derivados dos indicadores de base, para o cálculo dos índices de procura e da oferta da água, recorre-se simultaneamente às ferramentas de análise de SIG e de SAD. Em ambiente SAD os indicadores relevantes são comparados em oposição através do método da *matriz de análise de par em par* (Saaty e Vargas 1991). Valores numéricos compreendidos entre 1 e 9 são utilizados para expressar a importância relativa dos indicadores. O valor de 1 expressa a inexistência de prevalência de um dos indicadores e o valor 9 corresponde à extrema importância de um elemento sobre o outro (anulando-o quase por completo).

Indicadores de oferta	weights	Indicadores de procura	weights
Barragens e açudes	30%	Uso do solo	27%
Barragens principais	30%	Densidade populacional	24%
EFMA	16%	Qualidade da água	11%
ETAS	6%	Áreas regadas	10%
Rios e ribeiras	6%	Perímetro de rega	9%
Nascentes	5%	Áreas protegidas	8%
Origens superficiais	3%	Pontos de rejeição	7%
Origens subterrâneas	3%	Distância à praia	3%

Tabela 2. Ponderação (*weights*) dos indicadores de procura e de oferta. (resultado da comparação «par em par»)

Nesta metodologia o preenchimento da matriz através da *comparação par a par* baseia-se na opinião dos *stakeholders* retiradas da identificação das redes regionais da água (Rodrigues, 2013). As apreciações inscritas para cada par de indicadores demonstram o seu desempenho relativo de acordo com uma determinada opção. A relativização da performance das diferentes conjugações balança entre as seis opções de decisão consideradas (agricultura, indústria, comércio e serviços, ciência e tecnologia, novas infra estruturas e ambiente), permitindo dessa forma a identificação de limiares óptimos resultantes da intervenção dos decisores (Giupponi, Sgobbi, 2008).

O principal resultado é uma medida (*weights*) para expressar o peso relativo de cada indicador na construção dos modelos espaciais de pressão da procura e da oferta (Tabela 2), de acordo com uma determinada situação (de partida ou um cenário considerado).

Partindo das propostas de modelação de informação em SIG apresentadas nas figuras 2 e 3 obtêm-se dois resultados essenciais para a elaboração do SEAD: a pressão da procura da

água; a pressão da oferta da água. Numa primeira fase do modelo são relacionados os indicadores de entrada através de uma operação de álgebra de mapas tendo como base uma adição dos indicadores ponderados de acordo com uma proposta resultante da utilização de uma comparação de “par em par”. De seguida é aplicado um filtro de média em redor de cada pixel (*mean focal statistics*) para criar o efeito de continuidade dos resultados, eliminando assim o resultado da discretização, tão abstracto quanto necessário para o processo de recolha de dados. Por fim, é efectuada uma uniformização dos resultados através de uma reclassificação, criando-se uma escala de valores compreendida entre 1 e 9, comum a todos os indicadores espaciais integrados.

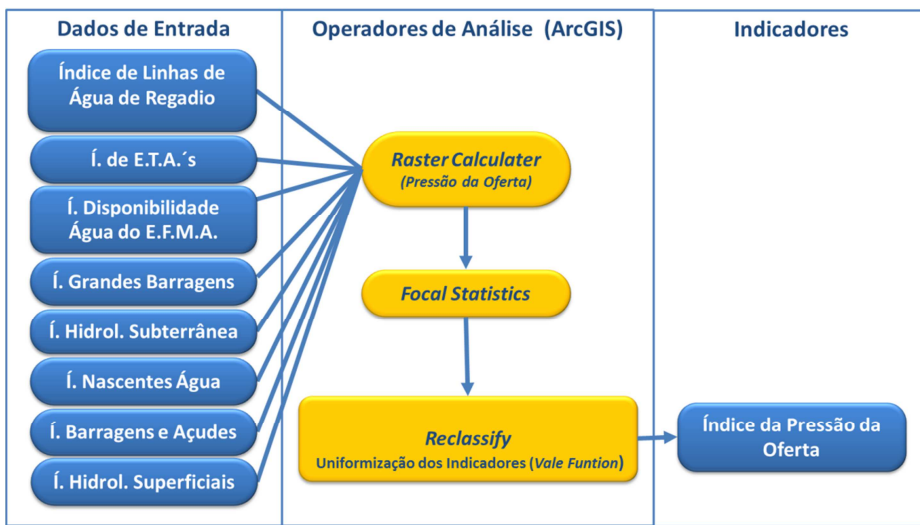


Figura 2. Modelo espacial de pressão da oferta.

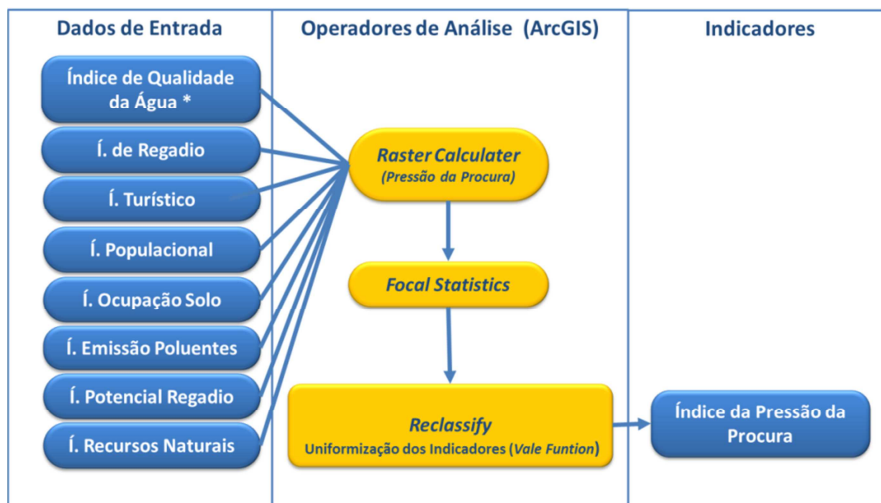


Figura 3. Modelo espacial de pressão da procura.

### 2.1.2. Indicador de síntese - Balanço procura/oferta da água

Nesta secção apresenta-se um indicador de síntese do *estado* da água<sup>9</sup>, sendo privilegiada a incorporação dos efeitos de mecanismos antrópicos de actuação sobre o meio. Para este exercício metodológico, parte-se de uma equação fundamental, segundo a qual a disponibilidade dos recursos hídricos resulta de uma relação entre a oferta e a procura da água. A determinação de indicadores de *estado* para caracterizar a disponibilidade da água na BHRGP efectua-se partindo dos indicadores temáticos previamente calculados. Para assegurar a comparabilidade dos sistemas de monitorização, de acordo com as exigências da DQA, é necessário exprimir os resultados através de rácios desenvolvidos através do *software* de SAD. Assim, estes rácios de síntese representam a relação entre os índices derivados (tornados comparáveis) para a procura e a oferta da água. As condições de referência são representadas por um estado de equilíbrio, isto é, quanto mais harmoniosa for a relação entre a procura e a oferta, mais sustentável é a intervenção antropogénica. (Matthies, 2007)

Após definir um conjunto de indicadores de base e derivados de *força motriz, pressão e*

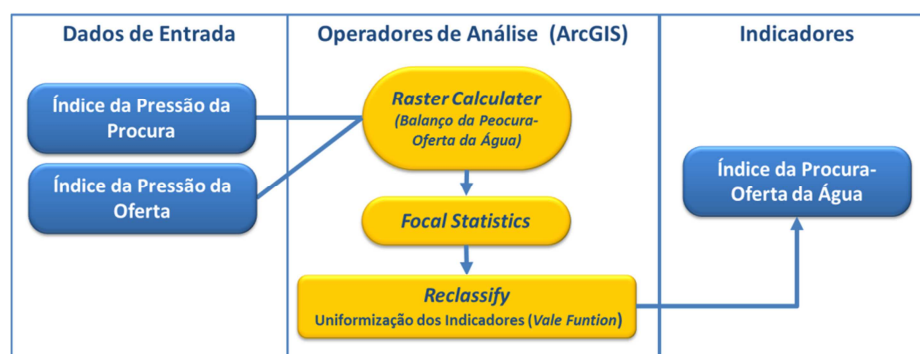


Figura 4. Balanço procura/oferta.

*estado*, calcula-se agora um indicador de síntese sobre a disponibilidade da água na BHRGP recorrendo essencialmente a operadores de análise em SIG (Figura 5). No entanto, para determinar a relação entre a procura e a oferta da água recorre-se novamente ao *software* de SAD. Neste primeiro exercício (relativo ao ano de partida dos cenários, 2011), no balanço proposto a procura tem o mesmo peso da oferta, sendo as diferenças espaciais marcadas apenas pela expressão geográfica dos dois índices de entrada.

Todavia, quando se projectam os cenários, e quando se simulam variantes às opções primordiais dos decisores, obtém-se em SAD o peso relativo de cada indicador. Somando

<sup>9</sup> O estado da água deve aqui ser entendido enquanto momento específico do DPSIR

esses dois conjuntos de oito parcelas (dezasseis indicadores de base) obtém-se a percentagem relativa ao índice de procura e ao índice de oferta, partindo da qual se chega ao balanço final – disponibilidade hídrica.

Para completar este indicador de síntese é proposta uma forma alternativa de representação dos resultados recorrendo a anamorfismos. Sendo a equação do balanço da procura e da oferta da água realizada através de um operador de análise matricial, processa-se à transformação dos seus resultados para uma estrutura de dados vectorial (Figura 6). Neste processo associa-se (intercepta-se) o balanço da água, numa escala discreta de 0 a 9, às freguesias da BHRGP.

Tendo o balanço da água numa estrutura de dados vectorial é aplicada a ferramenta de criação de cartogramas<sup>10</sup>. No mesmo processo emprega-se a mesma deformação espacial aos limites dos concelhos, à posição das sedes dos municípios e a uma rede de meridianos e paralelos de 10km<sup>2</sup>. O resultado final é uma representação anamórfica das disponibilidades hídricas, constituída por quatro cartogramas distintos: balanço procura/oferta; concelhos; sedes dos concelhos; malha de coordenadas.



Figura 5. Modelo de criação do cartograma do balanço procura/oferta da água.

## 2.2. Métodos de análise para a espacialização de indicadores de resposta

Neste capítulo, procura-se definir os dois níveis finais de um sistema de indicadores espaciais para a caracterização dos recursos hídricos – *Impact* (I, impacto), *Response* (R,

<sup>10</sup> Para o desenvolvimento destes cartogramas foi utilizado o módulo Cartogram Creator do ArcGIS, no qual se utiliza o método de “Rubber Sheet”. Através desta aplicação foram criados cartogramas de áreas contíguas, nos quais se distorcem as formas dos elementos representados e a sua área, mas mantém-se integralmente as suas relações topológicas.

resposta). Tendo em consideração as cadeias de DPS (fase inicial do DPSIR), definem-se os seus impactos e procuram-se as respostas que permitam mitigar os problemas. Com as respostas, embelecem-se novas cadeias de DPSIR, pois podem originar alterações em todos os outros elementos: forças motrizes, pressões, estado e impacto. No modelo DPSIR, estabelecem-se relações entre um elemento desestabilizador (força motriz), a sua pressão antropogénicas sobre o ambiente, a condição do ambiente numa determinada data (estado), o seu impacto e a resposta da sociedade para mitigar o problema identificado. Nas duas fases finais deste modelo de análise (DPSIR), é dado um enfoque particular à actuação dos decisores em ambiente SAD e SEAD.

Na leitura proposta para o DPSIR, o modelo é utilizado para a descrição das relações entre as origens e as consequências dos desequilíbrios espaciais na disponibilização da água. Contudo, para entender as principais dinâmicas subjacentes, é necessário estabelecer os vínculos entre os seus elementos, para a criação de cenários da procura e da oferta da água. Isto é, a relação entre as fases DPSIR é muito condicionada pelo contexto geral, sendo nesta metodologia abordado particularmente o nível de intervenção sobre as actividades económicas. A introdução de uma nova infra-estrutura, o aumento das competências tecnológicas ao serviço da gestão ou a implementação de novas políticas pode contribuir para a diminuição das pressões exercidas por uma determinada força motriz, melhorando-se o estado da disponibilidade hídrica na BHRGP.

### **2.2.1. Impacto e opções**

Este ponto tem por objectivo abordar as especificidades metodológicas da fase dos impactos. Trata-se de criar ferramentas para avaliar a disponibilidade de recursos hídricos, em termos de quantidade e de qualidade, permitindo testar diferentes paradigmas de actuação. Por exemplo, perante um eventual aumento da irregularidade da precipitação serão afectados predominantemente os meios hídricos. Partindo da avaliação do impacto efectivo desta situação, torna-se possível tomar decisões para o seu controlo aos mais diversos níveis: das políticas; das tecnologias; do investimento em infra-estruturas; etc.

Com cada cadeia DPS pretende-se descrever as causas e os efeitos indutores de impactos. Assim, o indicador de impacto resulta da análise de sensibilidade das opções. O resultado exprime-se através do estabelecimento de uma hierarquia das opções, de acordo com uma determinada situação. Inicialmente o problema é analisado à data de partida das

Cenários de base e segundo opções de decisão preferenciais	Ordenação das Opções	Factor de ponderação	Peso relativo do balanço	
			Procura da Água	Oferta da Água
Cenário de Base BAU	Agricultura	0,7	0,455	0,545
	Comércio e I&D	0,57		
	Turismo	0,56		
	Infraestruturas da Água	0,55		
	Indústria	0,52		
	Recursos Naturais	0,43		
BAU - Agricultura / Turismo	Comércio e I&D	0,62	0,844	0,156
	Infraestruturas da Água	0,52		
	Turismo	0,5		
	Agricultura	0,5		
	Recursos Naturais	0,49		
	Indústria	0,47		
BAU - Agricultura / Indústria	Comércio e I&D	0,63	0,924	0,076
	Infraestruturas da Água	0,52		
	Recursos Naturais	0,5		
	Turismo	0,49		
	Indústria	0,46		
	Agricultura	0,46		
BAU - Agricultura / Novas Infraestruturas	Comércio e I&D	0,6	0,8	0,2
	Infraestruturas da Água	0,6		
	Agricultura	0,53		
	Turismo	0,53		
	Recursos Naturais	0,49		
	Indústria	0,46		
BAU - Agricultura / Recursos Naturais	Comércio e I&D	0,61	0,86	0,14
	Infraestruturas da Água	0,53		
	Turismo	0,53		
	Recursos Naturais	0,51		
	Agricultura	0,48		
	Indústria	0,48		
BAU - Indústria / Comércio e Serviços	Agricultura	0,82	0,228	0,772
	Turismo	0,6		
	Indústria	0,55		
	Comércio e I&D	0,55		
	Infraestruturas da Água	0,53		
	Recursos Naturais	0,4		
BAU - Indústria / Novas Infraestruturas	Agricultura	0,76	0,344	0,656
	Turismo	0,58		
	Comércio e I&D	0,56		
	Indústria	0,53		
	Infraestruturas da Água	0,53		
	Recursos Naturais	0,41		

Tabela 3. Exemplo de ponderações das opções das alternativas (Cenário BAU).

projeções. Contudo, considerando os impactos mais significativos, evidencia-se a necessidade de tomar decisões (respostas).

Partindo de um cenário base considerado (um determinado conjunto de indicadores de DPS), alteram-se as suas características em função de cada proposta (resposta), reflectindo-se nos indicadores de síntese da oferta e da procura da água. Por exemplo, na base do Cenário (*Business As Usual*) BAU, a pressão da oferta corresponde a 0,45 e a pressão da procura, a 0,55. Este cenário de base tem impactos principalmente sobre a actividade agrícola, 0,7, seguindo-se o comércio e serviços, etc. (Tabela 3).

Por exemplo, perante uma alteração das políticas é possível simular o impacto de outra ordenação das opções. Como se pode observar na Tabela 3, apostar no turismo em detrimento da agricultura reflecte-se não só na alteração da importância destes dois sectores de actividade, como também afecta indirectamente todas as restantes opções consideradas.

Em termos de SAD, com a definição de um cenário novo, duplica-se a *matriz de análise* original, adaptando-se à nova situação proposta. Para a criação de outro cenário, deve partir-se do contexto decisional da

situação actual, ou do cenário mais aproximado. Os três cenários de base e os cenários alternativos são desenvolvidos em ambiente SAD para permitir ao decisor testar o desempenho das opções de decisão alternativas através da inclusão de opções menos óbvias, embora por vezes «para além» das suas capacidades de decisão.

### 2.2.2. Alternativas espaciais: Cenários do balanço procura/oferta da água

A ideia central do SEAD é possibilitar a comparação de alternativas espaciais com o objectivo de obter respostas georreferenciadas. Geralmente, nos SAD, as alternativas incluem várias dimensões da realidade de acordo com o seu tipo e a sua intensidade. Em ambiente de SEAD, acrescentam-se ainda instrumentos para a avaliação dos padrões espaciais das alternativas. Como já foi previamente referido, as alternativas assumem a forma de mapas representativos do desempenho de uma ou mais variáveis.

Com os mapas do balanço da procura/oferta dos recursos hídricos apresentam-se os resultados de diferentes políticas (Figuras 7 e 9). Através da avaliação dos resultados esperados para cada cenário, determina-se se os objectivos estão mais próximos, ou mais

afastados. Os mapas obtidos representam o resultado de um modelo espacial desenvolvido com base numa série de pressupostos e simplificações da realidade, eleitos em função das características de cada cenário.

OCada mapa da procura/oferta da água sintetiza a influência das condicionantes de acordo com o potencial de cada cenário. Cada alternativa é classificada usando a mesma escala de -5 (máximo desequilíbrio pendendo para a procura) a 5 (máximo desequilíbrio pendendo para a oferta), sendo o 0 a situação perfeita de equilíbrio entre a procura e oferta da água. Depois de generalizada, a classificação resultante permite obter imagens claras do resultado das opções associadas a cada cenário. (Kraak *et al.*, 1996)

Procura-se com estes mapas determinar, para cada alternativa, qual a melhor localização de cada variável relativamente à procura e à oferta da água. Sendo uma tarefa particularmente inteligível quando analisadas separadamente as variáveis, os mapas de

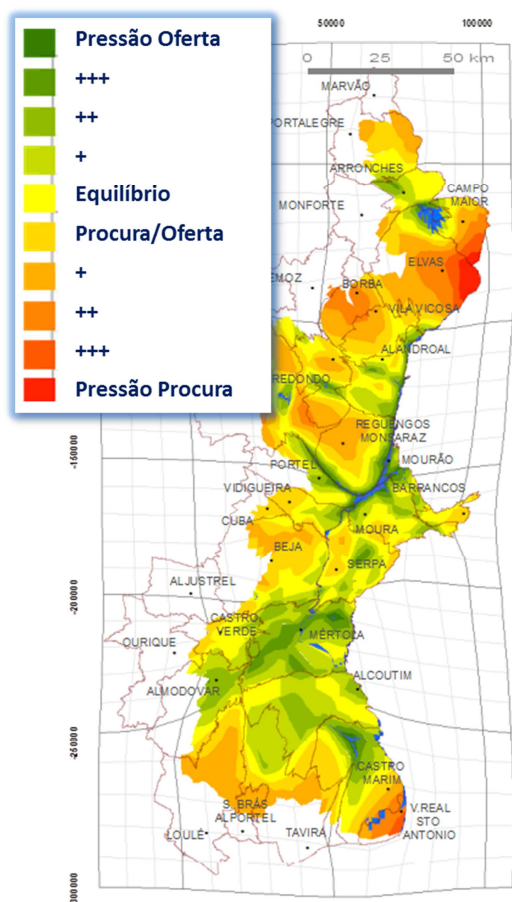


Figura 6. Balanço procura/oferta da água, BHRG, 2011 (ano de partida do estudo).



síntese tornam-se substancialmente mais complexos e difíceis de decifrar. No entanto, os níveis de generalização propostos permitem a obtenção de mapas com padrões espaciais comparáveis, sendo dessa forma possível determinar para cada unidade espacial a alternativa preferencial.

Neste ponto, integram-se os cenários da população (projeções demográficas)<sup>11</sup> num conjunto mais alargado de indicadores para a criação de cenários de distribuição espacial da procura/oferta da água na BHRGP. Os cenários correspondem a uma base de indicadores interrelacionados em função de uma determinada coerência formal. Consequentemente, são testados resultados extremos, teoricamente possíveis, embora, nalguns casos, se possam considerar pouco concretizáveis. Procuram-se agora responder às seguintes questões: Quais os limites de cada alternativa no contexto das inter-relações propostas (sobretudo as mais extremadas)? Ao limiar das alternativas correspondem boas decisões?

### **Hierarquia das opções (priorização)**

O processo de tomada de decisão implica estabelecer uma série de possibilidades de actuação, sobre as quais se constroem as respostas aos problemas de gestão dos recursos hídricos. Para tal, é necessário partir das opções pré-estabelecidas e conjugá-las de acordo com uma estratégia. Pretende-se com esta operação avaliar o grau de mudança associado à *performance* espacial do balanço procura/oferta da água quando se altera a relevância dos indicadores no processo de decisão.

Partindo de uma base da procura e da oferta (Tabela 4), apresentam-se as alternativas de espacialização dos impactos das orientações políticas. Recorre-se à análise sensitiva das alternativas (decisões) para responder às questões: De que forma se altera a performance relativa das variáveis? Quais as principais diferenças na sua espacialização?

---

<sup>11</sup> Partindo de uma análise global da situação da BHRGP, em 2011, e das tendências de evolução das dinâmicas socioeconómicas (1991-2011), “foram desenvolvidas projecções da população espacialmente referenciadas que permitem caracterizar uma série de cenários susceptíveis de dar forma e consistência a uma «imagem» da BHRGP, em 2031”. (Rodrigues, 2013, p. 226)

Tabela 4. Peso relativo dos indicadores de procura e de oferta da água, por cenário, na BHRGP.

Procura da Água					
Indicadores	+ / -	2011 (%)	BAU (%)	Cen.1 (%)	Cen.2 (%)
Densidade populacional	+	24,47	25,59	25,83	22,64
Uso do solo	+	26,75	25,59	25,83	15,40
Distância à praia	+	3,13	3,41	4,00	2,69
Qualidade da água	+	10,72	8,28	11,18	8,12
EFMA	+	9,25	13,11	8,39	20,91
Áreas protegidas	-	8,02	8,05	7,89	9,49
Áreas regadas	+	10,41	9,01	8,71	13,52
Pontos de rejeição de águas residuais	+	7,25	6,95	8,17	7,24
<b>Procura</b>		<b>45,50</b>	<b>45,50</b>	<b>56,50</b>	<b>50,00</b>
Oferta da Água					
Indicadores	+ / -	2011 (%)	BAU (%)	Cen.1 (%)	Cen.2 (%)
Origens superficiais	+	3,09	2,69	5,26	2,54
Origens subterrâneas	+	3,11	2,71	4,92	2,80
Nascentes	+	5,27	4,31	6,95	3,34
ETAS	+	5,98	5,83	4,67	9,62
Rios e ribeiras	+	6,08	6,21	7,35	6,42
EFMA	+	15,73	24,89	11,61	24,30
Barragens principais	+	30,36	26,42	22,49	20,94
Barragens e açudes	+	30,36	26,95	36,76	30,03
<b>Oferta</b>		<b>54,50</b>	<b>54,50</b>	<b>43,50</b>	<b>50,00</b>

### 3. Resultados

Partindo do diagnóstico da bacia hidrográfica do Rio Guadiana, apresenta-se agora a evolução da disponibilidade da água, considerando os factores biofísicos e socioeconómicos, aos quais se associam as diferentes alternativas de intervenção antrópica. Os principais factores de transformação da realidade são a força motriz da evolução de cada cenário. Procura-se com o SAD identificar a coerência ambiental das propostas, através da avaliação da sua aptidão ou vulnerabilidade ambiental. Pretende-se dessa forma orientar o sentido das decisões com impacto no balanço da disponibilidade hidrológica.

Com estes resultados procurou-se criar um momento de síntese da metodologia. Os cenários resultam das políticas adoptadas pelos decisores, em função das suas convicções e da vontade expressa pelos *stakeholders*, sobretudo quando se organizam em *lobby*.

Assim, propõem-se três alternativas partindo de um cenário de base<sup>12</sup> tendo como referencial a situação de partida. Segundo o conjunto dos *stakeholders* mais próximos dos principais centros de decisão, apostar na agricultura continua a ser, destacadamente, a melhor resposta para dinamizar socioeconomicamente a BHRGP. O sector do comércio e serviços lidera o conjunto das restantes opções de decisão (muito próximas entre si em termos de peso na decisão).

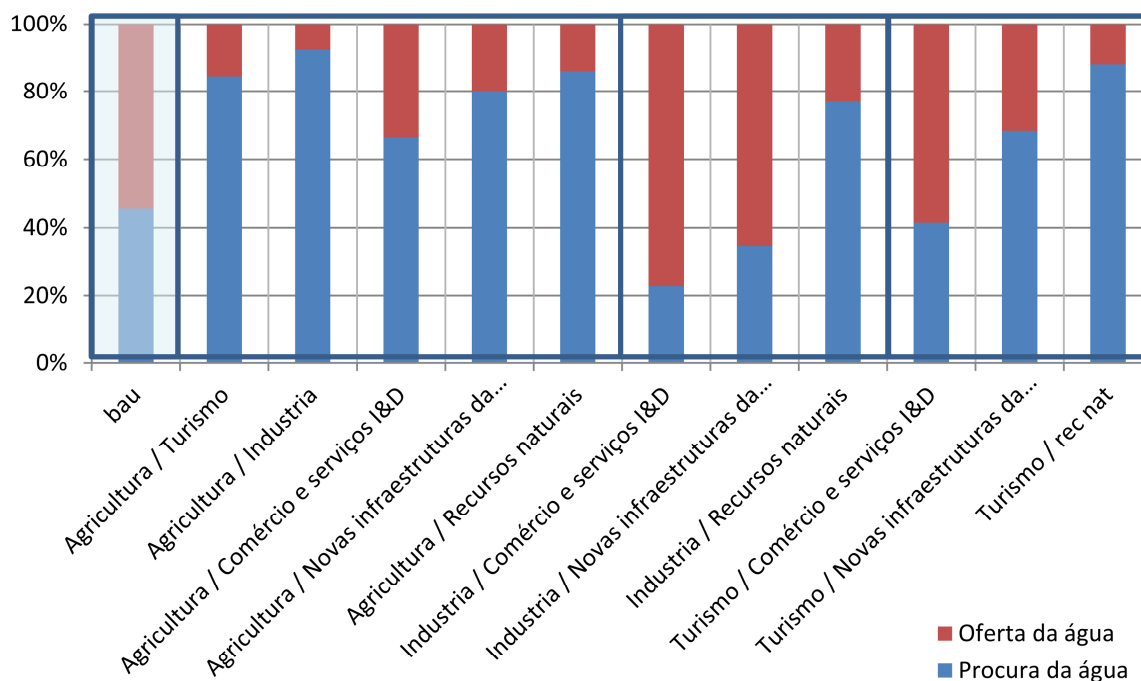
### 3.1. Cenário BAU

Este cenário reflecte algum equilíbrio entre a procura e a oferta da água. A sub-região do Norte e Centro do Alentejo apresenta maior pressão da procura devido à conjugação entre a actividade agrícola, a actividade industrial (extração de minério) e a existência de algumas cidades de segunda linha em termos regionais. A existência de infra-estruturas rodoviárias (um dos principais pontos fracos da região) contribui para a fixação de população e para a actividade económica nas imediações do concelho de Elvas. Aliás, mesmo no cenário mais extremo (BAU com mais indústria e comércio) permanecem alguns focos de pressão da procura nesta sub-região, contrastando com o restante território da BHRGP.

Assim, para o este Cenário, projecta-se uma situação muito semelhante à data de partida. As mudanças do peso relativo das variáveis, e o confronto da procura e da oferta, não influenciam substancialmente os mapas obtidos. A agricultura é a actividade com mais impacto sobre a disponibilidade dos recursos hídricos, seguindo-se por esta ordem o comércio, a indústria, as novas infra-estruturas da água, os recursos naturais e o turismo. Independentemente dos outros factores considerados, se os decisores optarem por privilegiar alternativas centradas na actividade agrícola, então assistir-se-á a um aumento considerável da pressão sobre a água (Figura 8). Do ponto de vista demográfico, estas políticas de incentivo ao sector agrícola reflectem-se num aumento substancial da ocupação humana das áreas mais isoladas e das pequenas povoações da BHRGP.

---

<sup>12</sup> No exercício original são propostas três alternativas para cada um dos três cenários propostos: Cenário BAU, Cenário Optimista e Cenário Pessimista. Todos os cenários deste estudo reflectem o trabalho prévio de caracterização da BHRG e, sobretudo, a opinião dos 60 stakeholders consultados (Rodrigues, 2013). São ainda apresentadas situações extremas, enquanto forma de testar a aplicabilidade do modelo às perspectivas mais radicais resultantes da aplicação do SAD. (Figura 8)



**Figura 8. Opções alternativas de decisão do Cenário BAU.**

Neste cenário, identificam-se poucas áreas de elevada pressão da procura GP em 2031 (Figura 9). O eixo Elvas-Évora e a costa algarvia são as excepções mais evidentes. Pode mesmo associar-se uma parte significativa da BHRGP à ausência de actividades económicas e ao despovoamento. Entre as alternativas aos impactos propostos a partir do Cenário BAU destacam-se as duas situações mais extremas:

- Agricultura e indústria – Ao privilegiar opções mais agrícolas e industriais (por esta ordem), provoca um acréscimo muito considerável da pressão sobre os recursos hídricos. Todas as políticas centradas no incremento da aposta na agricultura têm como resultado um aumento substancial do desequilíbrio da balança para o lado da procura da água.
- Indústria e comércio – Apostar na indústria e no comércio implica uma diminuição da pressão da procura da água. Assim, a actividade industrial não representa pressão sobre os recursos hídricos. Este facto deve-se sobretudo ao tipo de indústrias projectado (mais modernas e com menos impactos ambientais e menos necessidade de consumo de água). Segundo este cenário (BAU), o comércio também se mostra uma actividade muito residual, com pouco impacto sobre a água.

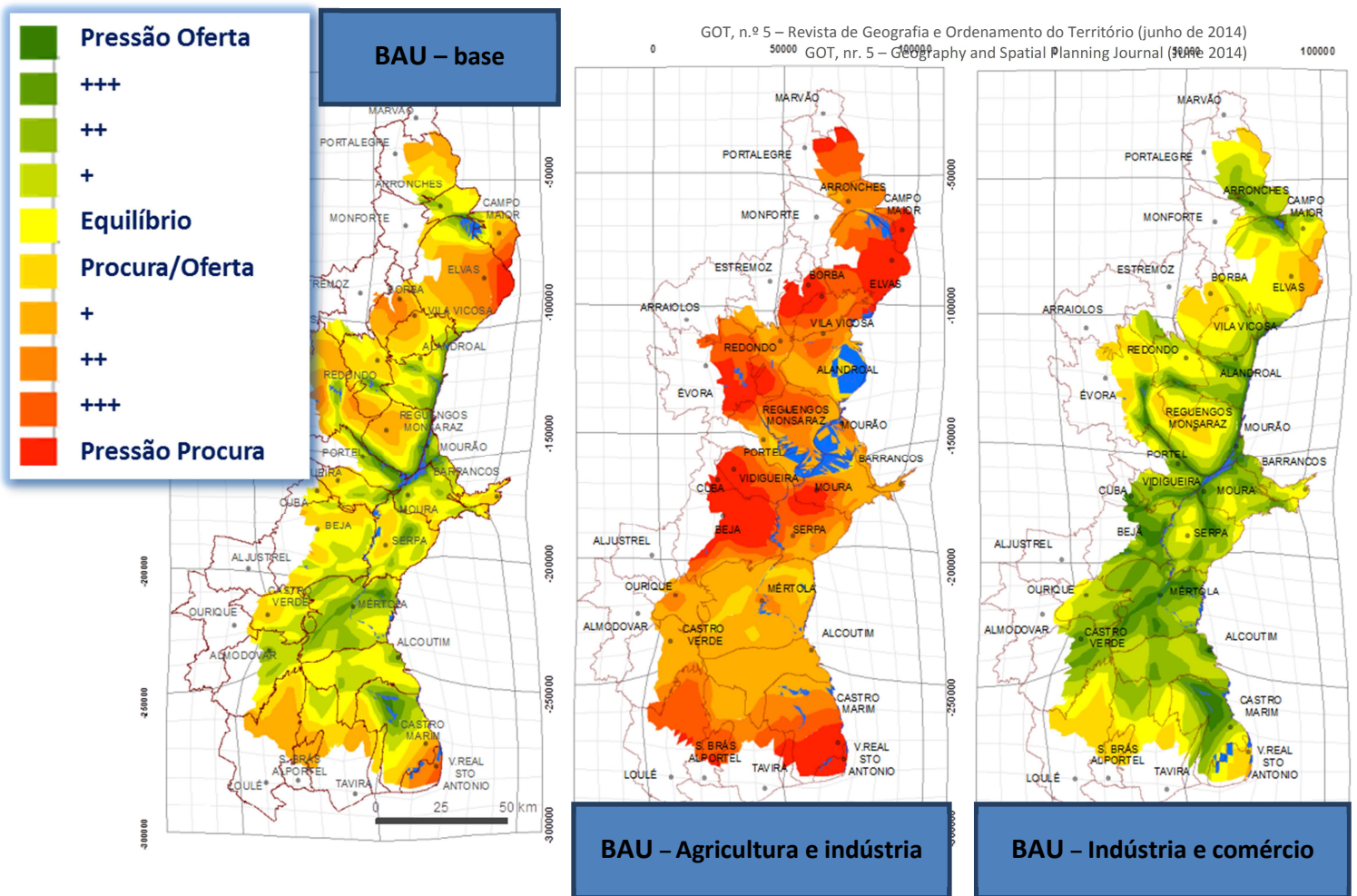


Figura 9. Cenários espaciais da procura/oferta da água: Cenário BAU base e duas alternativas extremas.

O Cenário BAU com mais agricultura e indústria (embora a indústria seja muito menos importante) realça a importância do factor água. Ao criar uma grande dinâmica de investimento no sector da agricultura, o EFMA poderá não ser suficiente para a procura da água. Neste cenário (BAU com mais agricultura e indústria) nota-se uma grande pressão exercida pela procura da água na sub-região do novo regadio (Évora, Beja, Moura, Cuba e Vidigueira). No Algarve, Castro Marim e Tavira, à tradicional pressão turística sobre os recursos hídricos acrescenta-se um reforço da actividade agrícola de regadio, aumentado consideravelmente a pressão da procura da água.

O Baixo Alentejo apresenta sempre um grande défice de procura, apenas ultrapassado no Cenário BAU com mais agricultura e indústria. No entanto, exceptuando as imediações das povoações de Mértola e Ourique, num dos cenários extremos, esta sub-região da BHRGP exhibe quase sempre mais disponibilidade de água. Este facto não se deve propriamente a um aumento das disponibilidades dos recursos hídricos, é apenas o reflexo das características demográficas da sub-região e da impossibilidade de prever a alteração das políticas, ao ponto de criar condições de atracção do investimento para este conjunto de concelhos cada vez mais marginalizados.

Segundo este cenário, o EFMA poderá representar uma mais-valia fundamental para o desenvolvimento do novo regadio do Alqueva, caso haja uma aposta muito significativa na actividade agrícola, destacando-se completamente o Baixo Alentejo. Sem essa aposta na agricultura estas duas regiões têm uma resposta muito semelhante: tornar-se-ão igualmente deprimidas e deficitárias do lado da procura, quanto ao balanço das disponibilidades hídricas.

## 4. Conclusão

Através desta metodologia desenvolveram-se formas de integração de vários instrumentos de análise, com particular destaque para a dimensão geográfica da informação e o apoio à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. Tratou-se de desenvolver processos através dos quais se tornam mais controláveis as respostas de decisão.

Com aplicação da metodologia proposta ao estudo de caso na BHRGP, concebeu-se um novo ponto de vista sobre os problemas desta bacia e sobre a simulação de indicadores de procura e oferta da água. Durante muitos anos associaram-se as causas do abandono das áreas rurais da BHRGP à indisponibilidade de recursos hídricos. Actualmente aumentou a quantidade de água disponível mas ainda não são visíveis retornos migratórios. Isto é, actuar apenas sobre uma dimensão do problema tem-se revelado manifestamente insuficiente para alterar as características estruturais da população desta região.

A busca do equilíbrio entre a procura e a oferta da água implica também uma harmonia entre a melhoria das condições económicas e a protecção ambiental. Várias medidas têm sido, e muitas mais podem vir a ser, tomadas pelas autoridades nacionais, regionais e locais para resolver os problemas do território e da água. Desde a construção de novos canais artificiais, às taxas pelo uso deste recurso, à introdução de novas tecnologias para aumentar a eficiência no abastecimento de água, sempre em simultâneo com a manutenção do caudal ecológico dos rios, existem várias respostas de decisão passíveis de contribuir positivamente para reverter a situação demográfica da BHRGP.

Partindo da análise deste estudo de caso, é possível afirmar que os SEAD devem sempre assentar em formulações dos problemas bem estruturadas e num conjunto de normas próprias para a obtenção de respostas no apoio à decisão. Ao optar por uma determinada conjugação de alternativas como resposta, trabalham-se as diferenças internas e não se apresenta uma única solução para a totalidade da bacia. Em termos gerais a metodologia revelou as seguintes virtualidades:

- Flexível e intuitiva para os decisores, a metodologia permite aumentar a capacidade de avaliação das inconsistências.

- Facilita a integração de novos temas na análise dos problemas de decisão através da ferramenta de comparação (par-a-par) das variáveis.
- Possibilita a decomposição dos problemas de decisão em vários elementos e o estabelecimento de hierarquias de critérios. Dessa forma, revela-se a importância de cada critério, tornando-se claro o sentido das opções.
- Fornece um mecanismo para verificar a consistência das alternativas de decisão.
- Face à necessidade de compatibilizar os interesses de vários *stakeholders*, permite a geração de consensos na tomada de decisão.
- Possibilita a criação de modelos em ambiente de incerteza e risco, pois permite adaptar os limiares de pressão às alternativas projectadas.
- Permite lidar com a escassez de dados para algumas componentes, através da utilização de ferramentas estatísticas para o preenchimento das tendências e sentido de evolução das variáveis a partir de apreciações de carácter qualitativo.
- Ao utilizar modelos com diferentes graus de complexidade, admite a hipótese de aplicação simultânea nas bacias hidrográficas de informação qualitativa, mais simples, e modelos mais quantitativos, mais complexos.

Num futuro próximo o progresso tecnológico encarregar-se-á de criar um contexto favorável à implementação destes sistemas complexos. Associada ao progresso tecnológico surge, inevitavelmente, uma maior apetência dos *stakeholders* para lidar com novos instrumentos de apoio à decisão, permitindo-lhes não só serem mais receptivos em relação à metodologia, como também mais capazes de interpretar e de aceitar as respostas de decisão resultantes dos SEAD.

## 5. Referências Bibliográficas:

Assaf, H.; Saadeh, M. (2008). "Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon: Using an integrated GIS-based decision support system". Environmental Modelling & Software. Vol. 23, No. 10-11, pp. 1327-1337.

Beven, K. (2008). "Measurements, Models, Management and Uncertainty: The Future of Hydrological Science". Hydrological Science to Water Management, IAHS. N.º 323 (pp. 1-9).

Cai, X. (2008). "Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin management: Reflective experiences". Environmental Modelling & Software. Vol. 23, No. 1, pp. 2-18.

Chakhar, S.; Mousseau, V. (2008). "Multicriteria Spatial Decision Support Systems". In Encyclopedia of GIS. Ed. S. Shekhar, H. Xiong. New York: Springer, pp. 747-758.

Fisher D (2003) Social networks for end users, Irvine, CA.

Giupponi, C.; Sgobbi, A. (2008). "Models and Decisions Support Systems for Participatory Decision Making in Integrated Water Resource Management". Coping with Water Deficiency: From Research to Policymaking. Ed. P. Koundouri. New York: Springer, pp. 165-186.

Gowda, K., Doddaswamy, R. (2011). "Sustainable water supply systems in India: The role of financial institutions and ethical perspective". SPATIUM International Review. N.º 24, pp. 16-20.

Guimarães, L.T.; Magrini, A. (2008). "A Proposal of Indicators for Sustainable Development in the Management of River Basin". Water Resources Management. Vol. 22, N.º 9, pp. 1191-1202.

Gurnell, A.; Montgomery, D. (2000). Hydrological Applications of GIS. Chichester: John Wiley Sons.

IVM (2010). DEFINITE - a DSS for a Finite Set of Alternatives. Institute for Environmental Studies. University Amsterdam. Consultado em 10 de Junho de 2011, Sítio Oficial do Institute for Environmental Studies: <http://www.ivm.vu.nl/en/projects/Projects/spatial-analysis/DEFINITE/index.asp>.

Kraak, M.; Ormeling, F. (2003). Cartography: Visualization of Geospatial Data. Harlow Essex: Pearson Education.

Lourenço, N.; Rodrigues, L.; Machado, C.; Jorge, R. (2002). "A Integração do SIG num Sistema de Apoio À Decisão". Actas do ESIG 2002: Encontro de Sistemas de Informação Geográfica.

Maidment, D. (1993). "GIS and Hydrologic Modeling". In M. Goodchild, B. Parks, L. Steyaert, Environmental Modeling With GIS. New York: Oxford University Press. (pp. 147-167).

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: John Wiley and Sons.

Malczewski, J. (2006). "GIS-based Multicriteria Decision Analysis: A survey of the Literature". International Journal of Geographical Information Science. Vol. 20 ; N.º 7 (pp. 249-268).

Mansourian, A.; Teleai, M.; Fasihi, A. (2007). "A Web-based Decision Support System to Enhance Public Participation". Journal International Journal of Geographical Information Science – Geovisual Analytics for Spatial Decision Support. Vol. 21 (pp. 839-857).  
Matthies, M.; Giupponi, C.; Ostendorf, B. (2007). "Environmental decision support systems: Current issues, methods and tools". Environmental Decision Support Systems. Vol. 22, N.º 2, Pp. 123–127.

Feio, M. (1996). A Evolução da Agricultura do Alentejo Meridional. Lisboa: Colibri.

McDonnell, R.A. (2008). "Challenges for integrated water resources management: How do we provide the knowledge to support truly integrated thinking". International Journal of Water Resources Development. Vol. 24, N.º 1, pp. 131–143.

Moss, T. (2004). "The governance of land use in river basins: Prospects for overcoming problems of institutional interplay with EU Water Framework Directive". Land Use Policy. Vol. 21, pp. 85-94.

Mysiaka, J.; Giupponi, C.; Rosato, P.; Cojocar, G. (2002). "Beyond Developing a Decision Support System for Water Resources Management". Proceedings of MULINO Conference on European policy and tools for sustainable water management. Venice: FEEM.

Nyerges, T. (1992). "Coupling GIS and Spatial Analytical Models". Proceedings of 5th International Symposium on Spatial Data Handling. Ed.P. Breshanan, E. Corwin, D. Cowen. Charleston: SC. Humanities and Social Sciences Computing Laboratory, University of South Carolina. pp. 534 543.

Nykänen, P. (2000). Decision Support Systems From a Health Informatics Perspective. Tampere: Pirkko Nyknen University of Tampere.

Pereira, Â., Quintana, S. (2002). "From Technocratic to Participatory Decision Support Systems: Responding to the New Governance Initiatives". Journal of Geographic Information and Decision Analysis. Vol. 6; N.º 2 (pp. 95-107).

Power, D. (2007). A Brief History of Decision Support Systems. S.L.: DSSResources.COM.

Reis Machado, J. (2000). A Emergência dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise e Organização do Espaço. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Rodrigues, L. (2013). População, prospectiva e gestão dos recursos hídricos: uma metodologia de informação geográfica para o apoio à decisão. Tese de Doutoramento em Geografia e Planeamento Territorial. Universidade Nova de Lisboa. URL: <http://hdl.handle.net/10362/9463>.



Roxo, M. (1994). A Acção Antrópica no Processo de Degradação de Solos: A Serra de Serpa e Mértola. Tese de Doutoramento em Geografia e Planeamento Regional na Especialidade Ambiente e Recursos Naturais. Orientada pelos Prof. Dra. R. Soeiro de Brito e Prof. Dr. F. López-Bermúdez. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.

Schlüter, M.; Rüger, N. (2007). "Application of a GIS-based simulation tool to illustrate implications of uncertainties for water management in the Amudarya river delta". Environmental Modelling & Software. Vol. 22, No. 2, pp. 158-166.

Slocum, T.; Mc Master, R.; Kessler, F.; Howard, H. (2010). Thematic Cartography and Geovisualization. 3rd eds. New Jersey: Pearson.

Saaty, T.; Vargas, L. (1991). Prediction, Projection, and Forecasting. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Sprague, R.; Watson, H. (1993). Decision Support Systems. 3th edition. Prentice Hall: Upper Saddle River.

Stewart, T.; Scott, L. (1995). "A Scenario-based Framework for Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Planning". Water Resources Planning. Vol. 31; N.º 11 (pp. 2835-2843).

Vieux, B. (2008). "Distributed Hydrologic Modeling". In Encyclopedia of GIS, Ed. S. Shekhar, H. Xiong, New York: Springer. pp. 250-254.

Weeks, J. (2004). "The Role of Spatial Analysis in Demographic Research". In Spatial Integrated Social Science. Ed. M. Goodchild. New York: Oxford University Press. pp. 381-399.

Westphal, K.; Vogel, R.; Kirshen, P.; Chapra, S. (2003). "Decision Support System for Adaptive Water Supply Management". Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 129; N.º 3. pp. 165-177.