

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR RIVER BASINS MANAGEMENT USANDO MIKE BASIN

A.P. PEREIRA ⁽¹⁾, N. HAIE ⁽²⁾, L.F. FERNANDES⁽³⁾

⁽¹⁾ Aluna de doutoramento
a.pereira@yahoo.com

⁽²⁾ Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho
naim@civil.uminho.pt

⁽³⁾ Professor Auxiliar, UTAD

Resumo

O aumento da procura dos recursos hídricos, a limitação da oferta destes recursos, tem sido uma preocupação constante para a sociedade actual. O aumento da complexidade na gestão dos recursos e a dificuldade de resposta às necessidades da procura fazem com que seja urgente a utilização de novas metodologias e tecnologias, de modo a poder criar modelos de previsão de cenários futuros. Com base neste contexto é fundamental fazer um levantamento do balanço de massas dos sistemas hídricos. Este trabalho tem como base a criação de um modelo de apoio à decisão para a gestão de bacias hidrográficas, com a aplicação do modelo matemático Mike Basin, com base em alguns conceitos de índices matemáticos que serviram de apoio à análise dos resultados, visando a caracterização da prestação das simulações efectuadas no estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Sôrdo.

Palavras-chave: recursos hídricos, bacia hidrográfica, pressões, gestão dinâmica, SIG ou GIS (Geographic Information System), modelo de apoio à decisão.

Abstract

The increasing demand for water, limiting the supply of these resources has been a constant concern for the society. The increased complexity in the management of resources and the difficulty of meeting the needs of demand makes it urgent the use of new methodologies and technologies in order to create models for forecasting of future scenarios. Based on this context is essential to survey the mass balance of water systems. This work is based on creating a model of decision support for management of river basins, with the application of the mathematical model Mike Basin, based on some concepts of mathematical indices that serve to support the analysis of results, to characterize the simulations behaviour in the case study of the basin of the river Sordo.

1. Introdução

A água é um recurso natural ao qual se atribui um elevado valor económico e social, tendo, nos últimos anos, o aumento do seu consumo provocado graves problemas ao nível da sua quantidade e qualidade, gerando conflitos políticos e sociais (Arsénio, 2003). A disputa deste recurso pelos diferentes sectores provocou uma necessidade de se criarem regras de utilização e de se fazer uma gestão sustentável, garantindo assim a sua sustentabilidade para as gerações futuras (Vargas, 1999).

A tomada de decisão para a utilização da água tem a participação de diferentes sectores públicos e privados da nossa comunidade, de modo a fazer face à cada vez mais complexa gestão deste recurso natural (INAG, 1995). Para auxiliar o processo decisório da sua gestão é imprescindível fazer um planeamento estratégico que vise melhorar as alternativas de desenvolvimento deste recurso. Para isso é necessário considerar uma distribuição equitativa, o uso racional, a maximização do desenvolvimento económico, social, com minimização dos impactes ambientais (PNUD, 2006).

A falta de planeamento na gestão dos recursos hídricos a nível nacional, a deficiente monitorização e avaliação do potencial hidrológico, a falta de dados reais e concretos, não permitem fazer uma avaliação rigorosa do potencial deste recurso do nosso país (Mendes, 2004).

A eutrofização das massas hídricas superficiais constitui um dos mais significativos problemas, ainda por resolver, a nível do planeamento e gestão dos recursos hídricos. Este facto deve-se, fundamentalmente, às características difusas da contaminação de origem agrícola e à envolvente socioeconómica (Tundisi, 2003). A eutrofização resulta de um incremento da intensidade de produção biológica das massas de água, provocada por aumento dos níveis de nutrientes, com especial relevância para o azoto e o fósforo (Rodrigues *et al.*, 2002).

A sustentabilidade deste recurso está assim relacionada com o ordenamento do uso dos solos, e a gestão da água ao nível das bacias hidrográficas, identificando e preservando as fontes de abastecimento e condicionando os utilizadores para a melhor integração e sinergia entre actividades económicas e consumo humano (Wolf *et al.*, 1999).

A área estudada corresponde à bacia hidrográfica do rio Sôrdo, sub-bacia do rio Douro, localizada no distrito de Vila Real.

Foi feito um levantamento da evolução das necessidades de água para abastecimento público, industrial, agrícola e outros. Foi ainda feita a caracterização biofísica da bacia recorrendo a informação geográfica georeferenciada, e caracterizaram-se os principais parâmetros. Toda a informação foi organizada e armazenada num sistema de informação geográfica para posterior tratamento.

A ferramenta utilizada foi o software Mike Basin que funciona numa plataforma ArcGis. O Mike Basin é uma ferramenta para o planeamento e gestão dos recursos hídricos que se baseia na descrição da bacia, na disponibilidade dos recursos hídricos, na gestão das albufeiras, em sistemas de transferência ou de extracção de água e em restrições

ambientais, permitindo a visualização de dados quantitativos e qualitativos no tempo e no espaço (DHI, 2008).

Ao longo do trabalho foi delineado um esquema metodológico com representação de todas as pressões exercidas nas várias bacias, relacionando as tipificações entre si, de molde a criar um modelo de correlação entre a tipificação utilizada, as consequências destas pressões nas bacias e as medidas possíveis para as minimizar ou suprimir impactes. Será ainda descrito e executado o modelo de apoio à decisão de gestão dinâmica através do software “Mike Basin” para toda a área de estudo.

Finalmente, serão gerados cenários previsionais, de forma a simular as potencialidades do modelo desenvolvido, e sobre as quais serão tecidas as considerações finais e serão abordadas as perspectivas de desenvolvimento no domínio em análise.

2. Considerações Gerais

A capacidade de uma gestão eficiente das reservas de água é muito importante. Os elevados consumos, a perda da qualidade da água, a instabilidade climática têm provocado dificuldades às instituições com responsabilidades de gerir a água e satisfazer todas as necessidades da procura (Tundisi, 2003).

Com o intuito de auxiliar as instituições com responsabilidades na gestão da água têm-se vindo a desenvolver ferramentas informáticas baseadas em pressupostos matemáticos mais ou menos complexos. Os modelos de apoio à decisão são sistemas de informação com ferramentas avançadas para auxiliar no processo de tomada de decisão na gestão dos recursos. Estes modelos têm tido cada vez mais uma maior atenção devido ao crescente avanço da tecnologia da informação (Lima, 2007). O desenvolvimento dos modelos de apoio à decisão devem combinar técnicas analíticas sofisticadas com uma fácil leitura por parte dos utilizadores não especializados (Azevedo *et al.*, 1997).

Com o objectivo de auxiliar a interpretação e a validação do modelo matemático de apoio à decisão iremos utilizar os índices de sustentabilidade que medem o desempenho de um sistema hídrico quando está em desequilíbrio, ou em défice (Hashimoto *et al.*, 1982).

Existem vários indicadores que podem ser utilizados como índices de avaliação do comportamento de um sistema, por exemplo através dos índices de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. A confiabilidade indica-nos a frequência das falhas do sistema, a resiliência indica-nos como o sistema retorna ao seu estado de equilíbrio após a falha e a vulnerabilidade indica-nos quais as consequências que uma falha pode provocar (Lima *et al.*, 2004).

3. Estudo de Caso

O estudo de caso corresponde à bacia hidrográfica do rio Sôrdo que tem como principal função o abastecimento público de água aos concelhos de Vila Real e Santa Marta de Penaguião.

3.1. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Sôrdo

A bacia hidrográfica do Sôrdo situa-se no distrito de Vila real, nos concelhos de Vila Real e Santa Marta de Penaguião, Figura 1.

A bacia do rio Sôrdo tem aproximadamente 50 km², uma extensão de 19 km e uma forma alongada, Figura 1. A sua altitude média é de 714 m e nasce a uma cota de 1350 m. Geologicamente a bacia é constituída por formações metamórficas e sedimentares de xistos, por rochas plutónicas, os granitos e por aluviões, Figura 2.

O clima varia de húmido a muito húmido, com uma precipitação média anual de 800 a mais de 1500 mm e uma evapotranspiração potencial de 650 a 750 mm. Na bacia hidrográfica do rio Sôrdo os usos do solo com maior representatividade são os matos, seguidos da floresta mista, da agricultura e por fim da vinha. A zona de solos improdutivos é uma zona de grandes maciços rochosos onde o escoamento superficial, que depende do uso do solo, é praticamente total, Figura 2 (Cortes, 2003).

A carta de uso de solo bem como a de precipitação são muito importantes para a determinação dos coeficientes de escoamento e do escoamento superficial na área da bacia.

4. Metodologia

Para a modelação e simulação do comportamento hídrico da bacia em estudo utilizou-se o modelo matemático DHI Mike Basin Extend 2008 e DHI Mike Basin WQ 2008. O modelo tem como principais características associar técnicas de simulação e optimização através de uma rede de fluxos na qual os rios ("Reaches") principais e os seus afluentes são representados por rede de arcos ("Catchements"), nós ("Nodes") (DHI, 2008). Outra característica é a sua representação gráfica, que é feita através do programa ArcGis 9.2, permitindo a integração de sistemas de informação geográficos.

O modelo Mike Basin aplica um balanço de massas em toda a rede de fluxo, para isso são necessários dados de entrada e de saída de água do sistema hídrico a ser simulado.

Para o modelo ser criado toda a informação introduzida foi georeferenciada, os "layers" foram geo-referenciados para o Datum Lisboa Hayford Gauss IGeoE.

Para a criação do modelo no MIKE BASIN introduziu-se o modelo digital do terreno (MDT) e a partir deste obteve-se o sentido do escoamento e delimitaram-se as linhas de água. De seguida delimitou-se automaticamente a bacia hidrográfica, dividindo-a em sub-bacias.

Tendo as sub-bacias delimitadas definiu-se o modelo espacial, ou seja, definiram-se os locais de entrada (albufeira) e de saída de água (estação de tratamento de água do Sôrdo (ETA)) de modo a ser possível calcular os balanços de massas.

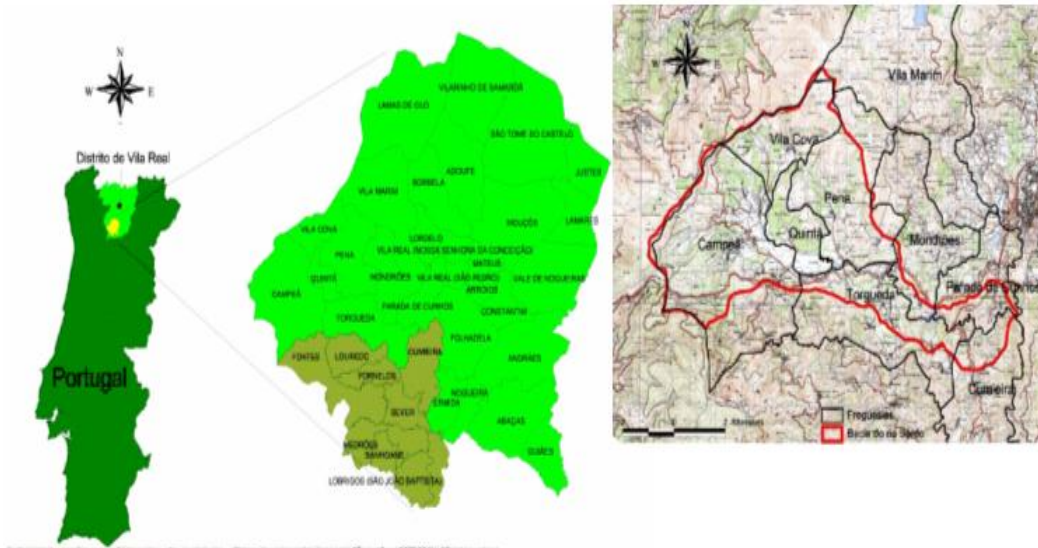


Figura 1. Localização geográfica e representação da bacia hidrográfica do rio Sôrdo.

Uma extensão de 19 km e uma forma alongada, Figura 1. A sua altitude média é de 714 m e nasce a uma cota de 1350 m. Geologicamente a bacia é constituída por formações metamórficas e sedimentares de xistos, por rochas plutónicas, os granitos e por aluviões, Figura 2 (Cortes, 2003).

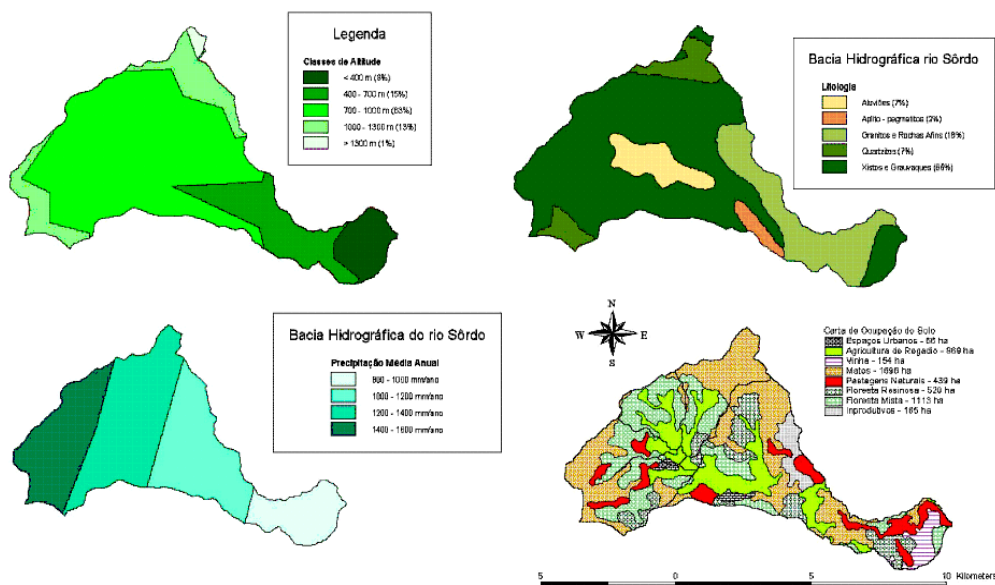


Figura 2. Caracterização edafoclimática da bacia hidrográfica do rio Sôrdo.

DHI Mike Basin Extend 2008 e DHI Mike Basin WQ 2008 (“Reaches”) principais e os seus afluentes são representados por rede de arcos (“Catchments”), nós (“Nodes”) (DHI, 2008). Outra característica é a sua representação gráfica que é feita através do programa ArcGis 9.2, permitindo a integração de sistemas de informação geográficos. O modelo Mike Basin aplica um balanço de massas em toda a rede de fluxo, para isso são necessários

dados de entrada e de saída de água do sistema hídrico a ser simulado (Lima, 2002). A Figura 3 representa a bacia hidrográfica do rio Sôrdo que foi desenvolvida pelo modelo utilizado.

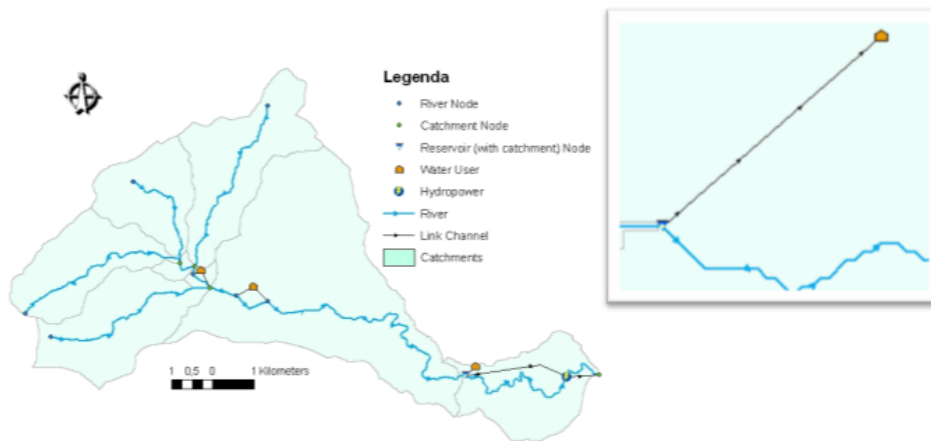


Figura 3. Bacia hidrográfica do rio Sôrdo e representação dos seus utilizadores.

Sempre que necessário, o modelo espacial criado pode ser modificado de forma rápida e expedita, uma vez que a sua capacidade de restauro é imediata, definindo novos utilizadores ou outro tipo de utilizações, de modo a criar cenários explorando todas as possibilidades de utilização da água (Lima, 2007).

Figura 3 (DHI, 2008).

4.1. Determinações Matemáticas

O escoamento superficial é um dado que tem de ser tratado para ser introduzido no modelo, para isso é necessário obter a precipitação útil da bacia em estudo através da precipitação efectiva, Quadro 1.

Quadro 1. Precipitações efectivas da Campeã e de Vila Real, equação do coeficiente de escoamento.

Data	Precipitação Efectiva Campeã (mm)	Precipitação Efectiva Vila Real (mm)
01-01-2008	332.82	160.2
01-02-2008	309.70	169.6
01-03-2008	205.71	96.8
01-04-2008	176.30	89.8
01-05-2008	144.30	69.7
01-06-2008	76.93	53.3
01-07-2008	24.27	14.6
01-08-2008	28.60	15.8
01-09-2008	89.70	49.0

01-10-2008	208.20	108.2
01-11-2008	252.00	124.7
01-12-2008	298.35	159.8

A precipitação útil é determinada para cada uma das sub-bacias hidrográficas tendo como base a equação do coeficiente de escoamento, ou seja,

Para determinar o coeficiente de escoamento, a usar na equação, foi tida em conta a carta de uso do solo, Figura 2, atribuindo a cada tipo de uso de solo o coeficiente de escoamento mais apropriado, Quadro 2. Esta atribuição teve como suporte o livro Lições de Hidrologia com base em Lencastre e Franco, 2006, e o estudo e conhecimento aprofundado da região.

Quadro 2. Representação dos usos do solo e respectivos coeficientes de escoamento, equação do coeficiente de escoamento ponderado.

Usos do Solo	C	A (ha)
Urbanos	0.5	66
Agricultura com Regadio	0.2	869
Vinha	0.1	154
Matos	0.07	1696
Pastagens	0.2	439
Floresta Resinosa	0.03	520
Floresta Mista	0.05	1113
Improdutivos	0.5	165

em sido definidos os coeficientes para cada uso de solo procedeu-se à determinação do coeficiente de escoamento ponderado de cada sub-bacia utilizando a seguinte equação

$$C_{ponderadoi} = C_i \times A_i \quad (1)$$

Este processo foi utilizado para cada sub-bacia, obtendo-se o coeficiente de escoamento ponderado para cada uma delas. Para quantificar o escoamento superficial mediram-se as áreas de cada sub-bacia utilizando o modelo matemático MIKE BASIN.

Tendo o coeficiente de escoamento ponderado determinou-se a precipitação útil de cada sub-bacia pela seguinte equação

$$\text{Precipitação Útil} = C_i \times \text{Precipitação Efectiva} \quad (2)$$

Obtém-se assim a precipitação útil média mensal para a sub-bacia 1, Quadro 3, sendo o processo análogo para todas elas. Quadro 3, de acordo com a equação.

$$\text{Escoamento} = \text{precipitação útil} \times 10^{-3} \text{ dias} \times \text{horas} \times \text{segundos} \quad (3)$$

Quadro 3. Precipitação útil e escoamento superficial na bacia 1.

Data	Precipitação Útil B1 (mm)	Escoamento B1 (m³/s)	Escoamento B1 (l/s/km²)
01-01-08	275.407.412	0.0752	10.28
01-02-08	256.275.691	0.0774	10.59
01-03-08	170.224.321	0.0465	6.36
01-04-08	145.887.647	0.0411	5.63
01-05-08	119.407.756	0.0326	4.46
01-06-08	636.593.119	0.0180	2.46
01-07-08	20.083.342	0.0055	0.75
01-08-08	236.664.022	0.0065	0.88
01-09-08	742.264.432	0.0209	2.86
01-10-08	172.284.788	0.0470	6.43
01-11-08	208.529.138	0.0588	8.05
01-12-08	246.883.605	0.0674	9.22

Todos os outros dados espaciais e temporais introduzidos, como as cotas da albufeira, utilizações de água e consumos, foram fornecidos pela empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro (ATMAD) e directamente introduzidos no modelo.

A introdução de dados temporais no modelo foi efectuada através de séries temporais. A aplicação permite carregar a informação disponível em vários formatos.

4.2. Modelo Matemático da Qualidade

Este modelo matemático pode simular a qualidade da água superficial e subterrânea para fontes de poluição pontual e difusa.

Pode-se simular de forma directa o transporte e a degradação das substâncias mais importantes que afectam a qualidade da água dos rios: amoníaco, nitratos, oxigénio, fósforo, azoto e matéria orgânica dissolvida. Pode-se ainda simular de forma aproximada a carência bioquímica de oxigénio (CBO) e o oxigénio dissolvido (APHA, WPCF, 1998).

As equações que descrevem os processos de qualidade da água são baseadas no modelo de Streeter-Phelps (Streeter e Phelps, 1925) e são resolvidas numericamente pelo método de Runge-Kutta de 5ª ordem com algumas modificações (DHI, 2008).

Para a modelação da qualidade da água o Mike Basin possui uma ferramenta chamada “Load Calculator” que permite a integração de dados do SIG para o cálculo automático de cargas de poluição.

O declínio das cargas de poluição é determinado em função da distância e da retenção dos poluentes no solo (Lima, 2007).

As diferentes fontes de poluição podem ser classificadas em quatro tipos: fertilizantes, animais, domésticas e pontuais. Com esta ferramenta também é possível incluir eficiências de tratamento para as diferentes sub-bacias e para as diferentes fontes de poluição (DHI, 2008).

Antes de correr o modelo é necessário definir as condições de operação da albufeira, a cota mínima da captação, a cota máxima, o volume da albufeira, a variação da cota, as prioridades de utilização e todas as outras entradas que queiramos introduzir em função das saídas pretendidas.

5. Metodologia

5.1. Modelos Quantitativos

Para a apresentação dos resultados de quantidade de água, utilizou-se em primeiro lugar o modelo matemático para simular a situação real de utilização de água.

Os dados de entrada e os resultados determinados pelo Mike Basin, são esquematicamente apresentados no Quadro 4 e 5.

Quadro 4. Dados de entrada e resultados determinados pelo Mike Basin.

Água utilizada no ano 2008 (m³/s)		Água utilizada no ano 2009 (m³/s)		Água utilizada no ano 2010 (m³/s)	
Tempo	Água utilizada	Tempo	Água utilizada	Tempo	Água utilizada
01-01-08	0,0557	01-01-09	0,0557	01-01-10	0,0557
01-02-08	0,0584	01-02-09	0,0584	01-02-10	0,0584
01-03-08	0,0551	01-03-09	0,0551	01-03-10	0,0551
01-04-08	0,0525	01-04-09	0,0525	01-04-10	0,0525
01-05-08	0,0554	01-05-09	0,0554	01-05-10	0,0554
01-06-08	0,0783	01-06-09	0,0783	01-06-10	0,0783
01-07-08	0,1085	01-07-09	0,1085	01-07-10	0,1085
01-08-08	0,083	01-08-09	0,083	01-08-10	0,083
01-09-08	0,0979	01-09-09	0,0979	01-09-10	0,0979
01-10-08	0,0714	01-10-09	0,0714	01-10-10	0,0714
01-11-08	0,073	01-11-09	0,073	01-11-10	0,073
01-12-08	0,0659	01-12-09	0,0659	01-12-10	0,0659

Pode-se observar no Quadro 5 e na Figura 4 a água existente na albufeira, a água que é utilizada para consumo, o défice de água após a sua captação para abastecimento e a variação da água na albufeira.

Para as condições actuais de consumo, a água existente na albufeira é suficiente para satisfazer as necessidades, não havendo qualquer défice. Assim o sistema não apresenta quaisquer falhas e mantém-se em estado de equilíbrio.

Para um cenário em que triplica o consumo, pode-se observar no Quadro 6 e 7 e Figura 5 os mesmos parâmetros anteriormente analisados mas para estas novas condições.

Pode-se então observar a água existente na albufeira, a água que é utilizada para consumo, o déficit de água após a sua captação para abastecimento e a variação da água na albufeira.

Para as condições de consumo da simulação, a água existente na albufeira não é suficiente face às necessidades da procura, havendo déficit em cerca de metade da simulação.

Assim, o sistema apresenta falhas no abastecimento de água às populações, não consegue retomar o seu estado de equilíbrio após a falha, provocando falhas no abastecimento público.

Quadro 5. Simulação das condições reais da albufeira - apresentação das tabelas de resultados.

Défice de água para 2009		Varição da água na albufeira para 2009	Défice de água para 2010		Varição da água na albufeira para 2010
Tempo	Défice da procura de água (m³/s)	Nível de água na albufeira (m)	Tempo	Défice da procura de água (m³/s)	Nível de água na albufeira (m)
01-01-09	0	500	01-01-10	0	522
01-02-09	0	518,3374	01-02-10	0	518,3374
01-03-09	0	522	01-03-10	0	522
01-04-09	0	522	01-04-10	0	522
01-05-09	0	522	01-05-10	0	522
01-06-09	0	522	01-06-10	0	522
01-07-09	0	522	01-07-10	0	522
01-08-09	0	518,4767	01-08-10	0	518,4767
01-09-09	0	515,1957	01-09-10	0	515,1957
01-10-09	0	514,2183	01-10-10	0	514,2183
01-11-09	0	519,5851	01-11-10	0	519,5851

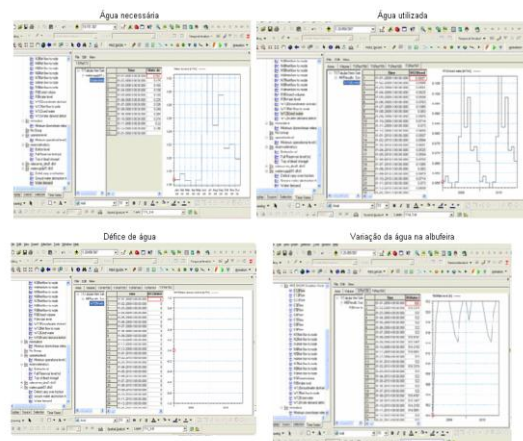


Figura 4. Simulação das condições reais da albufeira - resultados gráficos.

Quadro 6: Simulação das condições da albufeira - tabelas de resultados

Água utilizada no ano 2008 (m³/s) | Água utilizada no ano 2009 (m³/s) | Água utilizada no ano 2010

Tempo	Água utilizada	Tempo	Água utilizada	Tempo	Água utilizada (m³/s)
01-01-08	0,167	01-01-09	0,167	01-01-10	0,167
01-02-08	0,175	01-02-09	0,175	01-02-10	0,175
01-03-08	0,165	01-03-09	0,165	01-03-10	0,165
01-04-08	0,158	01-04-09	0,158	01-04-10	0,158
01-05-08	0,166	01-05-09	0,166	01-05-10	0,166
01-06-08	0,235	01-06-09	0,233738	01-06-10	0,2337387
01-07-08	0,326	01-07-09	0,014397	01-07-10	0,0143976
01-08-08	0,249	01-08-09	0,010831	01-08-10	0,0108313
01-09-08	0,294	01-09-09	0,078646	01-09-10	0,0786469
01-10-08	0,214	01-10-09	0,190879	01-10-10	0,1908792
01-11-08	0,22	01-11-09	0,219977	01-11-10	0,2199774
01-12-08	0,198	01-12-09	0,198	01-12-10	0,198

Quadro 7. Simulação das condições da albufeira para o triplo do consumo – tabelas de resultados.

Défice de água para 2009 e 2010		Varição da água na albufeira para 2009 e 2010
Tempo	Défice da procura de água (m³/s)	Nível de água na albufeira (m)
01-01-09	0	500
01-02-09	0	512,7648
01-03-09	0	520,0091
01-04-09	0	520,1296
01-05-09	0	520,2208
01-06-09	0,0012613	518,3212
01-07-09	0,3116023	510,6422
01-08-09	0,2381687	510,2
01-09-09	0,2153531	510,1984
01-10-09	0,02312084	510,2
01-11-09	0,02261202	510,2
01-12-09	0	510,9936
01-01-10	0	516,4191
01-02-10	0	412,7648
01-03-10	0	520,0091
01-04-10	0	520,1296
01-05-10	0	520,2208
01-06-10	0,0012613	518,3212
01-07-10	0,3116023	510,6422
01-08-10	0,2381687	510,2
01-09-10	0,2153531	510,1984
01-10-10	0,02312084	510,2
01-11-10	0,02261202	510,2

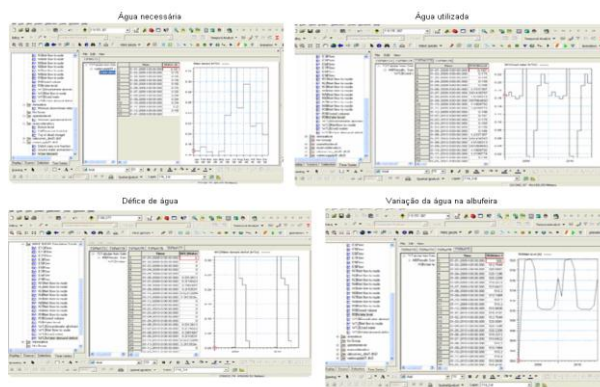


Figura 5. Simulação das condições da albufeira para o triplo do consumo – dos resultados gráficos.

5.2. Modelo Qualitativo

Na análise da qualidade da água utilizou-se o modelo matemático para a simulação das diferentes entradas. A criação de cenários para avaliar os teores de nitratos presentes na água, a contaminação das águas com nitratos, quando ultrapassa certos limites, pode ter consequências nefastas para o ambiente e para a saúde humana, pelo que deverá ser evitada.

A primeira simulação foi realizada com dados obtidos para os usos agro-pecuários existentes na bacia hidrográfica:

- Produção de milho nas zonas de regadio;
- Introdução de 170 kg de azoto por hectare.

Sabe-se que uma colheita de milho consome 150 kg de azoto por hectare, obtiveram-se os resultados apresentados nas Figuras 6 e 7.



Figura 6. Representação dos dados para a simulação com os dados reais existentes na bacia.



Figura 7. Representação dos resultados obtidos para a incorporação de 170 kg de azoto por hectare.

5.3. Cenário 1

Neste cenário foram considerados os seguintes pressupostos e questões, Figura 8.



Figura 8. Representação do cenário 1 para a existência de 3000 cabeças de gado com incorporação total do estrume produzido, 310 kg azoto/ha.



Figura 9. Representação do cenário 2 para existência de 4700 cabeças de gado com incorporação total do estrume produzido, 487 kg azoto/ha.

- Colocação de estrume de animais provenientes da região;
- Se todos os estrumes produzidos na região forem para fertilizar as terras da zona, qual é a quantidade de azoto introduzida no solo?
- Segundo o código de boas práticas agrícolas publicado pelo Ministério da Agricultura cada cabeça de gado bovino produz 90 kg de azoto por ano;
- Sabe-se que na região existem por volta de 3000 cabeças de gado bovino.

5.4. Cenário 2

Se em vez de 3000 cabeças de gado bovino existirem 4700 cabeças, introduzindo 487 kg azoto/há, Figura 9, Quadro 8 e 9.

Quadro 8. Representação dos valores de azoto recomendados e admitidos - Decreto-lei 236/98 de 1 de Agosto.

Quadro 9. Representação dos diferentes valores de azoto incorporados no solo e valores residuais existentes na bacia para os diferentes cenários.

Cenário	Input	310 Kg azoto/ha	310 Kg azoto/ha	487 Kg azoto/ha
Cenário regulamentar		3.1 mg/l		
Cenário 1			24 mg/l	

Verificou-se que para o cenário regulamentar a quantidade de azoto existente na bacia é bastante baixa, para o cenário 1 está muito próximo do valor máximo recomendado, e para o cenário 2 ultrapassa o valor máximo admitido.

6. Discussão dos Resultados

Numa primeira análise pode-se dizer que para as condições actuais de operação da bacia hidrográfica tanto ao nível da quantidade como da qualidade, estes “inputs” não causam grandes perturbações no sistema, ou seja, os “outputs” verificados são sempre positivos.

Para as simulações que foram modeladas com entradas diferentes das reais, verifica-se que o sistema apresentava uma confiabilidade elevada, não tinha capacidade de resiliência e era extremamente vulnerável.

7. Conclusões

O modelo matemático proposto apresenta grandes potencialidades para a gestão dos recursos hídricos a nível nacional, visto que no nosso país, metodologias baseadas neste tipo de análise nunca foram testadas nem implementadas.

Os resultados apresentam níveis de garantia elevados para os diferentes cenários. Como seria de esperar, se aumentarem os consumos de água e a produção animal for intensificada e conseqüentemente a agricultura irá diminuir a quantidade e a qualidade da água, provocando alterações no sistema de abastecimento de água.

Verifica-se que o uso deste tipo de análise de risco permite simular o desempenho de um sistema em situações de stress.

Os critérios de desempenho não devem ser analisados de uma forma isolada, mas de uma forma conjunta numa análise multi-objectivo, tendo em consideração os factores económicos, sociais e ambientais.

A gestão da água em Portugal ainda está numa fase embrionária, visto que uma grande parte das instituições públicas não está preparada para fazer uma gestão rigorosa e capaz dos recursos hídricos, outras estão agora a dar os primeiros passos, começando há muito pouco tempo a desenvolver e a desbravar caminhos nesta matéria.

O uso do modelo matemático Mike Basin poderá ser muito vantajoso, visto que é um modelo bastante simples com capacidade de restauro imediata, apresentando os resultados de uma forma gráfica e expedita numa plataforma SIG.

O trabalho apresentado é parte da tese de doutoramento do primeiro autor, visando tal pesquisa desenvolver um modelo matemático de apoio à decisão para a gestão de bacias hidrográficas.

Referências Bibliográficas

- APHA & WPCF, (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Arsénio, J.J.G., (2003). Gestão de albufeiras - avaliação do potencial dos sistemas com o recurso a séries sintéticas de escoamentos. Tese de Mestrado.
- Azevedo, L.G.; Porto, R.L.L. & Filho, O.K.Z., (1997). Técnicas quantitativas para o regenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre - RS. 1997. Cap. 4, p. 165-225: Modelos de simulação de redes de fluxo.
- Cortes, R.M.V., (2003). Requalificação dos ecossistemas aquáticos: único modo de Caminhar para a inversão da degradação dos recursos hídricos e cumprir a directiva quadro da água. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal.
- DHI., (2008). Mike Basin by DHI.
- Hashimoto, R.; Stedinger, J.R. & Loucks, D.P., (1982). Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation. Water Resources Reserarch, v.18, n.1, p. 14-20.
- INAG, (1995). Recursos hídricos de Portugal Continental e sua utilização. Volume 1, Lisboa, Instituto da Água, Ministério do Ambiente.
- Lencastre, A. & Franco, F.M., (2006). Lições de Hidrologia - FCT.
- Lima, G., (2002). Aplicação de simulação computacional na análise dos conflitos entre os usos múltiplos da água na bacia do rio Atibaia no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - EESC/USP.
- Lima, G., Mauad, F.F. & Salla, M.R., (2004). Índices de sustentabilidade para o planeamento estratégico de sistemas hídricos - XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

- Lima, G., (2007). "Riverhelp!" sistema de suporte a decisões para planejamento e gerenciamento integrado de recursos hídricos. Dissertação de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - EESC/USP.
- ima, G., Mauad, F.F. & Salla, M.R., 2004. Índices de sustentabilidade para o planejamento estratégico de sistemas hídricos - XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- Mendes, B. & Oliveira, J.F.S., (2004). Qualidade da Água para Consumo Humano. LIDEL, Edições Técnicas Lda.
- PNUD, (2006). O fantasma das "guerra da água" desvia a atenção da necessidade urgente de cooperação transfronteiriça. Relatório do desenvolvimento humano. Cidade do Cabo.
- Rodrigues, A.; Pacheco, D.; Romanets, Y.; Bruns, S.; Nogueira, R.; Coutinho, R. & Brito, A.G., (2002). Modelação da qualidade da água da Lagoa das Furnas e da Lagoa das Sete Cidades. SFRH/BPD/9465/2002.
- Tundisi, J.G., (2003). A água no século XXI. Enfrentando a escassez (Editora Rima, IIE. 248.
- Vargas, M.C., (1999). O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. Ambiente e Sociedade - Ano II - Nº 5, p. 109-130.
- Zuffo, A.C., (2002). Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.07, n. 1, p. 81-102.
- XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 18.
- Wolf, A.T.; Natharius, J.A.; Danielson, J.J.; Eard, B.S. & Pende, J., (1999). International river basins of the world. International Journal of Water Resources Development, Vol. 15, Nº 4.